

A Linguagem de Programação Rust

por Steve Klabnik e Carol Nichols, com contribuições da Comunidade Rust

Esta versão do texto assume que você está utilizando Rust 1.37.0 ou superior com `edition="2018"` no arquivo *Cargo.toml* de todos os projetos que utilizarem recursos de edição 2018 de Rust. Veja a [seção "Instalação" do capítulo 1][install] para instalar ou atualizar Rust, e veja a o novo [apêndice E][editions] para informações sobre as edições.

A edição 2018 da linguagem Rust inclui várias melhorias que fazem Rust mais ergonômica e fácil de aprender. Esta iteração do livro contém várias mudanças que refletem essas melhorias:

- O capítulo 7, "Administrando Projetos em Expansão com Pacotes, Crates, e Módulos", foi quase todo reescrito. O sistema de módulos e a forma como os caminhos funcionam na edição 2018 foram feitos mais consistentes.
- O capítulo 10 tem novas seções intituladas "Traits como Parâmetros" e "Retornando Tipos que Implementam Traits" que explicam a nova sintaxe `impl Trait`.
- O capítulo 11 tem uma nova seção intitulada "Usando `Result<T, E>` em Testes" que mostra como escrever testes que utilizem o operador `?`.
- A seção "Ciclos de Vida Avançados" no capítulo 19 foi removida porque melhorias no compilador tornaram os construtos daquela seção ainda mais raros.
- O apêndice D anterior, "Macros", foi expandido para incluir macros procedurais e foi movido para a seção "Macros" no capítulo 19.
- O apêndice A, "Palavras Chave", também explica a nova feature de identificadores brutos (*raw identifiers*) que permitem que códigos escritos nas edições 2015 e 2018 interoperem.
- O apêndice D agora é intitulado "Ferramentas de Desenvolvimento Úteis" e cobre as ferramentas recentemente lançadas que o ajudam a escrever código Rust.
- Nós corrigimos vários pequenos erros e palavras imprecisas ao longo do livro. Muito obrigado aos leitores que os reportaram!

Note que qualquer código em iterações anteriores de *A Linguagem de Programação Rust* que compilavam irão continuar a compilar sem `edition="2018"` no *Cargo.toml* do projeto, mesmo que você atualize o compilador Rust que você utiliza. Estas são as garantias de compatibilidade retroativa de Rust trabalhando!

O livro no formato HTML está disponível online em <https://doc.rust-lang.org/stable/book/> e offline em instalações de Rust feitas com `rustup`. Rode `rustup docs --book` para abrir.

Este texto está disponível nos [formatos brochura e ebook pela No Starch Press][nsprust].

Prefácio

Não foi sempre tão claro, mas a linguagem de programação Rust é fundamentalmente sobre *empoderamento*: não importa que tipo de código você está escrevendo agora, Rust te empodera a ir além, a programar com confiança em uma variedade maior de domínios do que você fazia antes.

Considere, por exemplo, um trabalho a nível de sistema que lide com detalhes de baixo nível de gerenciamento de memória, representação de dados, e concorrência.

Tradicionalmente, esse domínio da programação é visto como arcano, acessível somente a uns poucos escolhidos que devotaram a os anos necessários para aprender a evitar seus armadilhas infâmes. E mesmo aqueles que o praticam o fazem com cautela, em caso seu código esteja aberto a exploits, quebras, ou corrupção de memória.

Rust quebra essas barreiras ao eliminar as antigas armadilhas e ao prover um conjunto de ferramentas amigáveis, polidas, que te ajudam ao longo do caminho. Programadores que precisem "mergulhar" em controles de baixo nível podem fazê-lo com Rust, sem tomar o risco costumeiro de quebras ou de brechas de segurança, e sem ter que aprender os pontos mais finos de um ferramental instável. Melhor ainda, a linguagem é desenhada para guiá-lo naturalmente em direção a um código que é eficiente em termos de velocidade e uso de memória.

Programadores que já estejam trabalhando com código de baixo nível podem usar Rust para aumentar suas ambições. Por exemplo, introduzir paralelismo em Rust é uma operação relativamente de baixo risco: o compilador irá pegar os erros clássicos para você. E você poderá atacar otimizações mais agressivas no seu código com a confiança de que você não irá introduzir acidentalmente quebras ou exploits de segurança.

Mas Rust não é apenas limitada a programação de baixo nível de sistemas. Ela é expressiva e ergonômica o suficiente para fazer aplicações de linha de comando (CLIs), servidores web, e muitos outros tipos de código bastante prazerosos de escrever — você irá encontrar exemplos simples de ambos mais tarde no livro. Trabalhar com Rust te permite adquirir habilidades que são transferíveis de um domínio a outro. Você pode aprender Rust ao escrever um aplicativo web, e então aplicar as mesmas habilidades para endereçar seu Raspberry Pi.

Este livro abraça totalmente o potencial de Rust de empoderar seus usuários. É um texto amigável e acessível que pretende ajudá-lo a subir de nível não só no seu conhecimento de Rust, mas também no seu alcance e confiança como programador em geral. Então mergulhe de cabeça, prepare-se para aprender — e bem-vindo à comunidade Rust!

— Nicholas Matsakis e Aaron Turon

Introdução

Bem-vindo ao “A Linguagem de Programação Rust”, um livro introdutório sobre Rust.

Rust é uma linguagem de programação que ajuda a escrever software mais rápido e confiável. A ergonomia de alto nível e o controle de baixo nível estão frequentemente em desacordo no design da linguagem de programação; Rust desafia isso. Ao equilibrar uma poderosa capacidade técnica e uma ótima experiência de desenvolvedor, Rust oferece a opção de controlar detalhes de baixo nível (como o uso de memória) sem todo o incômodo tradicionalmente associado a esse controle.

Para Quem Rust Serve

Rust é excelente para muitas pessoas por várias razões. Vamos discutir alguns dos grupos mais importantes.

Times de Desenvolvedores

Rust está provando ser uma ferramenta produtiva para colaborar entre grandes equipes de desenvolvedores com níveis variados de conhecimento de programação de sistemas. O código de baixo nível é propenso a uma variedade de erros sutis, que na maioria das outras linguagens só podem ser detectados por meio de testes extensivos e revisão cuidadosa do código por desenvolvedores experientes. Em Rust, o compilador desempenha um papel de guardião, recusando-se a compilar código com esses tipos de erros - incluindo erros de concorrência. Ao trabalhar junto com o compilador, a equipe pode dedicar mais tempo à lógica do programa, em vez de procurar bugs.

A Rust também traz ferramentas de desenvolvedor contemporâneas para o mundo da programação de sistemas:

- Cargo, o gerenciador de dependências incluso e ferramenta de compilação, torna a adição, compilação e gerenciamento de dependências indolor e consistente em todo o ecossistema Rust.
- O Rustfmt garante um estilo de codificação consistente entre os desenvolvedores.
- O Rust Language Server (RLS) possibilita a integração de IDEs para preenchimento de código e mensagens de erro em linha.

Usando essas e outras ferramentas no ecossistema Rust, os desenvolvedores podem ser produtivos enquanto escrevem código de sistema.

Estudantes

Rust é para estudantes e pessoas interessadas em aprender sobre os conceitos de sistemas. Muitas pessoas aprenderam sobre tópicos como desenvolvimento de sistemas operacionais através de Rust. A comunidade fica feliz em responder às perguntas dos alunos. Por meio de esforços como este livro, as equipes do Rust desejam tornar os conceitos de sistemas mais acessíveis a mais pessoas, especialmente aquelas que estão começando a programar.

Empresas

Rust é usado em produção por centenas de empresas, grandes e pequenas, para uma variedade de tarefas, como ferramentas de linha de comando, serviços na Web, ferramentas DevOps, dispositivos embarcados, análise e transcodificação de áudio e vídeo, criptomoedas, bioinformática, motores de busca, internet das coisas, aprendizado de máquina e até partes importantes do navegador Firefox.

Desenvolvedores de Código Aberto

Rust é para pessoas que desejam criar a linguagem de programação Rust, a comunidade, as ferramentas de desenvolvedor e as bibliotecas Rust. Gostaríamos que você contribuísse para a linguagem Rust.

Pessoas que Valorizam a Velocidade e a Estabilidade

Por velocidade, entendemos a velocidade dos programas que Rust permite criar e a velocidade com que Rust permite que você os escreva. As verificações do compilador Rust garantem estabilidade por meio de adições e refatoração de recursos, em oposição ao código legado frágil (quebrável) em linguagens sem essas verificações, que os desenvolvedores têm medo de modificar. Ao buscar abstrações de custo zero, recursos de nível superior que se compilam para código de baixo nível, tão rápido quanto o código escrito manualmente, Rust se esforça para tornar o código seguro bem como um código rápido.

Esta não é uma lista completa de tudo que a linguagem Rust espera apoiar, mas esses são alguns dos maiores interessados. No geral, a maior ambição de Rust é aceitar trocas aceitas pelos programadores há décadas e eliminar a dicotomia. Segurança e produtividade. Velocidade e ergonomia. Experimente Rust e veja se as opções funcionam para você.

Para Quem é este Livro

Este livro pressupõe que você tenha escrito código em outra linguagem de programação, mas não faz nenhuma suposição sobre qual. Tentamos tornar o material amplamente acessível para aqueles de uma ampla variedade de contextos de programação. Não passamos muito tempo conversando sobre o que é programação ou como pensar sobre programação; alguém novato em programação seria melhor atendido lendo um livro especificamente fornecendo uma introdução à programação.

Como Usar este Livro

Este livro geralmente supõe que você o esteja lendo de frente para trás, ou seja, os capítulos posteriores se baseiam nos conceitos dos capítulos anteriores, e os capítulos anteriores podem não se aprofundar nos detalhes de um tópico, revisando o tópico em um capítulo posterior.

Existem dois tipos de capítulos neste livro: capítulos conceituais e capítulos de projetos. Nos capítulos conceituais, você aprenderá sobre um aspecto de Rust. Nos capítulos de projeto, criaremos pequenos programas juntos, aplicando o que aprendemos até agora. Os capítulos 2, 12 e 20 são capítulos de projetos; o resto são capítulos conceituais.

Além disso, o Capítulo 2 é uma introdução prática ao Rust como linguagem. Abordaremos conceitos de alto nível e os capítulos posteriores serão detalhados. Se você é o tipo de pessoa que gosta de sujar as mãos imediatamente, o Capítulo 2 é ótimo para isso. Se você é realmente esse tipo de pessoa, pode até pular o Capítulo 3, que abrange recursos muito semelhantes a outras linguagens de programação, e vá direto ao Capítulo 4 para aprender sobre o sistema de ownership (propriedade) Rust. Por outro lado, se você é particularmente aluno metódico que prefere aprender todos os detalhes antes de passar para o próximo, pule o Capítulo 2 e vá direto para o Capítulo 3.

O Capítulo 5 discute estruturas e métodos, e o Capítulo 6 aborda enumerações, expressões `match` e a construção de fluxo de controle `if let`. Estruturas e enums são as maneiras de criar tipos personalizados no Rust.

No Capítulo 7, você aprenderá sobre o sistema de módulos e a privacidade do Rust para organizar seu código e sua API pública. O capítulo 8 discute algumas estruturas comuns de dados de coleta fornecidas pela biblioteca padrão: vetores, seqüências de caracteres e mapas de hash. O Capítulo 9 trata da filosofia e das técnicas de manipulação de erros em Rust.

O capítulo 10 analisa *generics* (genéricos), *traits* (características) e *lifetimes* (tempo de vida; vida útil), que permitem definir o código que se aplica a vários tipos. O capítulo 11 é sobre testes, o que ainda é necessário, mesmo com as garantias de segurança Rust para garantir que a lógica do seu programa esteja correta. No Capítulo 12, construiremos um subconjunto da funcionalidade da ferramenta de linha de comando `grep` que pesquisa texto nos arquivos e usaremos muitos dos conceitos discutidos nos capítulos anteriores.

O Capítulo 13 explora *closures* (fechamentos) e iteradores: recursos Rust provenientes de linguagens de programação funcionais. No capítulo 14, exploraremos mais sobre o Cargo e falaremos sobre as práticas recomendadas para compartilhar suas bibliotecas com outras pessoas. O capítulo 15 discute os *smart pointers* (ponteiros inteligentes) fornecidos pela biblioteca padrão e as *traits* que permitem sua funcionalidade.

No Capítulo 16, abordaremos diferentes modelos de programação concorrente e como Rust ajuda você a programar, sem medo, usando várias threads. O Capítulo 17 analisa como a linguagem Rust se compara aos princípios de Programação Orientada a Objetos com os quais você deve estar familiarizado.

O capítulo 18 é uma referência sobre *patterns* (padrões) e *pattern matching* (correspondência de padrões), que são maneiras poderosas de expressar idéias nos programas Rust. O Capítulo 19 é um monte de tópicos avançados nos quais você pode estar interessado, incluindo *unsafe Rust* (Rust inseguro) e mais sobre *lifetimes*, *traits*, tipos, funções e *closures* (fechamentos).



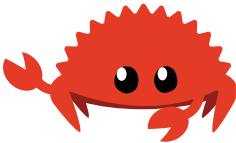
No capítulo 20, concluiremos um projeto em que implementaremos um servidor web multithread de baixo nível!

Finalmente, existem alguns apêndices. Eles contêm informações úteis sobre a linguagem em um formato mais parecido como uma referência.

No final, não há uma maneira errada de ler o livro: se você quiser pular, vá em frente! Você pode ter que voltar atrás se achar as coisas confusas. Faça o que funciona para você.

Uma parte importante do processo de aprendizado Rust é aprender a ler as mensagens de erro fornecidas pelo compilador. Como tal, mostraremos muito código que não é compilado, e a mensagem de erro que o compilador mostrará nessa situação. Dessa forma, se você escolher um exemplo aleatório, ele pode não ser compilado! Leia o texto ao redor para garantir que você não tenha escolhido um dos exemplos em andamento.

Ferris	Significado
--------	-------------

Ferris	Significado
	Este código não compila!
	Este código <i>panics</i> !
	Este bloco de código contém código inseguro (unsafe).
	Este código não produz o comportamento esperado.

Na maioria das vezes, você será apresentado à versão correta de qualquer código que não compile.

Contribuindo Para o Livro

Este livro é de código aberto. Se você encontrar um erro, não hesite em registrar um problema ou enviar um *pull request* (solicitação de recebimento) [pt_br on GitHub](#). Por favor, consulte [CONTRIBUTING.md](#) para mais detalhes.

Para contribuições na língua inglesa veja [on GitHub](#) e [CONTRIBUTING-en-us.md](#), respectivamente.

Começando

Vamos começar sua jornada Rust! Neste capítulo, discutiremos:

- Instalando o Rust no Linux, Mac ou Windows
- Escrevendo um programa que imprime “Hello, world!”
- Usando `cargo`, o gerenciador de pacotes e o sistema de compilação Rust

Instalação

O primeiro passo é instalar Rust. Vamos fazer o download de Rust através do `rustup`, uma ferramenta de linha de comando para gerenciar versões Rust e ferramentas associadas. Você precisará de uma conexão com a Internet para o download.

Nota: Se você preferir não usar o `rustup` por algum motivo, consulte [a página de instalação de Rust](#) para outras opções.

As etapas a seguir instalam a versão estável mais recente do compilador Rust. As garantias de estabilidade de Rust garantem que todos os exemplos do livro que compilam continuem sendo compilados com as versões mais recentes de Rust. A saída pode diferir ligeiramente entre as versões, porque Rust geralmente melhora as mensagens de erro e os avisos. Em outras palavras, qualquer versão mais recente e estável de Rust instalada usando essas etapas deve funcionar conforme o esperado com o conteúdo deste livro.

Notação de Linha de Comando

Neste capítulo e ao longo do livro, mostraremos alguns comandos usados no terminal. As linhas que você deve inserir em um terminal começam com `$`. Você não precisa digitar o caractere `$`; indica o início de cada comando. As linhas que não começam com `$` normalmente mostram a saída do comando anterior. Além disso, exemplos específicos em PowerShell usarão `>` em vez de `$`.

Instalando `rustup` no Linux ou macOS

Se você estiver usando Linux ou macOS, abra um terminal e digite o seguinte comando:

```
$ curl https://sh.rustup.rs -sSf | sh
```

O comando baixa um script e inicia a instalação da ferramenta `rustup`, que instala a versão estável mais recente de Rust. Você pode ser solicitado a fornecer sua senha. Se a instalação for bem-sucedida, a seguinte linha aparecerá:

```
Rust is installed now. Great!
```


Se preferir, faça o download do script e inspecione-o antes de executá-lo.

O script de instalação adiciona Rust automaticamente ao PATH do sistema após seu próximo login. Se você deseja começar a usar Rust imediatamente, em vez de reiniciar o terminal, execute o seguinte comando no shell para adicionar Rust ao PATH do sistema manualmente:

```
$ source $HOME/.cargo/env
```

Como alternativa, você pode adicionar a seguinte linha ao seu `~/.bash_profile`:

```
$ export PATH="$HOME/.cargo/bin:$PATH"
```

Além disso, você precisará de um *linker* de algum tipo. Provavelmente já está instalado, mas quando você tenta compilar um programa Rust e obtém erros, indicando que um linker não pôde executar, isso significa que um linker não está instalado no seu sistema e você precisará instalá-lo manualmente. Os compiladores C geralmente vêm com o linker correto. Verifique a documentação da sua plataforma para saber como instalar um compilador C. Além disso, alguns pacotes Rust comuns dependem do código C e precisarão de um compilador C. Portanto, pode valer a pena instalar um agora.

Instalando rustup no Windows

No Windows, vá para <https://www.rust-lang.org/pt-BR/tools/install> e siga as instruções para instalar Rust. Em algum momento da instalação, você receberá uma mensagem explicando que também precisará das ferramentas de *build* do C++ para o Visual Studio 2013 ou posterior. A maneira mais fácil de adquirir as ferramentas de build é instalar [Ferramentas Integradas do Visual Studio 2019](#).

O restante deste livro usa comandos que funcionam no *cmd.exe* e no PowerShell. Se houver diferenças específicas, explicaremos qual usar.

Atualização e Desinstalação

Depois de instalar o Rust via `rustup`, é fácil atualizar para a versão mais recente. No seu shell, execute o seguinte script de atualização:

```
$ rustup update
```

Para desinstalar o Rust e o `rustup`, execute o seguinte script de desinstalação do seu shell:

```
$ rustup self uninstall
```

Solução de Problemas

Para verificar se você possui Rust instalado corretamente, abra um shell e digite esta linha:

```
$ rustc --version
```

Você deverá ver o número da versão, *commit* hash, e *commit* da data da versão estável mais recente lançada no seguinte formato:

```
rustc x.y.z (abcabcabc yyyy-mm-dd)
```

Se você visualizar essas informações, instalou Rust com sucesso! Se você não vir essas informações e estiver no Windows, verifique se Rust está na sua variável de sistema `%PATH%`. Se tudo estiver correto e Rust ainda não estiver funcionando, há vários lugares onde você pode obter ajuda. O mais fácil é o canal `#beginners` em [the official Rust Discord](#). Lá, você pode conversar com outros *Rustáceos* (um apelido bobo que chamamos a nós mesmos) que podem ajudá-lo. Outros ótimos recursos incluem o canal no Telegram [Rust Brasil](#), além do [the Users forum](#) e [Stack Overflow](#).

Documentação Local

O instalador também inclui uma cópia da documentação localmente, para que você possa lê-la offline. Execute `rustup doc` para abrir a documentação local no seu navegador.

Sempre que um tipo ou função for fornecida pela biblioteca padrão e você não tiver certeza do que esta faz ou como usá-la, use a documentação da interface de programação de aplicativos (API) para descobrir!

Olá, mundo!

Agora que você instalou Rust, vamos escrever seu primeiro programa Rust. Quando se aprende uma nova linguagem, é tradicional escrever um pequeno programa que imprime o texto `Hello, world!` na tela, para que façamos o mesmo aqui!

Nota: Este livro pressupõe familiaridade básica com a linha de comando. Rust não

requer exigências específicas sobre a sua edição, ferramentas ou a localização do seu código; portanto, se você preferir usar um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) em vez da linha de comando, fique à vontade para usar o seu IDE favorito. Muitos IDEs agora têm algum grau de apoio ao Rust; consulte a documentação do IDE para obter detalhes. Recentemente, a equipe do Rust tem se concentrado em permitir um ótimo suporte a IDE, e houve progresso rápido nessa frente!

Criando um Diretório de Projeto

Você começará criando um diretório para armazenar seu código Rust. Não importa para Rust onde seu código mora, mas para os exercícios e projetos deste livro, sugerimos criar um diretório *projects* no diretório inicial e manter todos os seus projetos lá.

Abra um terminal e digite os seguintes comandos para criar um diretório *projects* e um diretório para o projeto Hello, world! dentro do diretório *projects*.

Para Linux, macOS e PowerShell no Windows, digite o seguinte:

```
$ mkdir ~/projects
$ cd ~/projects
$ mkdir hello_world
$ cd hello_world
```

Para o Windows CMD, digite o seguinte:

```
> mkdir "%USERPROFILE%\projects"
> cd /d "%USERPROFILE%\projects"
> mkdir hello_world
> cd hello_world
```

Escrevendo e Executando um Programa Rust

Em seguida, crie um novo arquivo source e chame-o de *main.rs*. Arquivos Rust sempre terminam com a extensão *.rs*. Se você estiver usando mais de uma palavra no seu nome de arquivo, use um sublinhado para separá-las. Por exemplo, use *hello_world.rs* em vez de *helloworld.rs*.

Agora abra o arquivo *main.rs* que você acabou de criar e insira o código na Listagem 1-1.

Nome do arquivo: *main.rs*

```
fn main() {  
    println!("Hello, world!");  
}
```

Listagem 1-1: Um programa que imprime `Hello, world!`

Salve o arquivo e volte para a janela do seu terminal. No Linux ou macOS, digite os seguintes comandos para compilar e executar o arquivo:

```
$ rustc main.rs  
$ ./main  
Hello, world!
```

No Windows, digite o comando `.\main.exe` em vez de `./main`:

```
> rustc main.rs  
> .\main.exe  
Hello, world!
```

Independentemente do seu sistema operacional, a string `Hello, world!` deve ser impressa no terminal. Se você não vir essa saída, consulte a parte [“Solução de Problemas”](#) da seção instalação para obter maneiras de obter ajuda.

Se `Hello, world!` foi impresso, parabéns! Você escreveu oficialmente um programa Rust. Isso faz de você um programador Rust — bem-vindo!

Anatomia de um Programa Rust

Vamos analisar em detalhes o que aconteceu no seu programa `Hello, world!` Aqui está a primeira peça do quebra-cabeça:

```
fn main() {  
  
}
```

Essas linhas definem uma função em Rust. A função `main` é especial: é sempre o primeiro código executado em todos os programas Rust executáveis. A primeira linha declara uma função chamada `main` que não possui parâmetros e não retorna nada. Se houvesse parâmetros, eles entrariam entre parênteses, `()`.

Observe também que o corpo da função está entre colchetes, `{}`. Rust exige isso em todos os corpos funcionais. É um bom estilo colocar o colchete de abertura na mesma linha da declaração de função, adicionando um espaço no meio.

No momento da redação deste artigo, uma ferramenta formatadora automática chamada `rustfmt` está em desenvolvimento. Se você deseja manter um estilo padrão nos projetos Rust, o `rustfmt` formatará seu código em um estilo específico. A equipe do Rust planeja eventualmente incluir essa ferramenta na distribuição padrão do Rust, como `rustc`. Portanto, dependendo de quando você ler este livro, ele poderá já estar instalado no seu computador! Consulte a documentação online para mais detalhes.

Dentro da função `main` está o seguinte código:

```
println!("Hello, world!");
```

Esta linha faz todo o trabalho neste pequeno programa: imprime texto na tela. Há quatro detalhes importantes a serem observados aqui. Primeiro, o estilo Rust é recuar com quatro espaços, não uma tabulação.

Segundo, `println!` chama uma macro Rust. Se fosse chamada uma função, ela seria inserida como `println` (sem o `!`). Discutiremos Rust macros com mais detalhes no Capítulo 19. Por enquanto, você só precisa saber que usar um `!` significa que você está chamando uma macro em vez de uma função normal.

Terceiro, você vê a string `"Hello, world!"`. Passamos essa string como argumento para `println!`, e a string é impressa na tela.

Quarto, terminamos a linha com um ponto-e-vírgula (`;`), que indica que essa expressão acabou e a próxima está pronta para começar. A maioria das linhas do código Rust termina com um ponto e vírgula.

Compilar e Executar são Etapas Separadas

Você acabou de executar um programa recém-criado, portanto, vamos examinar cada etapa do processo.

Antes de executar um programa Rust, você deve compilá-lo usando o compilador Rust digitando o comando `rustc` e passando o nome do seu arquivo source, assim:

```
$ rustc main.rs
```

Se você tem experiência em C ou C++, notará que isso é semelhante a `gcc` ou `clang`. Após compilar com sucesso, Rust gera um executável binário.

No Linux, macOS e PowerShell no Windows, você pode ver o executável digitando o

comando `ls` no seu shell. No Linux e macOS, você verá dois arquivos. Com o PowerShell no Windows, você verá os mesmos três arquivos que usaria no CMD.

```
$ ls
main  main.rs
```

Com o CMD no Windows, você digitaria o seguinte:

```
> dir /B %= the /B option says to only show the file names %=
main.exe
main.pdb
main.rs
```

Isso mostra o arquivo de código-fonte com a extensão `.rs`, o arquivo executável (`main.exe` no Windows, mas `main` em todas as outras plataformas) e, ao usar o Windows, um arquivo contendo informações de depuração com o extensão `.pdb`. A partir daqui, você executa o arquivo `main` ou `main.exe`, assim:

```
$ ./main # or .\main.exe on Windows
```

Se `main.rs` era seu programa Hello, world!, esta linha imprimirá `Hello, world!` no seu terminal.

Se você está mais familiarizado com uma linguagem dinâmica, como Ruby, Python ou JavaScript, pode não estar acostumado a compilar e executar um programa como etapas separadas. Rust é uma linguagem *compilada antecipadamente*, o que significa que você pode compilar um programa e fornecer o executável para outra pessoa, e eles podem executá-lo mesmo sem Rust instalado. Se você fornecer a alguém um arquivo `.rb`, `.py` ou `.js`, eles deverão ter uma implementação Ruby, Python ou JavaScript instalada (respectivamente). Mas essas linguagens, você só precisa de um comando para compilar e executar seu programa. Tudo é uma troca no design da linguagem.

Apenas compilar com `rustc` é bom para programas simples, mas à medida que o seu projeto cresce, você deseja gerenciar todas as opções e facilitar o compartilhamento do seu código. Em seguida, apresentaremos a ferramenta Cargo, que ajudará você a criar programas Rust no mundo real.

Olá, Cargo!

Cargo é o gestor de sistemas e pacotes da linguagem Rust. A maioria dos *Rustáceos* usa essa ferramenta para gerenciar seus projetos Rust porque o Cargo cuida de muitas tarefas para você, como criar seu código, fazer o download das bibliotecas das quais seu código depende

e criar essas bibliotecas. (Chamamos de bibliotecas que seu código precisa de *dependências*.)

Os programas Rust mais simples, como o que escrevemos até agora, não tem dependências; portanto, se tivéssemos construído o projeto Hello World com o Cargo, ele usaria apenas a parte do Cargo que cuida da criação do seu código. Ao escrever programas Rust mais complexos, você deseja adicionar dependências e, se você iniciar o projeto usando Cargo, isso será muito mais fácil.

Como a grande maioria dos projetos Rust usa Cargo, o restante deste livro pressupõe que você também esteja usando Cargo. Cargo vem instalado com o próprio Rust, se você usou os instaladores oficiais, conforme descrito na seção “Instalação”. Se você instalou Rust por outros meios, poderá verificar se possui o Cargo instalado inserindo o seguinte em seu terminal:

```
$ cargo --version
```

Se você vir um número de versão, ótimo! Se você vir um erro como `command not found`, consulte a documentação do seu método de instalação para determinar como instalar o Cargo separadamente.

Criando Projetos com Cargo

Vamos criar um novo projeto usando Cargo e ver como ele difere do nosso projeto original Hello World. Navegue de volta para o diretório *projects* (ou onde quer que você tenha decidido colocar seu código) e, em seguida, em qualquer sistema operacional:

```
$ cargo new hello_cargo --bin
$ cd hello_cargo
```

Isso cria um novo executável binário chamado `hello_cargo`. O argumento `--bin` transmitido para `cargo new` cria um aplicativo executável (geralmente chamado apenas de *binário*), em oposição a uma biblioteca. Atribuímos `hello_cargo` como o nome do nosso projeto e o Cargo cria seus arquivos em um diretório com o mesmo nome.

Vá para o diretório *hello_cargo* e liste os arquivos, e você verá que Cargo gerou dois arquivos e um diretório para nós: um diretório *Cargo.toml* e *src* com um arquivo *main.rs* dentro. Também inicializou um novo repositório git, junto com um arquivo *.gitignore*.

Nota: Git é um sistema de controle de versão comum. Você pode alterar `cargo new` para usar um sistema de controle de versão diferente, ou nenhum sistema de controle de versão, usando o sinalizador `--vcs`. Execute `cargo new --help` para ver as opções

disponíveis.

Abra *Cargo.toml* no seu editor de texto de sua escolha. Deve ser semelhante ao código na Listagem 1-2:

Nome do arquivo: Cargo.toml

```
[package]
name = "hello_cargo"
version = "0.1.0"
authors = ["Your Name <you@example.com>"]

[dependencies]
```

Listagem 1-2: Conteúdo de *Cargo.toml* gerado por `cargo new`

Este arquivo está no formato [TOML](#) (Tom Óbvio, Linguagem Mínima), que é o que o Cargo usa como formato de configuração.

A primeira linha, `[package]`, é um cabeçalho de seção que indica que as seguintes instruções estão configurando um pacote. À medida que adicionamos mais informações a este arquivo, adicionaremos outras seções.

As próximas três linhas definem as informações de configuração que Cargo precisa para saber que ele deve compilar seu programa: o nome, a versão e quem o escreveu. Cargo obtém seu nome e informações de e-mail do seu ambiente; portanto, se isso não estiver correto, prossiga, corrija-o e salve o arquivo.

A última linha, `[dependencies]`, é o início de uma seção para você listar qualquer uma das dependências do seu projeto. Em Rust, pacotes de código são referidos como *crates*. Não precisaremos de outras *crates* para este projeto, mas precisaremos no primeiro projeto do capítulo 2, portanto, usaremos essa seção de dependências.

Agora abra *src/main.rs* e olhe:

Nome do arquivo: *src/main.rs*

```
fn main() {
    println!("Hello, world!");
}
```

Cargo gerou um “Hello World!” para você, exatamente como o que escrevemos na Lista 1-1! Até agora, as diferenças entre o projeto anterior e o projeto gerado pelo Cargo são que, com Cargo, nosso código entra no diretório *src* e temos um arquivo de configuração *Cargo.toml*

no diretório superior.

Cargo espera que seus arquivos source morem dentro do diretório *src*, para que o diretório de projeto de nível superior seja apenas para READMEs, informações de licença, arquivos de configuração e qualquer outra coisa não relacionada ao seu código. Dessa forma, o uso do Cargo ajuda a manter seus projetos organizados. Há um lugar para tudo, e tudo está em seu lugar.

Se você iniciou um projeto que não usa Cargo, como fizemos com nosso projeto no diretório *hello_world*, você pode convertê-lo em um projeto que usa Cargo movendo o código do projeto para o diretório *src* e criando um apropriado *Cargo.toml*.

Construindo e Executando um projeto Cargo

Agora, vamos ver o que há de diferente na criação e execução do seu programa Hello World através do Cargo! No diretório do projeto, construa seu projeto digitando os seguintes comandos:

```
$ cargo build
   Compiling hello_cargo v0.1.0 (file:///projects/hello_cargo)
   Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 2.85 secs
```

Isso cria um arquivo executável em *target/debug/hello_cargo* (ou *target\debug\hello_cargo.exe* no Windows), que você pode executar com este comando:

```
$ ./target/debug/hello_cargo # or .\target\debug\hello_cargo.exe on Windows
Hello, world!
```

Bam! Se tudo correr bem, *Hello, world!* deve ser impresso no terminal mais uma vez. A execução do `cargo build` pela primeira vez também faz com que o Cargo crie um novo arquivo no nível superior chamado *Cargo.lock*, que é usado para acompanhar as versões exatas das dependências do seu projeto. Este projeto não tem dependências, portanto o arquivo é um pouco esparso. Você nunca precisará tocar nesse arquivo; Cargo gerenciará seu conteúdo para você.

Nós apenas construímos um projeto com `cargo build` e o executamos com `./target/debug/hello_cargo`, mas também podemos usar o `cargo run` para compilar e então executar tudo de uma só vez:

```
$ cargo run
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0 secs
  Running `target/debug/hello_cargo`
Hello, world!
```

Observe que, desta vez, não vimos a saída nos dizendo que Cargo estava compilando `hello_cargo`. Cargo descobriu que os arquivos não foram alterados; portanto, apenas executou o binário. Se você tivesse modificado seu código-fonte, Cargo reconstruiria o projeto antes de executá-lo e você teria visto resultados como este:

```
$ cargo run
  Compiling hello_cargo v0.1.0 (file:///projects/hello_cargo)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.33 secs
  Running `target/debug/hello_cargo`
Hello, world!
```

Finalmente, há `cargo check`. Este comando verificará rapidamente seu código para garantir que ele seja compilado, mas não se incomode em produzir um executável:

```
$ cargo check
  Compiling hello_cargo v0.1.0 (file:///projects/hello_cargo)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.32 secs
```

Por que você não gostaria de um executável? O `cargo check` geralmente é muito mais rápido que o `cargo build`, porque pula toda a etapa de produção do executável. Se você estiver verificando seu trabalho durante todo o processo de escrever o código, o uso de `cargo check` acelerará as coisas! Como tal, muitos *Rustaceans* executam `cargo check` periodicamente enquanto escrevem seu programa para garantir que ele seja compilado e, em seguida, executam `cargo build` quando estiverem prontos para rodar.

Então, para recapitular, usando Cargo:

- Podemos construir um projeto usando `cargo build` ou `cargo check`
- Podemos construir e executar o projeto em uma única etapa com `cargo run`
- Em vez de o resultado da compilação ser colocado no mesmo diretório que o nosso código, Cargo o colocará no diretório *target/debug*.

Uma vantagem final do uso do Cargo é que os comandos são os mesmos, independentemente do sistema operacional em que você esteja; portanto, neste momento, não forneceremos mais instruções específicas para Linux e Mac versus Windows.

Criando para Liberação

Quando seu projeto estiver finalmente pronto para o lançamento, você poderá usar o `cargo build --release` para compilar seu projeto com otimizações. Isso criará um executável em `target/release` em vez de `target/debug`. Essas otimizações tornam seu código Rust mais rápido, mas ativá-los leva mais tempo para compilar o programa. É por isso que existem dois perfis diferentes: um para desenvolvimento, quando você deseja reconstruir de forma rápida e frequente, e outro para a criação do programa final, que você fornecerá a um usuário que não será reconstruído repetidamente e que será executado como o mais rápido possível. Se você estiver comparando o tempo de execução do seu código, lembre-se de executar `cargo build --release` e faça a comparação com o executável em `target/release`.

Cargo como Convenção

Em projetos simples, Cargo não fornece muito valor ao usar apenas `rustc`, mas provará seu valor à medida que você continua. Com projetos complexos compostos por várias *crates*, é muito mais fácil deixar Cargo coordenar a construção.

Embora o projeto `hello_cargo` seja simples, agora ele usa grande parte das ferramentas reais que você usará para o resto de sua carreira em Rust. De fato, para trabalhar em qualquer projeto existente, você pode usar os seguintes comandos para verificar o código usando o Git, mudar para o diretório do projeto e criar:

```
$ git clone someurl.com/someproject
$ cd someproject
$ cargo build
```

Para mais informações sobre Cargo, consulte a [documentação](#) (em inglês).

Resumo

Você já começou bem a sua jornada Rust! Neste capítulo, você:

- Instalou a versão estável de Rust usando `rustup`
- Atualizou para uma versão mais recente
- Acessou a documentação instalada localmente
- Escreveu um programa “Hello, world!” usando diretamente o `rustc`
- Criou e executou um novo projeto usando as convenções do Cargo

Este é um ótimo momento para criar um programa mais substancial, para se acostumar a

ler e escrever código em Rust. No capítulo 2, criaremos um programa de jogos de adivinhação. Se você preferir começar a aprender sobre como os conceitos comuns de programação funcionam em Rust, consulte o Capítulo 3 e, sem seguida retorne ao capítulo 2.

Jogo de Adivinhação

Vamos entrar de cabeça no Rust e colocar a mão na massa! Este capítulo vai lhe apresentar alguns conceitos bem comuns no Rust, mostrando como usá-los em um programa de verdade. Você vai aprender sobre `let`, `match`, métodos, funções associadas, crates externos, e mais! Os capítulos seguintes vão explorar essas ideias em mais detalhes. Neste capítulo, você vai praticar o básico.

Vamos implementar um clássico problema de programação para iniciantes: um jogo de adivinhação. Eis como ele funciona: o programa vai gerar um número inteiro aleatório entre 1 e 100. Então, ele vai pedir ao jogador que digite um palpite. Após darmos nosso palpite, ele vai nos indicar se o palpite é muito baixo ou muito alto. Uma vez que o palpite estiver correto, ele vai nos dar os parabéns e sair.

Preparando um Novo Projeto

Para iniciar um novo projeto, vá ao seu diretório de projetos que você criou no Capítulo 1, e execute os comandos do Cargo a seguir:

```
$ cargo new jogo_de_advinhacao --bin
$ cd jogo_de_advinhacao
```

O primeiro comando, `cargo new`, recebe o nome do projeto (`jogo_de_advinhacao`) como primeiro argumento. A flag `--bin` diz ao Cargo que faça um projeto binário, similar ao do Capítulo 1. O segundo comando muda a pasta atual para o diretório do projeto.

Confira o arquivo *Cargo.toml* gerado:

Arquivo: Cargo.toml

```
[package]
name = "jogo_de_advinhacao"
version = "0.1.0"
authors = ["Seu Nome <voce@exemplo.com>"]

[dependencies]
```

Se as informações sobre o autor, que o Cargo obtém do seu ambiente, não estiverem corretas, faça os reparos necessários e salve o arquivo.

Assim como no Capítulo 1, `cargo new` gera um programa "Hello, world!" para nós. Confira em `src/main.rs`:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    println!("Hello, world!");  
}
```

Agora vamos compilar esse programa "Hello, world!" e executá-lo de uma vez só usando o comando `cargo run`:

```
$ cargo run  
    Compiling jogo_de_advinhacao v0.1.0 (file:///projects/jogo_de_advinhacao)  
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 1.50 secs  
    Running `target/debug/jogo_de_advinhacao`  
Hello, world!
```

O comando `run` é uma boa opção quando precisamos iterar rapidamente em um projeto, que é o caso neste jogo: nós queremos testar rapidamente cada iteração antes de movermos para a próxima.

Abra novamente o arquivo `src/main.rs`. Escreveremos todo nosso código nele.

Processando um Palpite

A primeira parte do programa vai pedir uma entrada ao usuário, processar essa entrada, e conferir se ela está no formato esperado. Pra começar, vamos permitir que o jogador entre com um palpite. Coloque este código no arquivo `src/main.rs`:

Arquivo: `src/main.rs`

```
use std::io;

fn main() {
    println!("Advinhe o número!");

    println!("Digite o seu palpite.");

    let mut palpite = String::new();

    io::stdin().read_line(&mut palpite)
        .expect("Falha ao ler entrada");

    println!("Você disse: {}", palpite);
}
```

Listagem 2-1: Código para ler um palpite do usuário e imprimí-lo na tela.

Esse código tem muita informação, vamos ver uma parte de cada vez. Para obter a entrada do usuário, e então imprimir o resultado como saída, precisaremos trazer ao escopo a biblioteca `io` (de entrada/saída). A biblioteca `io` provém da biblioteca padrão (chamada de `std`):

```
use std::io;
```

Por padrão, o Rust traz apenas alguns tipos para o escopo de todos os programas no [prelúdio](#). Se um tipo que você quiser usar não estiver no prelúdio, você terá que importá-lo explicitamente através do `use`. A biblioteca `std::io` oferece várias ferramentas de entrada/saída, incluindo a funcionalidade de ler dados de entrada do usuário.

Como visto no Capítulo 1, a função `main` é o ponto de entrada do programa:

```
fn main() {
```

A sintaxe `fn` declara uma nova função, o `()` indica que não há parâmetros, e o `{` inicia o corpo da função.

Como você também já aprendeu no Capítulo 1, `println!` é uma macro que imprime uma string na tela:

```
println!("Advinhe o número!");

println!("Digite o seu palpite.");
```

Este código está exibindo uma mensagem que diz de que se trata o jogo e solicita uma entrada do usuário.

Armazenando Valores em Variáveis

Próximo passo, vamos criar um local para armazenar a entrada do usuário:

```
let mut palpite = String::new();
```

Agora o programa está ficando interessante! Tem muita coisa acontecendo nesta pequena linha. Repare que esta é uma declaração `let`, que é usada para criar *variáveis*. Segue outro exemplo:

```
let foo = bar;
```

Essa linha cria uma nova variável chamada `foo`, e a vincula ao valor `bar`. Em Rust, variáveis são imutáveis por padrão. O exemplo a seguir mostra como usar `mut` antes do nome da variável para torná-la mutável:

```
let foo = 5; // imutável  
let mut bar = 5; // mutável
```

Nota: A sintaxe `//` inicia um comentário, que continua até o fim da linha. Rust ignora tudo o que estiver nos comentários.

Agora você sabe que `let mut palpite` vai introduzir uma variável mutável de nome `palpite`. No outro lado do símbolo `=` está o valor ao qual `palpite` está vinculado, que é o resultado da chamada `String::new`, uma função que retorna uma nova instância de `String`. `String` é um tipo fornecido pela biblioteca padrão que representa uma cadeia expansível de caracteres codificados em UTF-8.

A sintaxe `::` na linha `::new` indica que `new` é uma *função associada* do tipo `String`. Uma função associada é implementada sobre um tipo, neste caso `String`, em vez de uma instância particular de `String`. Algumas linguagens dão a isso o nome *método estático*.

Esta função `new()` cria uma nova `String` vazia. Você encontrará uma função `new()` em muitos tipos, já que é um nome comum para uma função que produz um novo valor de algum tipo.

Para resumir, a linha `let mut palpite = String::new();` criou uma variável mutável que está atualmente vinculada a uma nova instância vazia de uma `String`. Ufa!

Lembre-se de que incluímos a funcionalidade de entrada/saída da biblioteca padrão por

meio do `use std::io;` na primeira linha do programa. Agora vamos chamar uma função associada, `stdin`, em `io`:

```
io::stdin().read_line(&mut palpite)
    .expect("Falha ao ler entrada");
```

Se não tivéssemos a linha `use std::io` no início do programa, poderíamos ter escrito esta chamada como `std::io::stdin`. A função `stdin` retorna uma instância de `std::io::Stdin`, um tipo que representa um manipulador (*handle*) da entrada padrão do seu terminal.

A próxima parte do código, `.read_line(&mut palpite)`, chama o método `read_line` do *handle* da entrada padrão para obter entrada do usuário. Também estamos passando um argumento para `read_line`: `&mut palpite`.

O trabalho da função `read_line` é receber o que o usuário digita na entrada padrão e colocar isso numa string, por isso ela recebe essa string como argumento. A string do argumento deve ser mutável para que o método consiga alterar o seu conteúdo, adicionando a entrada do usuário.

O símbolo `&` indica que o argumento é uma *referência*, o que permite múltiplas partes do seu código acessar um certo dado sem precisar criar várias cópias dele na memória. Referências são uma característica complexa, e uma das maiores vantagens do Rust é o quão fácil e seguro é usar referências. Você não precisa conhecer muitos desses detalhes para finalizar esse programa. O Capítulo 4 vai explicar sobre referências de forma mais aprofundada. Por enquanto, tudo que você precisa saber é que, assim como as variáveis, referências são imutáveis por padrão. Por isso, precisamos escrever `&mut palpite`, em vez de apenas `&palpite`, para fazer com que o `palpite` seja mutável.

Ainda não finalizamos completamente esta linha de código. Embora esta seja uma única linha de texto, é apenas a primeira parte de uma linha lógica de código. A segunda parte é a chamada para este método:

```
.expect("Falha ao ler entrada");
```

Quando você chama um método com a sintaxe `.foo()`, geralmente é bom introduzir uma nova linha e outro espaço para ajudar a dividir linhas muito compridas. Poderíamos ter feito assim:

```
io::stdin().read_line(&mut palpite).expect("Falha ao ler entrada");
```

Porém, uma linha muito comprida fica difícil de ler. Então é melhor dividirmos a linha em

duas, uma para cada método chamado. Agora vamos falar sobre o que essa linha faz.

Tratando Potenciais Falhas com o Tipo `Result`

Como mencionado anteriormente, `read_line` coloca o que o usuário escreve dentro da string que passamos como argumento, mas também retorna um valor - neste caso, um `io::Result`. Rust tem uma variedade de tipos com o nome `Result` em sua biblioteca padrão: um `Result` genérico e as versões específicas dos submódulos, como `io::Result`.

Os tipos `Result` são enumerações, comumente chamadas de *enums*. Uma enumeração é um tipo que pode ter um conjunto fixo de valores, os quais são chamados de variantes da enum. O Capítulo 6 vai abordar enums em mais detalhes.

Para `Result`, as variantes são `Ok` ou `Err`. `Ok` indica que a operação teve sucesso, e dentro da variante `Ok` está o valor resultante. `Err` significa que a operação falhou, e contém informações sobre como ou por que isso ocorreu.

O propósito destes tipos `Result` é codificar informações de manipulação de erros. Valores do tipo `Result`, assim como qualquer tipo, possuem métodos definidos. Uma instância de `io::Result` tem um método `expect` que você pode chamar. Se esta instância de `io::Result` é um `Err`, `expect` vai terminar o programa com erro e mostrar a mensagem que você passou como argumento ao `expect`. Se o método `read_line` retornar um `Err`, provavelmente seria o resultado de um erro vindo do sistema operacional que está por trás. Se esta instância de `io::Result` é um `Ok`, `expect` vai obter o valor contido no `Ok` e retorná-lo para que você possa usá-lo. Neste caso, o valor é o número de bytes dos dados que o usuário inseriu através da entrada padrão.

Se não chamarmos `expect`, nosso programa vai compilar, mas vamos ter um aviso:

```
$ cargo build
  Compiling jogo_de_advinhacao v0.1.0 (file:///projects/jogo_de_advinhacao)
warning: unused `std::result::Result` which must be used
--> src/main.rs:10:5
10 |         io::stdin().read_line(&mut palpite);
    |         ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
    |
= note: #[warn(unused_result)] on by default
```

Rust avisa que não usamos o valor `Result`, retornado por `read_line`, indicando que o programa deixou de tratar um possível erro. A maneira correta de suprimir o aviso é realmente escrevendo um tratador de erro, mas como queremos que o programa seja

encerrado caso ocorra um problema, podemos usar `expect`. Você aprenderá sobre recuperação de erros no Capítulo 9.

Exibindo Valores com Curingas do `println!`

Tirando a chave que delimita a função `main`, há apenas uma linha mais a ser discutida no código que fizemos até agora, que é a seguinte:

```
println!("Você disse: {}", guess);
```

Esta linha imprime a string na qual salvamos os dados inseridos pelo usuário. O `{}` é um curinga que reserva o lugar de um valor. Você pode imprimir mais de um valor usando `{}`: o primeiro conjunto de `{}` guarda o primeiro valor listado após a string de formatação, o segundo conjunto guarda o segundo valor, e assim por diante. Imprimir múltiplos valores em uma só chamada a `println!` seria assim:

```
let x = 5;
let y = 10;

println!("x = {} e y = {}", x, y);
```

Esse código imprime `x = 5` e `y = 10`.

Testando a Primeira Parte

Vamos testar a primeira parte do jogo de adivinhação. Você pode executá-lo usando `cargo run`:

```
$ cargo run
   Compiling jogo_de_advinhacao v0.1.0 (file:///projects/jogo_de_advinhacao)
   Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 2.53 secs
   Running `target/debug/jogo_de_advinhacao`
Adivinhe o número!
Digite o seu palpite.
6
Você disse: 6
```

Nesse ponto, a primeira parte do jogo está feita: podemos coletar entrada do teclado e mostrá-la na tela.

Gerando um Número Secreto

A seguir, precisamos gerar um número secreto que o usuário vai tentar adivinhar. O número secreto deve ser diferente a cada execução, para que o jogo tenha graça em ser jogado mais de uma vez. Vamos usar um número aleatório entre 1 e 100, para que o jogo não seja tão difícil. Rust ainda não inclui uma funcionalidade de geração de números aleatórios em sua biblioteca padrão. Porém, a equipe Rust fornece um `crate rand`.

Usando um Crate para Ter Mais Funcionalidades

Lembre-se que um *crate* é um pacote de código Rust. O projeto que estamos construindo é um *crate binário*, que é um executável. Já o `rand` é um *crate de biblioteca*, que contém código cujo objetivo é ser usado por outros programas.

É no uso de crates externas que Cargo realmente brilha. Antes que possamos escrever o código usando `rand`, precisamos modificar o arquivo *Cargo.toml* para incluir o `crate rand` como uma dependência. Abra o arquivo e adicione esta linha no final, abaixo do cabeçalho da seção `[dependencies]` que o Cargo criou para você:

Arquivo: Cargo.toml

```
[dependencies]

rand = "0.3.14"
```

No arquivo *Cargo.toml*, tudo que vem depois de um cabeçalho é parte de uma seção que segue até o início de outra. A seção `[dependencies]` é onde você diz ao Cargo de quais crates externas o seu projeto depende, e quais versões desses crates você exige. Neste caso, especificamos o `crate rand` com a versão semântica `0.3.14`. Cargo compreende [Versionamento Semântico](#) (às vezes chamado *SemVer*), um padrão para escrever números de versões. O número `0.3.14` é, na verdade, uma forma curta de escrever `^0.3.14`, que significa "qualquer versão que tenha uma API pública compatível com a versão 0.3.14".

Agora, sem mudar código algum, vamos compilar nosso projeto, conforme mostrado na Listagem 2-2:

```
$ cargo build
  Updating registry `https://github.com/rust-lang/crates.io-index`
 Downloading rand v0.3.14
 Downloading libc v0.2.14
   Compiling libc v0.2.14
   Compiling rand v0.3.14
   Compiling jogo_de_advinhacao v0.1.0 (file:///projects/jogo_de_advinhacao)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 2.53 secs
```

Listagem 2-2: Resultado da execução de `cargo build` depois de adicionar o crate `rand` como dependência.

Talvez pra você apareçam versões diferentes (mas elas são todas compatíveis com o código, graças ao Versionamento Semântico!), e as linhas talvez apareçam em ordem diferente.

Agora que temos uma dependência externa, Cargo busca as versões mais recentes de tudo no *registro*, que é uma cópia dos dados do [Crates.io](https://crates.io). Crates.io é onde as pessoas do ecossistema Rust postam seus projetos *open source* para que os outros possam usar.

Após atualizar o registro, Cargo verifica a seção `[dependencies]` e baixa todas as que você não tem ainda. Neste caso, embora tenhamos listado apenas `rand` como dependência, o Cargo também puxou uma cópia da `libc`, porque `rand` depende da `libc` para funcionar. Depois de baixá-las, o Cargo as compila e então compila nosso projeto.

Se, logo em seguida, você executar `cargo build` novamente sem fazer mudanças, não vai aparecer nenhuma mensagem de saída. O Cargo sabe que já baixou e compilou as dependências, e você não alterou mais nada sobre elas no seu arquivo *Cargo.toml*. Cargo também sabe que você não mudou mais nada no seu código, e por isso não o recompila. Sem nada a fazer, ele simplesmente sai. Se você abrir *src/main.rs*, fizer uma modificação trivial, salvar e compilar de novo, vai aparecer uma mensagem de apenas duas linhas:

```
$ cargo build
   Compiling jogo_de_advinhacao v0.1.0 (file:///projects/jogo_de_advinhacao)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 2.53 secs
```

Essas linhas mostram que o Cargo só atualiza o *build* com a sua pequena mudança no arquivo *src/main.rs*. Suas dependências não mudaram, então o Cargo sabe que pode reutilizar o que já tiver sido baixado e compilado para elas. Ele apenas recompila a sua parte do código.

O Arquivo *Cargo.lock* Garante *Builds* Reprodutíveis

O Cargo tem um mecanismo que assegura que você pode reconstruir o mesmo artefato toda vez que você ou outra pessoa compilar o seu código. O Cargo vai usar apenas as

versões das dependências que você especificou, até que você indique o contrário. Por exemplo, o que acontece se, na semana que vem, sair a versão `v0.3.15` contendo uma correção de bug, mas também uma regressão que não funciona com o seu código?

A resposta para isso está no arquivo *Cargo.lock*, que foi criado na primeira vez que você executou `cargo build`, e agora está no seu diretório *jogo_de_advinhacao*. Quando você compila o seu projeto pela primeira vez, o Cargo descobre as versões de todas as dependências que preenchem os critérios e então as escreve no arquivo *Cargo.lock*. Quando você compilar o seu projeto futuramente, o Cargo verá que o arquivo *Cargo.lock* existe e usará as versões especificadas lá, em vez de refazer todo o trabalho descobrir as versões novamente. Isto lhe permite ter um *build* reproduzível automaticamente. Em outras palavras, seu projeto vai continuar com a versão `0.3.14` até que você faça uma atualização explícita, graças ao arquivo *Cargo.lock*.

Atualizando um Crate para Obter uma Nova Versão

Quando você *quiser* atualizar um crate, o Cargo tem outro comando, `update`, que faz o seguinte:

1. Ignora o arquivo *Cargo.lock* e descobre todas as versões mais recentes que atendem as suas especificações no *Cargo.toml*.
2. Se funcionar, o Cargo escreve essas versões no arquivo *Cargo.lock*.

Mas, por padrão, o Cargo vai procurar as versões maiores que `0.3.0` e menores que `0.4.0`. Se o crate `rand` já tiver lançado duas novas versões, `0.3.15` e `0.4.0`, você verá a seguinte mensagem ao executar `cargo update`:

```
$ cargo update
  Updating registry `https://github.com/rust-lang/crates.io-index`
  Updating rand v0.3.14 -> v0.3.15
```

Nesse ponto, você vai notar também uma mudança no seu arquivo *Cargo.lock* dizendo que a versão do crate `rand` que você está usando agora é a `0.3.15`.

Se você quisesse usar a versão `0.4.0`, ou qualquer versão da série `0.4.x` do `rand`, você teria que atualizar o seu *Cargo.toml* dessa forma:

```
[dependencies]

rand = "0.4.0"
```

Na próxima vez que você executar `cargo build`, o Cargo vai atualizar o registro de crates disponíveis e reavaliar os seus requisitos sobre o `rand` de acordo com a nova versão que

você especificou.

Há muito mais a ser dito sobre [Cargo](#) e o [seu ecossistema](#) que vai ser discutido no Capítulo 14, mas por ora isto é tudo que você precisa saber. Cargo facilita muito reutilizar bibliotecas, de forma que os *rustáceos* consigam escrever projetos menores que são montados a partir de diversos pacotes.

Gerando um Número Aleatório

Agora vamos *usar*, de fato, o `rand`. O próximo passo é atualizar o `src/main.rs` conforme mostrado na Listagem 2-3:

Arquivo: `src/main.rs`

```
extern crate rand;

use std::io;
use rand::Rng;

fn main() {
    println!("Advinhe o número!");

    let numero_secreto = rand::thread_rng().gen_range(1, 101);

    println!("O número secreto é: {}", numero_secreto);

    println!("Digite o seu palpite.");

    let mut palpite = String::new();

    io::stdin().read_line(&mut palpite)
        .expect("Falha ao ler entrada");

    println!("Você disse: {}", palpite);
}
```

Listagem 2-3: Mudanças necessárias do código para gerar um número aleatório.

Estamos adicionando a linha `extern crate rand` ao topo do arquivo para indicar ao Rust que estamos usando uma dependência externa. Isto também é equivalente a um `use rand;`, assim podemos chamar qualquer coisa que esteja no `crate rand` prefixando-a com `rand::`.

Em seguida, adicionamos outra linha `use: use rand::Rng`. `Rng` é um `trait` que define métodos a serem implementados pelos geradores de números aleatórios, e esse `trait` deve estar dentro do escopo para que possamos usar esses métodos. O Capítulo 10 vai abordar

traits em mais detalhes.

Tem outras duas linhas que adicionamos no meio. A função `rand::thread_rng` nos dá o gerador de números aleatórios que vamos usar, um que é local à *thread* corrente e que é inicializado pelo sistema operacional. Depois, vamos chamar o método `gen_range` no gerador de números aleatórios. Esse método está definido pelo trait `Rng` que trouxemos ao escopo por meio do `use rand::Rng`. Este método recebe dois argumentos e gera um número aleatório entre eles. Ele inclui o limite inferior mas exclui o superior, então precisamos passar `1` e `101` para obter um número de 1 a 100.

Saber quais traits devem ser usadas e quais funções e métodos de um crate devem ser chamados não é nada trivial. As instruções de como usar um crate estão na documentação de cada um. Outra coisa boa do Cargo é que você pode rodar o comando `cargo doc --open` que vai construir localmente a documentação fornecida por todas as suas dependências e abri-las no seu navegador. Se você estiver interessado em outras funcionalidades do crate `rand`, por exemplo, execute `cargo doc --open` e clique em `rand`, no menu ao lado esquerdo.

A segunda linha que adicionamos imprime o número secreto. Isto é útil enquanto estamos desenvolvendo o programa para podermos testá-lo, mas vamos retirá-la da versão final. Um jogo não é muito interessante se ele mostra a resposta logo no início!

Tente rodar o programa algumas vezes:

```
$ cargo run
   Compiling jogo_de_advinhacao v0.1.0 (file:///projects/jogo_de_advinhacao)
   Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 2.53 secs
   Running `target/debug/jogo_de_advinhacao`
Advinhe o número!
O número secreto é: 7
Digite o seu palpite.
4
Você disse: 4
$ cargo run
   Running `target/debug/jogo_de_advinhacao`
Advinhe o número!
O número secreto é: 83
Digite o seu palpite.
5
Você disse: 5
```

Você já deve obter números aleatórios diferentes, e eles devem ser todos entre 1 e 100. Bom trabalho!

Comparando o Palpite com o Número Secreto

Agora que nós temos a entrada do usuário e o número secreto, vamos compará-los. Esta etapa é mostrada na Listagem 2-4:

Arquivo: src/main.rs

```
extern crate rand;

use std::io;
use std::cmp::Ordering;
use rand::Rng;

fn main() {
    println!("Advinhe o número!");

    let numero_secreto = rand::thread_rng().gen_range(1, 101);

    println!("O número secreto é: {}", numero_secreto);

    println!("Digite o seu palpite.");

    let mut palpite = String::new();

    io::stdin().read_line(&mut palpite)
        .expect("Falha ao ler entrada");

    println!("Você disse: {}", palpite);

    match palpite.cmp(&numero_secreto) {
        Ordering::Less => println!("Muito baixo!"),
        Ordering::Greater => println!("Muito alto!"),
        Ordering::Equal => println!("Você acertou!"),
    }
}
```

Listagem 2-4: Tratando os possíveis resultados da comparação de dois números.

A primeira novidade aqui é outro `use`, que traz ao escopo um tipo da biblioteca padrão chamado `std::cmp::Ordering`. `Ordering` é outra enum, igual a `Result`, mas as suas variantes são `Less`, `Greater` e `Equal` (elas significam menor, maior e igual, respectivamente). Estes são os três possíveis resultados quando você compara dois valores.

Depois, adicionamos cinco novas linhas no final que usam o tipo `Ordering`:


```
match palpite.cmp(&numero_secreto) {  
    Ordering::Less => println!("Muito baixo!"),  
    Ordering::Greater => println!("Muito alto!"),  
    Ordering::Equal => println!("Você acertou!"),  
}
```

O método `cmp` compara dois valores, e pode ser chamado a partir de qualquer coisa que possa ser comparada. Ele recebe uma referência de qualquer coisa que você queira comparar. Neste caso, está comparando o `palpite` com o `numero_secreto`. `cmp` retorna uma variante do tipo `Ordering`, que trouxemos ao escopo com `use`. Nós usamos uma expressão `match` para decidir o que fazer em seguida, com base em qual variante de `Ordering` foi retornada pelo método `cmp`, que foi chamado com os valores `palpite` e `numero_secreto`.

Uma expressão `match` é composta de *braços*. Um braço consiste em um *padrão* mais o código que deve ser executado se o valor colocado no início do `match` se encaixar no padrão deste braço. O Rust pega o valor passado ao `match` e o compara com o padrão de cada braço na sequência. A expressão `match` e os padrões são ferramentas poderosas do Rust que lhe permitem expressar uma variedade de situações que seu código pode encontrar, e ajuda a assegurar que você tenha tratado todas elas. Essas ferramentas serão abordadas em detalhes nos capítulos 6 e 18, respectivamente.

Vamos acompanhar um exemplo do que aconteceria na expressão `match` usada aqui. Digamos que o usuário tenha colocado 50 como palpite, e o número secreto aleatório desta vez é 38. Quando o código compara 50 com 38, o método `cmp` vai retornar `Ordering::Greater`, porque 50 é maior que 38. `Ordering::Greater` é o valor passado ao `match`. Ele olha para o padrão `Ordering::Less` do primeiro braço, mas o valor `Ordering::Greater` não casa com `Ordering::Less`, então ele ignora o código desse braço e avança para o próximo. Já o padrão do próximo braço, `Ordering::Greater`, *casa* com `Ordering::Greater`! O código associado a este braço vai ser executado e mostrar `Muito alto!` na tela. A expressão `match` termina porque já não tem mais necessidade de verificar o último braço nesse caso particular.

Porém, o código da Listagem 2-4 ainda não vai compilar. Vamos tentar:

```

$ cargo build
   Compiling jogo_de_advinhacao v0.1.0 (file:///projects/jogo_de_advinhacao)
error[E0308]: mismatched types
  --> src/main.rs:23:21
   |
23 |         match palpite.cmp(&numero_secreto) {
   |                             ^^^^^^^^^^^^^^^^^ expected struct
   |                             `std::string::String`, found integral variable
   |
   = note: expected type `&std::string::String`
   = note:    found type `&{integer}`

error: aborting due to previous error
Could not compile `jogo_de_advinhacao`.

```

O que este erro está dizendo é que temos *tipos incompatíveis*. Rust tem um sistema de tipos forte e estático. Porém, Rust também tem inferência de tipos. Quando escrevemos `let palpite = String::new()`, Rust foi capaz de inferir que `palpite` deveria ser uma `String`, então ele não nos faz escrever o tipo. O `numero_secreto`, por outro lado, é de um tipo numérico. Existem alguns tipos numéricos capazes de guardar um valor entre 1 e 100: `i32`, que é um número de 32 bits; `u32`, um número de 32 bits sem sinal; `i64`, um número de 64 bits; e mais alguns outros. O tipo numérico padrão do Rust é `i32`, que é o tipo do `numero_secreto`, a não ser que adicionemos, em algum lugar, uma informação de tipo que faça o Rust inferir outro tipo numérico. A razão do erro é que o Rust não pode comparar uma string e um tipo numérico.

Em última análise, queremos converter a `String` que lemos como entrada em um tipo numérico de verdade, de forma que possamos compará-lo numericamente com o `palpite`. Podemos fazer isso com mais duas linhas no corpo da função `main`:

Arquivo: `src/main.rs`

```

extern crate rand;

use std::io;
use std::cmp::Ordering;
use rand::Rng;

fn main() {
    println!("Advinhe o número!");

    let numero_secreto = rand::thread_rng().gen_range(1, 101);

    println!("O número secreto é: {}", numero_secreto);

    println!("Digite o seu palpite.");

    let mut palpite = String::new();

    io::stdin().read_line(&mut palpite)
        .expect("Falha ao ler entrada");

    let palpite: u32 = palpite.trim().parse()
        .expect("Por favor, digite um número!");

    println!("Você disse: {}", palpite);

    match palpite.cmp(&numero_secreto) {
        Ordering::Less => println!("Muito baixo!"),
        Ordering::Greater => println!("Muito alto!"),
        Ordering::Equal => println!("Você acertou!"),
    }
}

```

As duas linhas novas são:

```

let palpite: u32 = palpite.trim().parse()
    .expect("Por favor, digite um número!");

```

Nós criamos uma variável chamada `palpite`. Mas espera, o programa já não tinha uma variável chamada `palpite`? Sim, mas o Rust nos permite *sombrear* o `palpite` anterior com um novo. Isto é geralmente usado em situações em que você quer converter um valor de um tipo em outro. O sombreamento nos permite reutilizar o nome `palpite`, em vez de nos forçar a criar dois nomes únicos como `palpite_str` e `palpite`, por exemplo. (O Capítulo 3 vai cobrir sombreamento em mais detalhes).

Nós vinculamos `palpite` à expressão `palpite.trim().parse()`. O `palpite`, na expressão, refere-se ao `palpite` original contendo a `String` de entrada do usuário. O método `trim`, em uma instância de `String`, vai eliminar quaisquer espaços em branco no início e no fim. `u32` pode conter apenas caracteres numéricos, mas o usuário precisa pressionar Enter para

satisfazer o `read_line`. Quando o usuário pressiona Enter, um caractere de nova linha é inserido na string. Por exemplo, se o usuário digitar 5 e depois Enter, `palpite` ficaria assim: `5\n`. O `\n` representa uma linha nova, a tecla Enter. O método `trim` elimina o `\n`, deixando apenas `5`.

O método `parse em strings` converte uma string para algum tipo de número. Dado que ele pode interpretar uma variedade de tipos numéricos, precisamos dizer ao Rust qual o tipo exato de número nós queremos, e para isso usamos `let palpite: u32`. Os dois pontos (`:`) depois de `palpite` informam ao Rust que estamos anotando seu tipo. O Rust tem alguns tipos numéricos embutidos, o `u32` visto aqui é um inteiro de 32 bits sem sinal. É uma boa escolha padrão para um número positivo pequeno. Você vai aprender sobre outros tipos numéricos no Capítulo 3. Além disso, a anotação `u32` neste programa de exemplo e a comparação com `numero_secreto` significam que o Rust vai inferir que `numero_secreto` também deve ser um `u32`. Então agora a comparação vai ser feita entre valores do mesmo tipo!

A chamada para `parse` poderia facilmente causar um erro. Por exemplo, se a string contiver `A👍%`, não haveria como converter isto em um número. Como ele pode falhar, o método `parse` retorna um `Result`, assim como o método `read_line`, conforme discutido anteriormente na seção "Tratando Potenciais Falhas com o Tipo `Result`". Vamos tratar este `Result` da mesma forma usando o método `expect` de novo. Se o `parse` retornar uma variante `Err` da enum `Result`, por não conseguir criar um número a partir da string, a chamada ao `expect` vai causar um *crash* no jogo e exibir a mensagem que passamos a ele. Se o `parse` conseguir converter uma string em um número, ele vai retornar a variante `Ok` da enum `Result` e `expect` vai retornar o número que queremos extrair do valor `Ok`.

Agora vamos executar o programa!

```
$ cargo run
  Compiling jogo_de_advinhacao v0.1.0 (file:///projects/jogo_de_advinhacao)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.43 secs
  Running `target/jogo_de_advinhacao`
Advinhe o número!
O número secreto é: 58
Digite o seu palpite.
76
Você disse: 76
Muito alto!
```

Boa! Até mesmo colocando alguns espaços antes de digitar o palpite, o programa ainda descobriu que o palpite do usuário é 76. Execute o programa mais algumas vezes para verificar os diferentes comportamentos com diferentes tipos de entrada: advinhe o número corretamente, digite um número muito alto, e digite um número muito baixo.

Agora já temos a maior parte do jogo funcionando, mas o usuário só consegue dar um palpite uma vez. Vamos mudar isso adicionando laços!

Permitindo Múltiplos Palpites Usando *Looping*

A palavra-chave `loop` nos dá um laço (*loop*) infinito. Use-a para dar aos usuários mais chances de adivinhar o número:

Arquivo: `src/main.rs`

```
extern crate rand;

use std::io;
use std::cmp::Ordering;
use rand::Rng;

fn main() {
    println!("Advinhe o número!");

    let numero_secreto = rand::thread_rng().gen_range(1, 101);

    println!("O número secreto é: {}", numero_secreto);

    loop {
        println!("Digite o seu palpite.");

        let mut palpite = String::new();

        io::stdin().read_line(&mut palpite)
            .expect("Falha ao ler entrada");

        let palpite: u32 = palpite.trim().parse()
            .expect("Por favor, digite um número!");

        println!("Você disse: {}", palpite);

        match palpite.cmp(&numero_secreto) {
            Ordering::Less => println!("Muito baixo!"),
            Ordering::Greater => println!("Muito alto!"),
            Ordering::Equal => println!("Você acertou!"),
        }
    }
}
```

Como você pode ver, movemos tudo para dentro do laço a partir da mensagem pedindo o palpite do usuário. Certifique-se de indentar essas linhas mais quatro espaços cada uma, e execute o programa novamente. Repare que há um novo problema, porque o programa

está fazendo exatamente o que dissemos para ele fazer: pedir sempre outro palpite! Parece que o usuário não consegue sair!

O usuário pode sempre interromper o programa usando as teclas `ctrl-c`. Mas há uma outra forma de escapar deste monstro insaciável que mencionamos na discussão do método `parse`, na seção "Comparando o Palpite com o Número Secreto": se o usuário fornece uma resposta não-numérica, o programa vai sofrer um *crash*. O usuário pode levar vantagem disso para conseguir sair, como mostrado abaixo:

```
$ cargo run
  Compiling jogo_de_advinhacao v0.1.0 (file:///projects/jogo_de_advinhacao)
  Running `target/jogo_de_advinhacao`
Advinhe o número!
O número secreto é: 59
Digite o seu palpite.
45
Você disse: 45
Muito baixo!
Digite o seu palpite.
60
Você disse: 60
Muito alto!
Digite o seu palpite.
59
Você disse: 59
Você acertou!
Digite o seu palpite.
sair
thread 'main' panicked at 'Por favor, digite um número!: ParseIntError { kind: InvalidDigit }', src/libcore/result.rs:785
note: Run with `RUST_BACKTRACE=1` for a backtrace.
error: Process didn't exit successfully: `target/debug/jogo_de_advinhacao` (exit code: 101)
```

Digitar `sair`, na verdade, sai do jogo, mas isso também acontece com qualquer outra entrada não numérica. Porém, isto não é o ideal. Queremos que o jogo termine automaticamente quando o número é adivinhado corretamente.

Saindo Após um Palpite Correto

Vamos programar o jogo para sair quando o usuário vencer, colocando um `break`:

Arquivo: `src/main.rs`

```

extern crate rand;

use std::io;
use std::cmp::Ordering;
use rand::Rng;

fn main() {
    println!("Advinhe o número!");

    let numero_secreto = rand::thread_rng().gen_range(1, 101);

    println!("O número secreto é: {}", numero_secreto);

    loop {
        println!("Digite o seu palpite.");

        let mut palpite = String::new();

        io::stdin().read_line(&mut palpite)
            .expect("Falha ao ler entrada");

        let palpite: u32 = palpite.trim().parse()
            .expect("Por favor, digite um número!");

        println!("Você disse: {}", palpite);

        match palpite.cmp(&numero_secreto) {
            Ordering::Less => println!("Muito baixo"),
            Ordering::Greater => println!("Muito alto!"),
            Ordering::Equal => {
                println!("Você acertou!");
                break;
            }
        }
    }
}

```

Adicionando a linha `break` após o `Você acertou!`, o programa vai sair do laço quando o usuário adivinhar corretamente o número secreto. Sair do laço também significa sair do programa, pois o laço é a última parte da `main`.

Tratando Entradas Inválidas

Para refinar ainda mais o comportamento do jogo, em vez de causar um *crash* no programa quando o usuário insere uma entrada não numérica, vamos fazer o jogo ignorá-la para que o usuário possa continuar tentando. Podemos fazer isso alterando a linha em que o `palpite` é convertido de `String` para `u32`:

```
let palpite: u32 = match palpite.trim().parse() {  
    Ok(num) => num,  
    Err(_) => continue,  
};
```

Trocando uma chamada a `expect` por uma expressão `match` é a forma como você geralmente deixa de causar um *crash* em um erro e passa a tratá-lo, de fato. Lembre-se que o método `parse` retorna um valor do tipo `Result`, uma enum que contém a variante `Ok` ou `Err`. Estamos usando um `match` aqui, assim como fizemos com o `Ordering` resultante do método `cmp`.

Se o `parse` consegue converter a string em um número, ele vai retornar um `Ok` contendo o número resultante. Esse valor `Ok` vai casar com o padrão do primeiro braço, e o `match` vai apenas retornar o valor `num` produzido pelo `parse` e colocado dentro do `Ok`. Esse número vai acabar ficando exatamente onde queremos, na variável `palpite` que estamos criando.

Se o `parse` *não* conseguir converter a string em um número, ele vai retornar um `Err` que contém mais informações sobre o erro. O valor `Err` não casa com o padrão `Ok(num)` do primeiro braço do `match`, mas casa com o padrão `Err(_)` do segundo braço. O `_` é um valor "pega tudo". Neste exemplo, estamos dizendo que queremos casar todos os valores `Err`, não importa qual informação há dentro deles. Então o programa vai executar o código do segundo braço, `continue`, que significa ir para a próxima iteração do `loop` e pedir outro palpite. Efetivamente, o programa ignora todos os erros que o `parse` vier a encontrar!

Agora, tudo no programa deve funcionar como esperado. Vamos tentar executá-lo usando o comando `cargo run`:

```
$ cargo run  
    Compiling jogo_de_advinhacao v0.1.0 (file:///projects/jogo_de_advinhacao)  
    Running `target/jogo_de_advinhacao`  
Advinhe o número!  
O número secreto é: 61  
Digite o seu palpite.  
10  
Você disse: 10  
Muito baixo!  
Digite o seu palpite.  
99  
Você disse: 99  
Muito alto!  
Digite o seu palpite.  
foo  
Digite o seu palpite.  
61  
Você disse: 61  
Você acertou!
```


Demais! Com apenas um último ajuste, vamos finalizar o jogo de adivinhação: lembre-se que o programa ainda está mostrando o número secreto. Isto foi bom para testar, mas estraga o jogo. Vamos apagar o `println!` que revela o número secreto. A Listagem 2-5 mostra o código final:

Arquivo: `src/main.rs`

```
extern crate rand;

use std::io;
use std::cmp::Ordering;
use rand::Rng;

fn main() {
    println!("Advinhe o número!");

    let numero_secreto = rand::thread_rng().gen_range(1, 101);

    loop {
        println!("Digite o seu palpite.");

        let mut palpite = String::new();

        io::stdin().read_line(&mut palpite)
            .expect("Falha ao ler entrada");

        let palpite: u32 = match palpite.trim().parse() {
            Ok(num) => num,
            Err(_) => continue,
        };

        println!("Você disse: {}", palpite);

        match palpite.cmp(&numero_secreto) {
            Ordering::Less => println!("Muito baixo!"),
            Ordering::Greater => println!("Muito alto!"),
            Ordering::Equal => {
                println!("Você acertou!");
                break;
            }
        }
    }
}
```

Listagem 2-5: Código completo do jogo de adivinhação.

Resumo

Neste ponto, você construiu com sucesso o jogo de adivinhação! Parabéns!

Este projeto foi uma forma prática de apresentar vários conceitos novos de Rust: `let`, `match`, métodos, funções associadas, uso de crates externas, e outros. Nos próximos capítulos, você vai aprender sobre esses conceitos em mais detalhes. O Capítulo 3 aborda conceitos que a maioria das linguagens de programação tem, como variáveis, tipos de dados e funções, e mostra como usá-los em Rust. O Capítulo 4 explora posse (*ownership*), que é a característica do Rust mais diferente das outras linguagens. O Capítulo 5 discute structs e a sintaxe de métodos, e o Capítulo 6 se dedica a explicar enums.

Conceitos Comuns de Programação

Este capítulo aborda conceitos que aparecem em quase todas as linguagens de programação e como eles funcionam no Rust. Muitas linguagens de programação têm muito em comum em seu cerne. Nenhum dos conceitos apresentados neste capítulo é exclusivo de Rust, mas vamos discuti-los no contexto do Rust e explicar as convenções em torno do uso desses conceitos.

Especificamente, você aprenderá sobre variáveis, tipos básicos, funções, comentários e fluxo de controle. Esses princípios estarão em todos os programas em Rust, e aprendê-los cedo lhe dará uma boa base para começar.

Palavras chaves

A linguagem Rust tem uma série de *palavras-chaves* que são reservadas para uso exclusivo da linguagem, como ocorre em outras linguagens. Tenha em mente que você não pode usar essas palavras como nome de variáveis ou funções. A maioria das palavras-chaves tem um significado específico, e você estará usando-as para várias tarefas em programas em Rust; algumas ainda não possuem funcionalidades associadas a elas, mas foram reservadas para funcionalidades que podem ser adicionadas ao Rust futuramente. Você encontrará uma lista de palavras-chaves no Apêndice A.

Variáveis e Mutabilidade

Como mencionado no Capítulo 2, por padrão, as variáveis são imutáveis. Essa é uma das maneiras que o Rust lhe dá para escrever o seu código de modo seguro e a fácil

concorrência que Rust oferece. No entanto, você ainda tem a opção de tornar a sua variável mutável. Vamos explorar como e por que Rust incentiva você a usar variáveis imutáveis e por que às vezes pode não optar por utilizá-las.

Quando uma variável é imutável, logo que um valor é associado a uma variável, você não pode mudar este valor. Para ilustrar isso, vamos criar um projeto chamado *variaveis* no seu diretório *projetos* usando `cargo new --bin variables`.

Então dentro do novo diretório chamado *variaveis*, abra *src/main.rs* e substitua o código com o código abaixo, que não irá compilar:

Nome do arquivo: *src/main.rs*

```
fn main() {  
    let x = 5;  
    println!("O valor de x é: {}", x);  
    x = 6;  
    println!("O valor de x é: {}", x);  
}
```

Salve e execute o programa usando `cargo run`. Você deve receber uma mensagem de erro, conforme mostrado nesta saída:

```
error[E0384]: cannot assign twice to immutable variable `x`  
--> src/main.rs:4:5  
  |  
2 |     let x = 5;  
  |         - first assignment to `x`  
3 |     println!("O valor de x é: {}", x);  
4 |     x = 6;  
  |     ^^^^^ cannot assign twice to immutable variable
```

Esse exemplo mostra como o compilador ajuda você a encontrar erros no seus programas. Mesmo que erros de compilação sejam frustrantes, eles apenas significam que seu programa não está fazendo de modo seguro o que você espera fazer; eles *não* significam que você não é um bom programador! Programadores experientes também recebem erros de compilação.

A mensagem indica que a causa do erro é que você não pode atribuir mais de uma vez à variável imutável `x`, porque você tentou atribuir um segundo valor à variável `x`.

É importante que nos recebamos erros em tempo de compilação quando tentamos alterar um valor que anteriormente foi indicado como imutável, porque esta situação pode ocasionar erros. Se uma parte do seu código funciona assumindo que o valor nunca será alterado e outra parte do seu código muda este valor, é possível que a primeira parte do

código não faça o que foi projetada para fazer. A causa desse tipo de falha pode ser difícil de rastrear, especialmente quando o segundo trecho de código muda o valor apenas *algumas* vezes.

Em Rust, o compilador garante que quando você afirma que um valor não pode mudar, ele não mude. Isso significa que quando você está lendo e escrevendo código, você não tenha de acompanhar como e onde um valor pode mudar. E assim seu código fica mais fácil de entender.

Mas mutabilidade pode ser muito útil. Variáveis são imutáveis por padrão; como você fez no Capítulo 2, você pode torná-las mutáveis adicionando `mut` na frente do nome da variável. Além de permitir que este valor mude, `mut` transmite a intenção aos futuros leitores do código, indicando que naquela parte do código estarão mudando o valor da variável.

Por exemplo, vamos mudar `src/main.rs` para o seguinte:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let mut x = 5;  
    println!("O valor de x é: {}", x);  
    x = 6;  
    println!("O valor de x é: {}", x);  
}
```

Quando executamos o programa, recebemos isso:

```
$ cargo run  
    Compiling variaveis v0.1.0 (file:///projects/variaveis)  
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.30 secs  
    Running `target/debug/variaveis`  
O valor de x é: 5  
O valor de x é: 6
```

Estamos autorizados a mudar o valor 5 contido em `x` para 6 quando `mut` é usado. Em alguns casos, você precisará criar uma variável mutável porque ela será mais conveniente para escrever do que se fosse imutável.

Tem vários compromissos a serem considerados além de prevenção de falhas. Por exemplo, nos casos em que você usa estruturas de dados grandes, a alteração em uma instância pode ser mais rápida do que copiar e retornar a nova instância alocada. Com estruturas de dados menores, criar novas instâncias e escrever em um estilo de programação funcional pode ser mais fácil de entender, portanto, um desempenho menor pode ser uma penalidade que vale a pena para obter mais clareza.

Diferenças entre variáveis e constantes

Ser incapaz de mudar o valor de uma variável, pode ter feito você lembrar de outro conceito de programação, que a maioria das outras linguagens possui, chamado: *constantes*. Como variáveis imutáveis, constantes são valores que estão vinculados ao nome e não podem serem alterados, mas há algumas diferenças entre constantes e variáveis.

Primeiro, você não pode usar `mut` com constantes. Constante não são apenas imutáveis por padrão, constante são sempre imutáveis.

Você declara constante usando a palavra-chave `const` em vez de `let`, e o tipo do valor *necessita* ser especificado. Falaremos sobre tipos de dados na próxima seção, "Data Type", então não se preocupe com os detalhes por agora. Apenas saiba que você precisa especificar o tipo.

Constantes podem ser declaradas em qualquer escopo, incluindo o escopo global, o que os tornam úteis para valores que várias partes do código precisa conhecer.

A última diferença é que as constantes podem ser definidas apenas para uma expressão constante, ou seja, não pode ser o resultado de uma chamada de função ou qualquer outro valor que só poderia ser calculado em tempo de execução.

Aqui está um exemplo de uma declaração constante, em que o nome da constante é `PONTOS_MAXIMOS` e o valor definido é 100,000 (por convenção, constantes em Rust são nomeadas usando maiúsculas e sublinhado entre as palavras):

```
const PONTOS_MAXIMOS: u32 = 100_000;
```

Constante são válidas durante todo o tempo de execução de um programa, dentro do escopo em que foram declaradas, tornando-as uma ótima escolha para valores no domínio da aplicação, que várias partes do programa necessitam conhecer, como por exemplo, o número máximo de pontos um jogador pode ter ou a velocidade da luz.

A nomeação de valores codificados permanentemente usados em todo o programa como constantes é útil para transmitir o significado desse valor para futuros mantenedores do código. Também ajuda ter apenas um lugar em seu código que você precisaria mudar se o valor codificado precisasse ser atualizado no futuro.

Shadowing

Como você viu na seção "Comparando o Adivinha ao Número Secreto" no Capítulo 2, você

pode declarar uma nova variável com o mesmo nome de uma variável anterior, e a nova variável sombreia a variável anterior. Rustaceans dizem que a primeira variável é *sombreada* pela segunda, o que significa que o segundo valor da variável é o que aparece quando a variável é usada. Podemos sombrear uma variável usando o mesmo nome da variável e repetindo o uso da palavra-chave `let` da seguinte forma:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let x = 5;

    let x = x + 1;

    let x = x * 2;

    println!("O valor de x é: {}", x);
}
```

Esse programa primeiro vincula `x` ao valor `5`. Em seguida `x` é sombreado por `let x =`, pegando o valor original e adicionando `1`, então o valor de `x` é `6`. O terceiro `let` também sombreia `x`, multiplicando o valor anterior por `2` para então `x` ficar com o valor final de `12`. Quando nós executamos esse programa, é produzida a seguinte saída:

```
$ cargo run
  Compiling variaveis v0.1.0 (file:///projects/variaveis)
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.31 secs
    Running `target/debug/variaveis`
O valor de x é: 12
```

Shadowing é diferente do que dizer que uma variável é `mut`, porque teremos um erro em tempo de compilação se, acidentalmente, tentarmos reatribuir essa variável sem utilizar `let`. Usando `let`, nós podemos realizar algumas transformações, mas sem ter uma variável imutável após estas transformações terem sido concluídas.

Uma outra diferença entre `mut` e shadowing é que, como estamos efetivamente criando uma nova váriavel, quando usamos novamente a palavra-chave `let`, nós podemos mudar o tipo do valor, mas reutilizando o mesmo nome. Por exemplo, digamos que nosso programa solicite ao usuário que mostre quantos espaços deseja entre um texto, inserindo caracteres de espaço, mas queremos armazenar essa entrada como um número:

```
let espacos = "  ";
let espacos = espacos.len();
```

Essa construção é permitida, porque a primeira variável `espacos` é do tipo `string` e a

segunda variável, que é uma nova variável que tem o mesmo nome que a primeira, é do tipo numérico. Shadowing nos poupa de ter de criar nomes diferentes, como `str_espacos` e `num_espacos`; em vez disso, podemos simplesmente reutilizar o nome `espacos`. No entanto, se tentássemos usar `mut` para isso, como mostramos aqui, teremos um erro em tempo de compilação:

```
let mut espacos = " ";
espacos = espacos.len();
```

O erro diz que não podemos alterar o tipo de variável:

```
error[E0308]: mismatched types
--> src/main.rs:3:14
   |
3  |     espacos = espacos.len();
   |               ^^^^^^^^^^^^^ expected &str, found usize
   |
   = note: expected type `&str`
           found type `usize`
```

Agora que exploramos como as variáveis funcionam, vamos ver mais tipos de dados.

Tipos de dados

Todo valor em Rust é um *tipo de dado*, que informa ao Rust que tipos de dados estão sendo especificados para que saiba como trabalhar com esses dados. Vamos olhar para dois subconjuntos de tipos de dados: escalar e composto.

Tenha em mente que Rust é uma linguagem de *tipagem estática*, o que significa que deve conhecer os tipos de todas as variáveis em tempo de compilação. O compilador geralmente pode inferir que tipo queremos com base no valor e como o usamos. Nos casos em que são possíveis vários tipos de dados, como quando convertemos uma `String` em um tipo numérico usando `parse` na seção "Comparando o Adivinha ao Número Secreto" no Capítulo 2, devemos adicionar uma anotação de tipo, como a seguinte:

```
let guess: u32 = "42".parse().expect("Não é um número!");
```

Se não adicionarmos uma anotação de tipo, Rust irá mostrar o seguinte erro, que significa que o compilador precisa de mais informações para saber qual tipo de dados queremos usar:

```

error[E0282]: type annotations needed
  --> src/main.rs:2:9
   |
2  |     let guess = "42".parse().expect("Não é um número!");
   |           ^^^^^
   |           |
   |           cannot infer type for `_`
   |           consider giving `guess` a type

```

Você verá anotações de tipos diferentes para outros tipos de dados.

Tipos escalares

Um tipo *escalar* representa um valor único. Rust tem quatro tipos escalares primários: inteiros, números de ponto flutuante, booleanos e caracteres. Você pode reconhecer esses tipos de outras linguagens de programação. Vamos pular para como eles funcionam no Rust.

Tipos inteiros

Um *inteiro* é um número sem a parte fracionária. Usamos um tipo inteiro no Capítulo 2, o tipo `u32`. Esse tipo de declaração indica que o valor associado deve ser um inteiro sem sinal (tipos inteiros com sinal começam com `i`, em vez de `u`) que ocupa 32 bits de espaço. Tabela 3-1 mostra os tipos inteiros internos ao Rust. Cada variante está na coluna com sinal e sem sinal (por exemplo, `i16`) pode ser usada para declarar um valor do tipo inteiro.

Tabela 3-1: Tipos inteiros no Rust

Tamanho	Signed	Unsigned
8-bit	<code>i8</code>	<code>u8</code>
16-bit	<code>i16</code>	<code>u16</code>
32-bit	<code>i32</code>	<code>u32</code>
64-bit	<code>i64</code>	<code>u64</code>
arch	<code>isize</code>	<code>usize</code>

Cada variante pode ser com ou sem sinal e ter tamanho explícito. *Signed* e *unsigned* refere-se à possibilidade do número ser negativo ou positivo - em outras palavras, se o número precisa de um sinal com ele (signed) ou se sempre for positivo pode ser representado sem um sinal (unsigned). É como escrevemos números no papel: Quando o sinal importa, o número é mostrado com um sinal de mais ou menos; contudo, quando é seguro assumir

que o número é positivo, é mostrado sem sinal. Números com sinais são armazenados usando a representação complemento de dois (se você não tiver certeza do que é isso, você pode procurar sobre isso na internet; uma explicação está fora do escopo deste livro).

Cada variante com sinal pode armazenar números de $-(2^n - 1)$ até $2^n - 1 - 1$ incluso, sendo n o número de bits que varia de acordo com o uso. Então, um `i8` pode armazenar números de $-(2^7)$ até $2^7 - 1$, que é igual a -128 até 127. Variantes sem sinal pode armazenar números de 0 até $2^n - 1$, então um `u8` pode armazenar números de 0 até $2^8 - 1$, que é de 0 até 255.

Além disso, os tipos `isize` e `usize` dependem do computador em que seu programa está rodando: 64 bits se estiver em uma arquitetura de 64-bit e 32 bits se sua arquitetura for 32-bit.

Você pode criar inteiros literais em qualquer uma das formas mostrada na Tabela 3-2. Observe que todos os literais de números, exceto o byte literal, permitem um sufixo de tipo, como por exemplo, `57u8` e `_` são separadores visuais, tal como `1_000`.

Tabela 3-2: Inteiros Literais no Rust

Números literais	Exemplo
Decimal	<code>98_222</code>
Hexadecimal	<code>0xff</code>
Octal	<code>0o77</code>
Binário	<code>0b1111_0000</code>
Byte (<code>u8</code> apenas)	<code>b'A'</code>

Então como você pode saber qual tipo de inteiro usar? Se sentir-se inseguro, as escolhas padrões do Rust geralmente são boas, e por padrão os inteiros são do tipo `i32`: Esse tipo geralmente é o mais rápido, até em sistemas de 64-bit. A principal situação em que você usaria `isize` ou `usize` é indexar algum tipo de coleção.

Tipos de ponto flutuante

Rust também tem dois tipos primitivos para *números de ponto flutuante*, que são números com casas decimais. Os pontos flutuantes do Rust são `f32` e `f64`, que têm respectivamente os tamanhos de 32 e 64 bits. O tipo padrão é `f64` porque nos processadores modernos, a velocidade é quase a mesma que em um `f32`, mas possui maior precisão.

Esse exemplo mostra números de ponto flutuante em ação:

Nome do arquivo: src/main.rs

```
fn main() {  
    let x = 2.0; // f64  
  
    let y: f32 = 3.0; // f32  
}
```

Números em ponto flutuante são representados de acordo com o padrão IEEE-754. O tipo `f32` é de precisão simples e `f64` tem precisão dupla.

Operações numéricas

Rust suporta operações matemáticas básicas, você pode esperar todas as seguintes operações para todos os tipos numéricos: adição, subtração, multiplicação, divisão e resto. O código a seguir mostra como usar cada declaração `let`:

Nome do arquivo: src/main.rs

```
fn main() {  
    // adição  
    let soma = 5 + 10;  
  
    // subtração  
    let diferenca = 95.5 - 4.3;  
  
    // multiplicação  
    let produto = 4 * 30;  
  
    // divisão  
    let quociente = 56.7 / 32.2;  
  
    // resto  
    let resto = 43 % 5;  
}
```

Cada expressão nessas declarações, usa um operador matemático e computa um único valor, que então é atribuído à uma variável. Apêndice B contém uma lista de todos os operadores que o Rust suporta.

O tipo booleano

Como em diversas linguagens de programação, o tipo Booleano em Rust possui dois valores possíveis: `true` e `false`. O tipo Booleano no Rust é especificado usando `bool`. Por exemplo:

Nome do arquivo: src/main.rs

```
fn main() {  
    let t = true;  
  
    let f: bool = false; // com tipo explícito  
}
```

A principal utilização de valores Booleanos é através dos condicionais, como um `if`. Veremos como a expressão `if` funciona em Rust na seção "Controle de fluxo".

O tipo de caractere

Até agora trabalhamos apenas com números, mas Rust também suporta letras. O `char` é o tipo mais primitivo da linguagem e o seguinte código mostra uma forma de utilizá-lo. (Observe que o `char` é especificado com aspas simples, é o oposto de strings, que usa aspas duplas.)

Nome do arquivo: src/main.rs

```
fn main() {  
    let c = 'z';  
    let z = 'Z';  
    let heart_eyed_cat = '😻';  
}
```

O tipo `char` representa um valor unicode, o que quer dizer que você pode armazenar muito mais que apenas ASCII. Letras com acentuação; ideogramas chinês, japonês e coreano; emoji; e caracteres não visíveis são válidos. Valores Unicode vão de `U+0000` até `U+D7FF` e `U+E000` até `U+10FFFF` incluso. Contudo, um "caractere" não é realmente um conceito em Unicode, então a sua intuição de o que é um "caractere" pode não combinar com o que é um `char` em Rust. Discutiremos esse tópico em detalhes em "Strings" no Capítulo 8.

Tipos compostos

Tipos compostos podem agrupar vários valores em um único tipo. Rust tem dois tipos primitivos compostos: tuplas e vetores.

O tipo tupla de valores

Uma tupla é de modo geral uma forma de agrupar um certo número de valores com uma variável do tipo composto.

Criamos uma tupla escrevendo uma lista de valores separados por vírgula dentro de parênteses. Cada posição da tupla tem um tipo e os tipos dos elementos da tupla não necessitam serem iguais. Adicionamos anotações de tipo neste exemplo:

Nome do arquivo: src/main.rs

```
fn main() {  
    let tup: (i32, f64, u8) = (500, 6.4, 1);  
}
```

A variável `tup` liga-se a tupla, porque uma tupla é considerada um único elemento composto. Para pegar os valores da tupla individualmente, podemos usar a correspondência de padrões para desestruturar o valor de uma tupla, como este:

Nome do arquivo: src/main.rs

```
fn main() {  
    let tup = (500, 6.4, 1);  
  
    let (x, y, z) = tup;  
  
    println!("O valor do y é: {}", y);  
}
```

Esse primeiro programa cria uma tupla e vincula ela à variável `tup`. Em seguida, ele usa um padrão com `let` para tirar `tup` e transformá-lo em três variáveis separadas, `x`, `y` e `z`. Isso é chamado de *desestruturação*, porque quebra uma única tupla em três partes. Finalmente, o programa exibe o valor de `y`, que é `6.4`.

Além de desestruturar através da correspondência de padrões, podemos acessar diretamente um elemento da tupla usando um ponto (`.`) como índice do valor que queremos acessar. Por exemplo:

Nome do arquivo: src/main.rs

```
fn main() {  
    let x: (i32, f64, u8) = (500, 6.4, 1);  
  
    let quinhentos = x.0;  
  
    let seis_ponto_quatro = x.1;  
  
    let um = x.2;  
}
```

Esse programa cria uma tupla, `x`, e então cria uma variável para cada elemento usando

seus índices. Como ocorre nas maiorias das linguagens, o primeiro índice em uma tupla é o 0.

O tipo matriz

Uma outra maneira de ter uma coleção de vários valores é uma *matriz*. Diferentemente de uma tupla, todos os elementos de uma matriz devem ser do mesmo tipo. Matrizes em Rust são diferentes de matrizes de outras linguagens, porque matrizes em Rust são de tamanhos fixos: uma vez declarado, eles não podem aumentar ou diminuir de tamanho.

Em Rust, os valores que entram numa matriz são escritos em uma lista separados por vírgulas dentro de colchetes:

Nome do arquivo: src/main.rs

```
fn main() {  
    let a = [1, 2, 3, 4, 5];  
}
```

Matrizes são úteis quando você deseja que seus dados sejam alocados em pilha do que no heap (discutiremos mais sobre pilha e heap no Capítulo 4), ou quando você quer garantir que sempre terá um número fixo de elementos. Uma matriz não é tão flexível como um vetor. Um vetor é de tipo semelhante, fornecido pela biblioteca padrão que é permitido diminuir ou aumentar o tamanho. Se você não tem certeza se deve usar uma matriz ou vetor, você provavelmente usará um vetor. O Capítulo 8 discute sobre vetores com mais detalhes.

Um exemplo de quando você poderia necessitar usar uma matriz no lugar de um vetor é um programa em que você precisa saber o nome dos meses do ano. É improvável que tal programa deseje adicionar ou remover meses, então você pode usar uma matriz porque você sabe que sempre conterá 12 itens:

```
let meses = ["Janeiro", "Fevereiro", "Março", "Abril", "Maio", "Junho", "Julho",  
             "Agosto", "Setembro", "Outubro", "Novembro", "Dezembro"];
```

Acessando um elemento da matriz

Uma matriz é um pedaço da memória alocada na pilha. Você pode acessar os elementos da matriz usando índices, como a seguir:

Nome do arquivo: src/main.rs

```
fn main() {
    let a = [1, 2, 3, 4, 5];

    let primeiro = a[0];
    let segundo = a[1];
}
```

Neste exemplo, a variável chamada `primeiro` irá pegar o valor `1`, porque é o valor indexado por `[0]` na matriz. A variável chamada `segundo` irá pegar o valor `2`, do índice `[1]` da matriz.

Acesso inválido a elemento da matriz

O que acontece se você tentar acessar um elemento da matriz que está além do fim da matriz? Digamos que você mude o exemplo para o código a seguir, que será compilado, mas existe um erro quando for executar:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let a = [1, 2, 3, 4, 5];
    let indice = 10;

    let elemento = a[indice];

    println!("O valor do elemento é: {}", elemento);
}
```

Executando esse código usando `cargo run`, é produzido o seguinte resultado:

```
$ cargo run
Compiling arrays v0.1.0 (file:///projects/arrays)
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.31 secs
Running `target/debug/arrays`
thread '<main>' panicked at 'index out of bounds: the len is 5 but the index is 10', src/main.rs:6
note: Run with `RUST_BACKTRACE=1` for a backtrace.
```

A compilação não produz nenhum erro, mas o programa resulta um erro *em tempo de execução* e não uma saída com sucesso. Quando você tenta acessar um elemento usando indexação, o Rust verifica se o índice especificado é menor que o tamanho da matriz. Se o índice é maior que o tamanho, o Rust vai entrar em *pânico*, que é o termo usado pelo Rust quando um programa resulta em erro.

Esse é o primeiro exemplo dos princípios de segurança do Rust em ação. Em várias linguagens de baixo nível, esse tipo de verificação não é feita e quando você fornece um

índice incorreto, memória inválida pode ser acessada. Rust protege você deste tipo de erro ao sair imediatamente, em vez de permitir o acesso à memória e continuando. O Capítulo 9 discute mais sobre o tratamento de erros do Rust.

Funções

Funções são difundidas em códigos em Rust. Você já viu uma das mais importantes funções da linguagem: a função `main`, que é o ponto de entrada de diversos programas. Você também já viu a notação `fn`, que permite você declarar uma nova função.

Códigos em Rust usam, por convenção, o estilo *snake case* para nomes de função e variável. No snake case, todas as letras são minúsculas e sublinhado (underline) separa as palavras. Aqui está um programa que contém uma definição de função de exemplo:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    println!("Olá, mundo!");  
  
    outra_funcao();  
}  
  
fn outra_funcao() {  
    println!("Outra função.");  
}
```

As definições de funções em Rust iniciam com `fn` e tem um par de parênteses depois do nome da função. As chaves dizem ao compilador onde o corpo da função começa e termina.

Podemos chamar qualquer função que tenhamos definido, inserindo seu nome, seguido de um conjunto de parenteses. Pelo fato da `outra_funcao` ter sido definida no programa, ela pode ser chamada dentro da função `main`. Note que definimos `outra_funcao` *depois* da função `main`; poderíamos ter definido antes também. Rust não se importa onde você definiu suas funções, apenas que elas foram definidas em algum lugar.

Vamos começar um novo projeto binário, chamado *funcoes* para explorar mais funções. Coloque o exemplo `outra_funcao` em `src/main.rs` e execute-o. Você verá a seguinte saída:

```
$ cargo run  
Compiling funcoes v0.1.0 (file:///projects/funcoes)  
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.28 secs  
Running `target/debug/funcoes`  
Olá, mundo!  
Outra função.
```

As linhas são executadas na ordem em que aparecem na função `main`. Primeiro, a mensagem "Olá, mundo!" é exibida, e então `outra_funcao` é chamada e exibida a mensagem.

Parâmetros de função

Funções também podem ser definidas tendo *parâmetros*, que são variáveis especiais que fazem parte da assinatura da função. Quando uma função tem parâmetros, você pode fornecer tipos específicos para esses parâmetros. Tecnicamente, os valores definidos são chamados de *argumentos*, mas informalmente, as pessoas tendem a usar as palavras *parâmetro* e *argumento* para falar tanto de variáveis da definição da função como os valores passados quando você chama uma função.

A seguinte versão (reescrita) da `outra_funcao` mostra como os parâmetros aparecem no Rust:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    outra_funcao(5);
}

fn outra_funcao(x: i32) {
    println!("O valor de x é: {}", x);
}
```

Tente executar este programa; você verá a seguinte saída:

```
$ cargo run
Compiling funcoes v0.1.0 (file:///projects/funcoes)
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 1.21 secs
Running `target/debug/funcoes`
O valor de x é: 5
```

A declaração de `outra_funcao` tem um parâmetro chamado `x`. O tipo do `x` é especificado como `i32`. Quando `5` é passado para a `outra_funcao`, a macro `println!` coloca `5` onde o par de chaves estava na string de formato.

Nas assinaturas de função, você *deve* declarar o tipo de cada parâmetro. Essa é decisão deliberada no design do Rust: exigir anotações de tipo na definição da função, significa que o compilador quase nunca precisará que as use em outro lugar do código para especificar o que você quer.

Quando você precisa que uma função tenha vários parâmetros, separe as declarações de

parâmetros com vírgula, como a seguir:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    outra_funcao(5, 6);  
}  
  
fn outra_funcao(x: i32, y: i32) {  
    println!("O valor de x é: {}", x);  
    println!("O valor de y é: {}", y);  
}
```

Este exemplo cria uma função com dois parâmetros, ambos com o tipo `i32`. Então a função exibe os valores de ambos os parâmetros. Note que os parâmetros de função não precisam ser do mesmo tipo, isto apenas aconteceu neste exemplo.

Vamos tentar executar este código. Substitua o programa `src/main.rs`, atualmente em seu projeto `funcoes` com o exemplo anterior e execute-o usando `cargo run`:

```
$ cargo run  
Compiling funcoes v0.1.0 (file:///projects/funcoes)  
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.31 secs  
Running `target/debug/funcoes`  
O valor de x é: 5  
O valor de y é: 6
```

Porque nós chamamos a função com `5` sendo o valor de `x` e `6` é passado como o valor de `y`, as duas cadeias são impressas com esses valores.

Corpos de função

Corpos de função são constituídos por uma série de declarações que terminam, opcionalmente, em uma expressão. Até agora, foram apresentadas apenas funções sem uma expressão final, mas você viu uma expressão como parte de instruções. Porque Rust é uma linguagem baseada em expressão, essa é uma importante distinção a ser entendida. Outras linguagens não têm as mesmas distinções, então, vamos ver o que são declarações e expressões e como elas afetam o corpo das funções.

Declarações e Expressões

Na verdade, já usamos declarações e expressões. *Declarações* são instruções que executam alguma ação e não retornam um resultado. E *expressões* retornam um resultado. Vamos ver

alguns exemplos.

Criar uma variável e atribuir um valor a ela com a palavra-chave `let` é uma declaração. Na Listagem 3-1, `let y = 6;` é uma declaração:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let y = 6;
}
```

Listagem 3-1: A declaração da função `main` contendo uma declaração.

Definições de função também são definições; todo o exemplo é uma declaração em si.

Definições não retornam valores. Assim sendo, você não pode atribuir uma declaração `let` para outra variável, como o código a seguir tenta fazer; você receberá um erro:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let x = (let y = 6);
}
```

Quando você rodar esse programa, o erro será o seguinte:

```
$ cargo run
   Compiling funcoes v0.1.0 (file:///projects/funcoes)
error: expected expression, found statement (`let`)
--> src/main.rs:2:14
 2 |         let x = (let y = 6);
   |                   ^^^
   = note: variable declaration using `let` is a statement
```

A declaração `let y = 6` não retorna um valor, então não existe nada para o `x` se ligar. Isso é diferente do que acontece em outras linguagens, como C e Ruby, onde a atribuição retorna o valor atribuído. Nestas linguagens, você pode escrever `x = y = 6` e ter ambos, `x` e `y` contendo o valor `6`; esse não é o caso em Rust.

Expressões avaliam algo e compõem a maior parte do código que você escreverá em Rust. Considere uma simples operação matemática, como um `5 + 6`, que é uma expressão que avalia o valor `11`. Expressões podem fazer parte de declarações: na Listagem 3-1, o `6` na declaração `let y = 6;` é uma expressão que avalia o valor `6`. A chamada de função é uma expressão. Chamar uma macro é uma expressão. O bloco que vamos usar para criar um

novo escopo, `{}`, é uma expressão, por exemplo:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let x = 5;  
  
    let y = {  
        let x = 3;  
        x + 1  
    };  
  
    println!("O valor de y é: {}", y);  
}
```

A expressão:

```
{  
    let x = 3;  
    x + 1  
}
```

é um bloco que, nesse exemplo, avalia `4`. Esse valor fica vinculado ao `y` como parte da declaração `let`. Note o `x + 1` sem um ponto e vírgula no final, que é diferente da maioria das linhas vistas até agora. Expressões não terminam com ponto e vírgula. Se você adicionar um ponto e vírgula ao fim de uma expressão, você a transforma em uma declaração, que então não retornará um valor. Tenha isso em mente, enquanto explora os valores e expressões de retorno da função a seguir.

Funções com valor de retorno

Funções podem retornar valores para o código que os chama. Não nomeamos valores de retorno, mas declaramos o tipo deles depois de uma seta (`->`). Em Rust, o valor de retorno da função é sinônimo do valor da expressão final no bloco do corpo de uma função. Você pode retornar cedo de uma função usando a palavra-chave `return` e especificando um valor, mas a maioria das funções retorna a última expressão implicitamente. Veja um exemplo de uma função que retorna um valor:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn cinco() -> i32 {
    5
}

fn main() {
    let x = cinco();

    println!("O valor de x é: {}", x);
}
```

Não há chamadas de função, macros ou até mesmo declarações `let` na função `cinco`

- apenas o número `5` por si só. Essa é uma função perfeitamente válida em Rust. Observe que o tipo de retorno da função também é especificado como `-> i32`. Tente executar este código; a saída deve ficar assim:

```
$ cargo run
  Compiling funcoes v0.1.0 (file:///projects/funcoes)
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.30 secs
    Running `target/debug/funcoes`
O valor de x é: 5
```

O `5` em `cinco` é o valor de retorno da função, e é por isso que o tipo de retorno é `i32`. Vamos verificar isso com mais detalhes. Existem dois bits importantes: primeiro, a linha `let x = cinco ();` mostra que estamos usando o valor de retorno de uma função para inicializar uma variável. Porque a função `cinco` retorna um `5`, essa linha é a mesma que a seguinte:

```
let x = 5;
```

Em segundo lugar, a função `cinco` não tem parâmetros e define o tipo de valor de retorno, mas o corpo da função é um `5` solitário sem ponto e vírgula porque é uma expressão cujo valor queremos retornar.

Vamos ver outro exemplo:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let x = soma_um(5);

    println!("O valor de x é: {}", x);
}

fn soma_um(x: i32) -> i32 {
    x + 1
}
```

A execução deste código irá imprimir `O valor de x é: 6`. Mas se colocarmos um ponto e vírgula no final da linha que contém `x + 1`, alterando-o de expressão para uma declaração, receberemos um erro.

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let x = soma_um(5);

    println!("O valor de x é: {}", x);
}

fn soma_um(x: i32) -> i32 {
    x + 1;
}
```

Executar este código produz um erro, da seguinte maneira:

```
error[E0308]: mismatched types
--> src/main.rs:7:28
  |
7 |     fn soma_um(x: i32) -> i32 {
  |     ~~~~~-
8 |     |         x + 1;
  |     |         ^
  |     |         - help: consider removing this semicolon
9 |     |     }
  |     |_ ^ expected i32, found ()
  |
  = note: expected type `i32`
          found type `()`
```

A principal mensagem de erro, "tipos incompatíveis", revela o problema central com este código. A definição da função `soma_um` diz que retornará uma `i32`, mas as declarações não avaliam um valor expresso por `()`, a tupla vazia. Portanto, nada é retornado, o que contradiz a função definição e resulta em erro. Nesta saída, Rust fornece uma mensagem para possivelmente ajudar a corrigir este problema: sugere a remoção do ponto e vírgula, que iria corrigir o erro.

Comentários

Todos os programadores se esforçam para tornar seu código fácil de entender, mas às vezes explicação extra é garantida. Nestes casos, os programadores deixam notas ou *comentários*, em seus códigos fonte que o compilador irá ignorar, mas as pessoas que lerem o código-fonte podem achar útil.

Aqui está um comentário simples:

```
// Olá, mundo.
```

Em Rust, os comentários devem começar com duas barras e continuar até o final da linha. Para comentários que se estendem além de uma única linha, você precisará incluir `//` em cada linha, assim:

```
// Então, estamos fazendo algo complicado aqui, tempo suficiente para que  
// precisemos  
// várias linhas de comentários para fazer isso! Ufa! Espero que este comentário  
// explique o que está acontecendo.
```

Comentários também podem ser colocados no final das linhas contendo código:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let numero_da Sorte = 7; // Estou com sorte hoje.  
}
```

Mas você verá com mais frequência essas palavras nesse formato, com o comentário em uma linha separada acima do código que está anotando:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    // Estou com sorte hoje.  
    let numero_da Sorte = 7;  
}
```

O Rust também tem outro tipo de comentário, comentários de documentação, que discutiremos no Capítulo 14.

Controle de fluxo

Decidir se deve ou não executar algum código, dependendo se uma condição é verdadeira e decidir executar algum código repetidamente enquanto uma condição é verdadeira, são blocos de construção básicos na maioria das linguagens de programação. As construções mais comuns que permitem controlar o fluxo de execução do código Rust são as expressões `if` e laços de repetição.

Expressão `if`

Uma expressão `if` permite ramificar seu código dependendo das condições. Você fornecer uma condição e, em seguida, estado, "Se esta condição for cumprida, execute este bloco de código. Se a condição não for atendida, não execute este bloco de código. "

Crie um novo projeto chamado *branches* no seu diretório *projects* para explorar a expressão `if`. No arquivo `* src / main.rs *`, digite o seguinte:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let numero = 3;  
  
    if numero < 5 {  
        println!("condição era verdadeira");  
    } else {  
        println!("condição era falsa");  
    }  
}
```

Todas as expressões `if` começam com a palavra-chave `if`, que é seguida por uma condição. Neste caso, a condição verifica se a variável `number` tem um valor menor que 5. O bloco de código que queremos executar se o condição é verdadeira é colocada imediatamente após a condição dentro de chaves. Blocos de código associados às condições em expressões `if` são às vezes chamado de *divisões*, assim como as expressões de *combinação* que nós discutimos na seção "Comparando o Palpite ao Número Secreto" de Capítulo 2.

Opcionalmente, também podemos incluir uma expressão `else`, que escolhemos fazer aqui, para dar ao programa um bloco de código alternativo a ser executado, caso a condição seja avaliada como falsa. Se você não fornecer uma expressão `else` e a condição for falsa, o programa simplesmente ignorará o bloco `if` e passará para o próximo bit de código.

Tente executar este código; você deve ver a seguinte saída:

```
$ cargo run
  Compiling branches v0.1.0 (file:///projects/branches)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.31 secs
  Running `target/debug/branches`
condição era verdadeira
```

Vamos tentar alterar o valor de `numero` para um valor que torne a condição `false` para ver o que acontece:

```
let numero = 7;
```

Execute o programa novamente e observe a saída:

```
$ cargo run
  Compiling branches v0.1.0 (file:///projects/branches)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.31 secs
  Running `target/debug/branches`
condição era falsa
```

Também é importante notar que a condição neste código *deve* ser um `bool`. E se a condição não é um `bool`, nós vamos receber um erro. Por exemplo:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let numero = 3;

    if numero {
        println!("número era 3");
    }
}
```

A condição `if` é avaliada para um valor de `3` desta vez, e Rust lança um erro:

```
error[E0308]: mismatched types
--> src/main.rs:4:8
   |
 4 |     if numero {
   |         ^^^^^ expected bool, found integral variable
   |
   = note: expected type `bool`
           found type `{integer}`
```

O erro indica que Rust esperava um `bool`, mas obteve um inteiro. Ao contrário de linguagens como Ruby e JavaScript, o Rust não tentará automaticamente converter tipos

não-boleanos em um booleano. Você deve explicitar e sempre fornecer `if` com um booleano como sua condição. Se quisermos que o bloco de código `if` seja executado somente quando um número não é igual a `0`, por exemplo, podemos mudar o `if` para o seguinte:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let numero = 3;  
  
    if numero != 0 {  
        println!("número era algo diferente de zero");  
    }  
}
```

A execução deste código irá imprimir `número era algo diferente de zero`.

Gerenciando Múltiplas Condições com `else if`

Você pode ter várias condições combinando `if` e `else` em um `else if`. Por exemplo:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let numero = 6;  
  
    if numero % 4 == 0 {  
        println!("número é divisível por 4");  
    } else if numero % 3 == 0 {  
        println!("número é divisível por 3");  
    } else if numero % 2 == 0 {  
        println!("número é divisível por 2");  
    } else {  
        println!("número não é divisível por 4, 3 ou 2");  
    }  
}
```

Este programa tem quatro caminhos possíveis. Depois de executá-lo, você deve ver a seguinte saída:

```
$ cargo run  
Compiling branches v0.1.0 (file:///projects/branches)  
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.31 secs  
Running `target/debug/branches`  
número é divisível por 3
```

Quando este programa é executado, ele verifica cada expressão `if` por sua vez e executa o

primeiro corpo para o qual a condição é verdadeira. Note que mesmo que 6 seja divisível por 2, nós não vemos a saída `o número é divisível por 2`, nem vemos o texto `número não é divisível por 4, 3 ou 2` do bloco `else`. Isso ocorre porque o Rust só executa o bloco para a primeira condição verdadeira e, depois de encontrar um, não verifica o restante.

Usar muitas expressões `else if` pode confundir seu código, portanto, se você tiver mais de uma, convém refatorar seu código. O Capítulo 6 descreve uma poderosa construção de ramificação em Rust chamada `match` para esses casos.

Usando `if` em uma declaração `let`

Pelo fato de `if` ser uma expressão, podemos usá-la do lado direito de uma declaração `let`, como na Listagem 3-2:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let condicao = true;
    let numero = if condicao {
        5
    } else {
        6
    };

    println!("O valor do número é: {}", numero);
}
```

Listagem 3-2: Atribuindo o resultado de uma expressão `if` para uma variável

A variável `numero` será ligada a um valor baseado no resultado da expressão `if`. Execute este código para ver o que acontece:

```
$ cargo run
Compiling branches v0.1.0 (file:///projects/branches)
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.30 secs
Running `target/debug/branches`
O valor do número é: 5
```

Lembre-se de que os blocos de código são avaliados até a última expressão, e os números por si mesmos também são expressões. Neste caso, o valor de toda a expressão `if` depende de qual bloco de código é executado. Isso significa que os valores que têm o potencial de serem resultados de cada braço do `if` e que devem ser do mesmo tipo; na Listagem 3-2, os resultados do braço `if` e do `else` eram inteiros `i32`. Se os tipos forem

incompatíveis, como no exemplo a seguir, receberemos um erro:

Nome do arquivo: src/main.rs

```
fn main() {
    let condicao = true;

    let numero = if condicao {
        5
    } else {
        "seis"
    };

    println!("O valor do número é: {}", numero);
}
```

Quando tentamos executar esse código, recebemos um erro. Os braços `if` e `else` possuem valores de tipos que são incompatíveis, e Rust indica exatamente onde encontrar o problema no programa:

```
error[E0308]: if and else have incompatible types
--> src/main.rs:4:18
 4 |         let numero = if condicao {
 5 |             5
 6 |         } else {
 7 |             "seis"
 8 |         };
   |         ^ expected integral variable, found &str
   = note: expected type `{integer}`
          found type `&str`
```

A expressão no bloco `if` é avaliada como um inteiro, e a expressão no bloco `else` é avaliada como uma string. Isso não funcionará porque as variáveis precisam ter um único tipo. Rust precisa saber em tempo de compilação qual é o tipo da variável `numero`, definitivamente, para que possa verificar em tempo de compilação que seu tipo é válido em todos os lugares em que usamos `numero`. Rust não seria capaz de fazer isso se o tipo de `numero` fosse determinado apenas em tempo de execução; o compilador seria mais complexo e faria menos garantias sobre o código se tivesse que manter o controle de vários tipos hipotéticos para qualquer variável.

Repetição com laços de repetição

Geralmente, é útil executar um bloco de código mais de uma vez. Para essa tarefa, o Rust fornece vários *loops*. Um loop percorre o código dentro do corpo do loop até o final e, em seguida, inicia imediatamente no início. Para experimentar loops, vamos criar um novo projeto chamado *loops*.

O Rust possui três tipos de loops: `loop`, `while` e `for`. Vamos tentar cada um.

Código de Repetição com `loop`

A palavra-chave `loop` diz ao Rust para executar um bloco de código várias vezes para sempre ou até que você diga explicitamente para parar.

Como exemplo, altere o arquivo *src/main.rs* do diretório *loops* para algo como isso:

Nome do arquivo: *src/main.rs*

```
fn main() {  
    loop {  
        println!("novamente!");  
    }  
}
```

Quando executamos este programa, veremos ``novamente!` impresso repetidamente até que paremos o programa manualmente. A maioria dos terminais suporta um atalho de teclado, `ctrl-c`, para parar um programa que está preso em um loop contínuo. De uma chance:

```
$ cargo run  
Compiling loops v0.1.0 (file:///projects/loops)  
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.29 secs  
Running `target/debug/loops`  
novamente!  
novamente!  
novamente!  
novamente!  
^Cnovamente!
```

O símbolo `^C` representa onde você pressionou `ctrl-c`. Você pode ou não ver a palavra `novamente!` Impressa depois do `^C`, dependendo de onde o código estava no loop quando recebeu o sinal de parada.

Felizmente, o Rust oferece outra maneira mais confiável de sair de um loop. Você pode colocar a palavra-chave `break` dentro do loop para dizer ao programa quando parar de executar o loop. Lembre-se que fizemos isso no jogo de adivinhação no “Quitting After a Guess Correct” do Capítulo 2 para sair do programa quando o usuário ganhou o jogo,

adivinhandando o número correto.

Loops condicionais com `while`

Geralmente, é útil para um programa avaliar uma condição dentro de um loop. Enquanto a condição é verdadeira, o loop é executado. Quando a condição deixa de ser verdadeira, o programa chama o `break`, parando o loop. Esse tipo de loop pode ser implementado usando uma combinação de `loop`, `if`, `else` e `break`; você poderia tentar isso agora em um programa, se você quiser.

No entanto, esse padrão é tão comum que o Rust possui uma construção de linguagem integrada para isso, chamado de loop `while`. A Listagem 3-3 usa `while`: o programa faz o loop três vezes, a contagem decrescente de cada vez e, depois do ciclo, imprime outra mensagem e sai.

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let mut numero = 3;  
  
    while numero != 0 {  
        println!("{}", numero);  
  
        numero = numero - 1;  
    }  
  
    println!("LIFTOFF!!!");  
}
```

Listagem 3-3: Usando um loop `while` para executar o código enquanto condição for verdadeira

Essa construção elimina muito o aninhamento que seria necessário se você usasse `loop`, `if`, `else` e `break`, e é mais claro. Enquanto a condição for verdadeira, o código é executado; caso contrário, sai do loop.

Looping através de uma coleção com `for`

Você poderia usar a construção `while` para fazer um loop sobre os elementos de uma coleção, como uma matriz. Por exemplo, vamos ver a Listagem 3-4:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let a = [10, 20, 30, 40, 50];  
    let mut indice = 0;  
  
    while indice < 5 {  
        println!("0 valor é: {}", a[indice]);  
  
        indice = indice + 1;  
    }  
}
```

Listagem 3-4: percorrendo cada elemento de uma coleção usando um loop `while`

Aqui, o código conta através dos elementos na matriz. Começa no índice `0` e, em seguida, faz um loop até atingir o índice final na matriz (isto é, quando `indice < 5` não é mais verdadeiro). Executando este código irá imprimir todos os elementos na matriz:

```
$ cargo run  
Compiling loops v0.1.0 (file:///projects/loops)  
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.32 secs  
Running `target/debug/loops`  
0 valor é: 10  
0 valor é: 20  
0 valor é: 30  
0 valor é: 40  
0 valor é: 50
```

Todos os cinco valores de matriz aparecem no terminal, conforme esperado. Embora `indice` vai chegar a um valor de `5` em algum momento, o loop para de executar antes de tentar para buscar um sexto valor da matriz.

Mas essa abordagem é propensa a erros; poderíamos fazer o programa entrar em pânico se o comprimento do índice estivesse incorreto. Também é lento, porque o compilador adiciona código de tempo de execução para executar a verificação condicional em cada elemento em cada iteração através do loop.

Como uma alternativa mais concisa, você pode usar um laço `for` e executar algum código para cada item de uma coleção. Um laço `for` parece com este código na Listagem 3-5:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let a = [10, 20, 30, 40, 50];  
  
    for elemento in a.iter() {  
        println!("O valor é: {}", elemento);  
    }  
}
```

Listagem 3-5: percorrendo cada elemento de uma coleção usando um laço `for`

Quando executamos esse código, veremos a mesma saída da listagem 3-4. Mais importante, agora aumentamos a segurança do código e eliminamos a chance de erros que podem resultar de ir além do final da matriz ou não indo longe o suficiente e faltando alguns itens.

Por exemplo, no código da Listagem 3-4, se você removeu um item do array `a`, mas esqueceu de atualizar a condição para `while indice < 4`, o código causaria um pânico. Usando o loop `for`, você não precisa se lembrar de alterar qualquer outro código se você alterou o número de valores na matriz.

A segurança e a concisão dos loops `for` fazem deles o loop mais comumente usado em Rust. Mesmo em situações em que você deseja executar algum código certo número de vezes, como no exemplo da contagem regressiva que usou um loop `while` da Listagem 3-3, a maioria dos Rustaceans usaria um loop `for`. A maneira de fazer isso seria usar um `Range`, que é um tipo fornecido pela biblioteca padrão que gera todos os números em sequência a partir de um número e terminando antes de outro número.

Veja como seria a contagem regressiva usando um loop `for` e outro método, que nós ainda não falamos, `rev`, para reverter o intervalo:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    for numero in (1..4).rev() {  
        println!("{}", numero);  
    }  
    println!("LIFTOFF!!!");  
}
```

Este código é um pouco melhor, não é?

Resumo

Você conseguiu! Esse foi um capítulo considerável: você aprendeu sobre variáveis, tipos de

dados escalares e compostos, funções, comentários, expressões `if` e loops! E se você quer praticar com os conceitos discutidos neste capítulo, tente construir programas para fazer o seguinte:

- Converta temperaturas entre Fahrenheit e Celsius.
- Gerar o *n*-ésimo número de Fibonacci.
- Imprima a letra da canção de natal "Os Doze Dias de Natal" aproveitando a repetição na música.

Quando você estiver pronto para seguir em frente, falaremos sobre um conceito em Rust que *não* comumente existente em outras linguagens de programação: propriedade.

Entendendo *Ownership*

Ownership (posse) é a característica mais única do Rust, que o permite ter garantias de segurança de memória sem precisar de um *garbage collector*. Logo, é importante entender como funciona *ownership* no Rust. Neste capítulo, falaremos sobre *ownership* e também sobre várias características relacionadas: *borrowing*, *slices* e como o Rust dispõe seus dados na memória.

O Que É *Ownership*?

A característica central do Rust é *ownership*. Embora seja bem direta de explicar, ela tem implicações profundas em todo o resto da linguagem.

Todos os programas têm que decidir de que forma vão usar a memória do computador durante a execução. Algumas linguagens possuem *garbage collection* (coleta de lixo), que constantemente busca segmentos de memória que já não são mais utilizados enquanto o programa executa; em outras linguagens, o programador deve alocar e liberar memória de forma explícita. Rust usa uma terceira abordagem: a memória é gerenciada através de um sistema de posse, que tem um conjunto de regras verificadas em tempo de compilação. Nenhuma característica relacionada ao *ownership* implica qualquer custo em tempo de execução.

Como *ownership* é um conceito novo para muitos programadores, leva um pouco de tempo para se acostumar. A boa notícia é que quanto mais experiente você se torna em Rust e nas regras do sistema de posse, mais você será capaz de escrever, naturalmente, código seguro e eficiente. Fique aí!

Quando você entender *ownership*, você terá uma fundação sólida para entender as

características que fazem o Rust ser único. Neste capítulo, você vai aprender ownership trabalhando em alguns exemplos com foco em uma estrutura de dados muito comum: *strings*.

A Pilha e a *Heap*

Em muitas linguagens de programação, não temos que pensar muito sobre a pilha e sobre a *heap*. Mas em uma linguagem de programação de sistemas, como Rust, o fato de um valor estar na pilha ou na heap tem impacto na forma como a linguagem se comporta e no porquê de termos que tomar certas decisões. Vamos descrever partes do ownership em relação à pilha e à heap mais para a frente neste capítulo, então aqui vai uma explicação preparatória.

Tanto a pilha como a heap são partes da memória que estão disponíveis ao seu código para uso em tempo de execução, mas elas são estruturadas de formas diferentes. A pilha armazena valores na ordem em que eles chegam, e os remove na ordem inversa. Isto é chamado de *last in, first out* (último a chegar, primeiro a sair). Imagine uma pilha de pratos: quando você coloca mais pratos, você os põe em cima da pilha, e quando você precisa de um prato, você pega o que está no topo. Adicionar ou remover pratos do meio ou do fundo não funciona tão bem! Dizemos fazer um *push* na pilha quando nos refererimos a inserir dados, e fazer um *pop* da pilha quando nos referimos a remover dados.

A pilha é rápida por conta da forma como ela acessa os dados: ela nunca tem que procurar um lugar para colocar novos dados, ou um lugar de onde obter dados, este lugar é sempre o topo da pilha. Outra propriedade que faz a pilha ser rápida é que todos os dados contidos nela devem ocupar um tamanho fixo e conhecido.

Para dados com um tamanho desconhecido em tempo de compilação, ou com um tamanho que pode mudar, podemos usar a heap em vez da pilha. A heap é menos organizada: quando colocamos dados na heap, nós pedimos um certo espaço de memória. O sistema operacional encontra um espaço vazio em algum lugar na heap que seja grande o suficiente, marca este espaço como em uso, e nos retorna um *ponteiro*, que é o endereço deste local. Este processo é chamado de *alocar na heap*, e às vezes se abrevia esta frase como apenas "alocação". Colocar valores na pilha não é considerado uma alocação. Como o ponteiro tem um tamanho fixo e conhecido, podemos armazená-lo na pilha, mas quando queremos os dados, de fato, temos que seguir o ponteiro.

Imagine que você está sentado em um restaurante. Quando você entra, você diz o

número de pessoas que estão com você, o atendente encontra uma mesa vazia que acomode todos e os leva para lá. Se alguém do seu grupo chegar mais tarde, poderá perguntar onde vocês estão para encontrá-los.

Acessar dados na heap é mais lento do que acessar dados na pilha, porque você precisa seguir um ponteiro para chegar lá. Processadores de hoje em dia são mais rápidos se não precisarem pular tanto de um lugar para outro na memória. Continuando com a analogia, considere um garçom no restaurante anotando os pedidos de várias mesas. É mais eficiente anotar todos os pedidos de uma única mesa antes de passar para a mesa seguinte. Anotar um pedido da mesa A, depois um da mesa B, depois outro da mesa A, e outro da mesa B novamente seria um processo bem mais lento. Da mesma forma, um processador pode cumprir melhor sua tarefa se trabalhar em dados que estão próximos uns dos outros (assim como estão na pilha) em vez de dados afastados entre si (como podem estar na heap). Alocar um espaço grande na heap também pode levar tempo.

Quando nosso código chama uma função, os valores passados para ela (incluindo possíveis ponteiros para dados na heap) e as variáveis locais da função são colocados na pilha. Quando a função termina, esses valores são removidos dela.

Rastrear quais partes do código estão usando quais dados na heap, minimizar a quantidade de dados duplicados na heap e limpar segmentos inutilizados da heap para que não fiquemos sem espaço são todos problemas tratados pelo *ownership*. Uma vez que você entende *ownership*, você não vai mais precisar pensar tanto sobre a pilha e a heap, mas saber que *ownership* existe para gerenciar os dados na heap pode ajudar a explicar como e por que ele funciona.

Regras de Ownership

Primeiro, vamos dar uma olhada nas regras de *ownership*. Mantenha em mente essas regras quando trabalharmos com os exemplos em seguida:

-
1. Cada valor em Rust possui uma variável que é dita seu *owner* (sua dona).
 2. Pode apenas haver um owner por vez.
 3. Quando o owner sai fora de escopo, o valor será destruído.
-

Escopo de Variáveis

Já analisamos um exemplo de programa em Rust no Capítulo 2. Agora que já passamos da sintaxe básica, não vamos incluir o código `fn main() {` nos próximos exemplos, então se você estiver acompanhando, terá que colocá-los manualmente dentro de uma função `main`. Como resultado, nossos exemplos serão um pouco mais concisos, mantendo o foco nos detalhes que realmente interessam.

Como um primeiro exemplo de ownership, vamos olhar para o *escopo* de algumas variáveis. Um escopo é a área dentro de um programa para a qual um item é válido. Digamos que nós temos uma variável como esta:

```
let s = "olá";
```

A variável `s` se refere a uma string literal cujo valor é fixo no código. A variável é válida do ponto em que é declarada até o fim do atual *escopo*. A Listagem 4-1 tem comentários indicando onde a variável `s` é válida:

```
{                               // s não é válida aqui, ainda não está declarada
    let s = "texto";           // s é válida deste ponto em diante

    // faz alguma coisa com s
}
```

Listagem 4-1: Uma variável e o escopo em que ela é válida.

Em outras palavras, existem dois pontos no tempo que são importantes aqui:

1. Quando `s` *entra no escopo*, ela é válida.
2. Permanece dessa maneira até que ela *saia de escopo*.

Neste ponto, a relação entre escopos e quando variáveis são válidas é similar a outras linguagens de programação. Agora vamos construir sobre este entendimento, apresentando o tipo `String`.

O Tipo `String`

Para ilustrar as regras de ownership, precisamos de um tipo de dados que seja mais complexo do que aqueles abordados no Capítulo 3. Os tipos abordados na seção "Tipos de Dados" são todos armazenados na pilha, e retirados dela quando seu escopo termina, mas queremos ver dados que são armazenados na heap e explorar como o Rust faz para saber quando limpar esses dados.

Vamos usar `String` como exemplo aqui, e concentrar nas partes de `String` que estão relacionadas ao `ownership`. Esses aspectos também se aplicam aos outros tipos complexos de dados fornecidos pela biblioteca padrão e os que você mesmo cria. Vamos discutir `String` mais a fundo no Capítulo 8.

Já vimos strings literais, em que um valor de string é fixado pelo código do nosso programa. Strings literais são convenientes, mas nem sempre são adequadas para situações em que queremos usar texto. Um motivo é que elas são imutáveis. Outro é que nem todos os valores de string são conhecidos enquanto escrevemos nosso código: por exemplo, o que fazer se queremos obter uma entrada do usuário e armazená-la? Para essas situações, Rust tem um segundo tipo de strings, `String`. Este tipo é alocado na heap, e como tal, é capaz de armazenar uma quantidade de texto que é desconhecida em tempo de compilação. Você pode criar uma `String` de uma string literal usando a função `from`, da seguinte forma:

```
let s = String::from("texto");
```

O `::` é um operador que nos permite indicar que o *namespace* desta função `from`, em particular, é o tipo `String`, de forma que não precisamos usar um nome específico como `string_from`. Vamos discutir esta sintaxe na seção "Sintaxe do Método" do Capítulo 5, e quando falarmos sobre *namespaces* com módulos no Capítulo 7.

Este tipo de string *pode* ser alterada:

```
let mut s = String::from("olá");  
  
s.push_str(", mundo!"); // push_str() adiciona um literal à String  
  
println!("{}", s); // Isso vai exibir `olá, mundo!`
```

Mas então, qual é a diferença aqui? Por que `String` pode ser alterada enquanto literais não podem? A diferença está em como esses dois tipos lidam com memória.

Memória e Alocação

No caso de uma string literal, sabemos o seu conteúdo em tempo de compilação, então o texto é injetado diretamente para dentro do executável final, o que faz strings literais serem rápidas e eficientes. Mas essas propriedades provêm apenas da sua imutabilidade. Infelizmente, não podemos colocar um segmento de memória dentro do binário para cada texto cujo tamanho é desconhecido em tempo de compilação, e cujo tamanho pode mudar ao longo da execução do programa.

Com o tipo `String`, para poder acomodar um trecho mutável e expansível de texto, precisamos alocar uma quantidade de memória na heap, que é desconhecida em tempo de compilação, para manter o seu conteúdo. Isto significa que:

1. A memória deve ser solicitada ao sistema operacional em tempo de execução.
2. Precisamos de uma forma de retornar esta memória ao sistema operacional quando tivermos finalizado nossa `String`.

A primeira parte é feita por nós: quando chamamos `String::from`, sua implementação solicita a memória de que precisa. Isso é meio que universal em linguagens de programação.

No entanto, a segunda parte é diferente. Em linguagens com um *garbage collector* (GC), o GC rastreia e limpa a memória que não está mais sendo usada, e nós, como programadores, não precisamos pensar sobre isso. Sem um GC, é responsabilidade do programador identificar quando a memória não está mais sendo usada e chamar, explicitamente, um código que a retorne, assim como fizemos para solicitá-la. Fazer isso corretamente tem sido, historicamente, um problema difícil de programação. Se esquecermos, vamos desperdiçar memória. Se fizermos cedo demais, teremos uma variável inválida. Se fizermos duas vezes, também será um bug. Precisamos casar exatamente um `allocate` (alocar) com exatamente um `free` (liberar).

Rust segue um caminho diferente: a memória é automaticamente retornada assim que a variável que a possui sai de escopo. Aqui está uma versão do nosso exemplo de escopo da Listagem 4-1 usando uma `String` em vez de uma string literal:

```
{
    let s = String::from("texto"); // s é válida deste ponto em diante

    // faz alguma coisa com s
}                                // agora este escopo terminou, e s não é
                                // mais válida
```

Existe um ponto natural em que podemos retornar ao sistema operacional a memória da qual precisa nossa `String`: quando `s` sai de escopo. Quando uma variável sai de escopo, o Rust chama para nós uma função especial. Essa função é chamada `drop`, e é aí que o autor de `String` pode colocar o código que retorna a memória. Rust chama `drop` automaticamente ao fechar chaves `{ }`.

Nota: Em C++, esta forma de desalocar recursos no fim do tempo de vida útil de um item às vezes é chamado de *Resource Acquisition Is Initialization* (RAII, do inglês,

Aquisição de Recurso É Inicialização). A função `drop` em Rust vai lhe ser bastante familiar se você já tiver usado padrões RAI.

Este padrão tem um profundo impacto na forma de escrever código em Rust. Pode parecer simples agora, mas o comportamento do código pode ser inesperado em situações mais complicadas, quando queremos que múltiplas variáveis usem os dados que alocamos na heap. Vamos explorar algumas dessas situações agora.

Formas de Interação Entre Variáveis e Dados: *Move*

Múltiplas variáveis podem interagir com os mesmos dados de diferentes formas em Rust. Vamos ver um exemplo usando um número inteiro na Listagem 4-2:

```
let x = 5;  
let y = x;
```

Listagem 4-2: Atribuindo o valor inteiro da variável `x` para `y`.

Provavelmente podemos adivinhar o que isto faz com base nas nossas experiências com outras linguagens: "Associe o valor `5` a `x`; depois faça uma cópia do valor em `x` e a associe a `y`." Agora temos duas variáveis, `x` e `y`, e ambas são iguais a `5`. É isto mesmo que acontece, porque números inteiros são valores simples que possuem um tamanho fixo e conhecido, e esses dois valores `5` são colocados na pilha.

Agora vamos ver a versão usando `String`:

```
let s1 = String::from("texto");  
let s2 = s1;
```

Isso parece bem similar ao código anterior, então poderíamos assumir que funcionaria da mesma forma, isto é, a segunda linha faria uma cópia do valor em `s1` e a associaria a `s2`. Mas não é exatamente isso que acontece.

Para explicar isso mais detalhadamente, vamos ver como a `String` funciona por baixo dos panos na Figura 4-1. Uma `String` é feita de três partes, mostradas à esquerda: um ponteiro para a memória que guarda o conteúdo da string, um tamanho, e uma capacidade. Este grupo de dados é armazenado na pilha. No lado direito está a memória na heap que guarda o conteúdo.

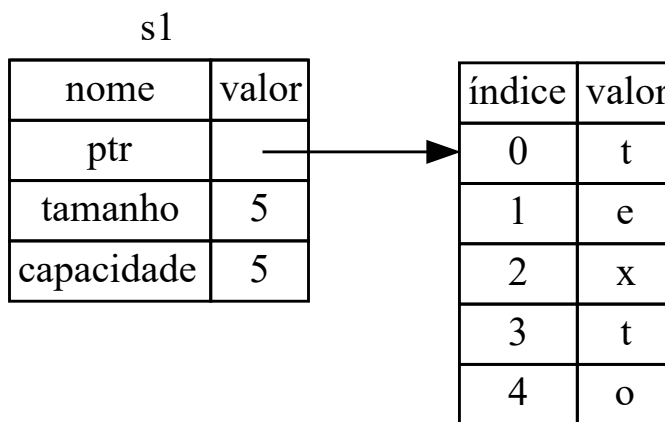


Figura 4-1: Representação na memória de uma `String` contendo o valor `"texto"` associado a `s1`.

O tamanho representa quanta memória, em bytes, o conteúdo da `String` está usando atualmente. A capacidade é a quantidade total de memória, em bytes, que a `String` recebeu do sistema operacional. A diferença entre tamanho e capacidade é importante, mas não neste contexto, então não há problema em ignorar a capacidade por enquanto.

Quando atribuímos `s1` a `s2`, os dados da `String` são copiados, o que significa que estamos copiando o ponteiro, o tamanho e a capacidade que estão na pilha. Não estamos copiando os dados que estão na heap, aos quais o ponteiro se refere. Em outras palavras, a representação dos dados na memória ocorre como na Figura 4-2.

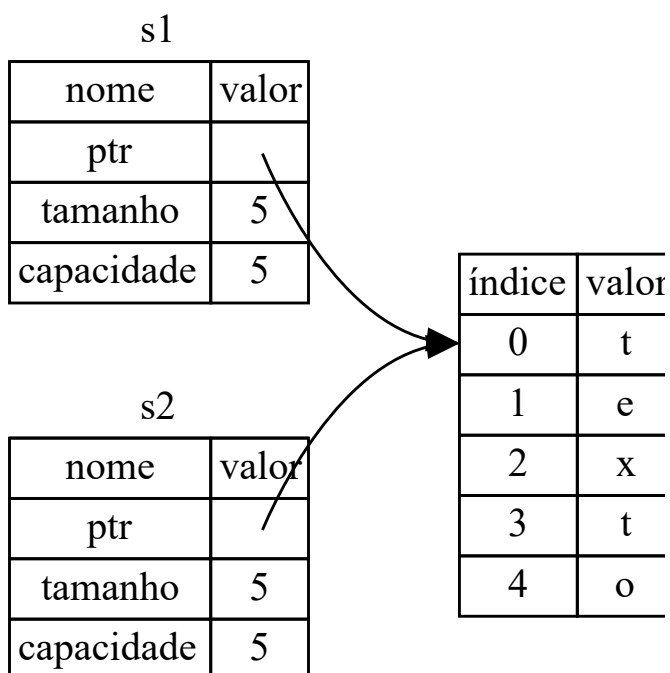


Figura 4-2: Representação na memória da variável `s2`, que tem uma cópia do ponteiro, tamanho e capacidade de `s1`.

A representação *não* ocorre como na Figura 4-3, que é como ficaria a memória se o Rust também copiasse os dados da heap. Se o Rust fizesse isso, a operação `s2 = s1` seria potencialmente bastante custosa em termos de desempenho em tempo de execução caso os dados na heap fossem grandes.

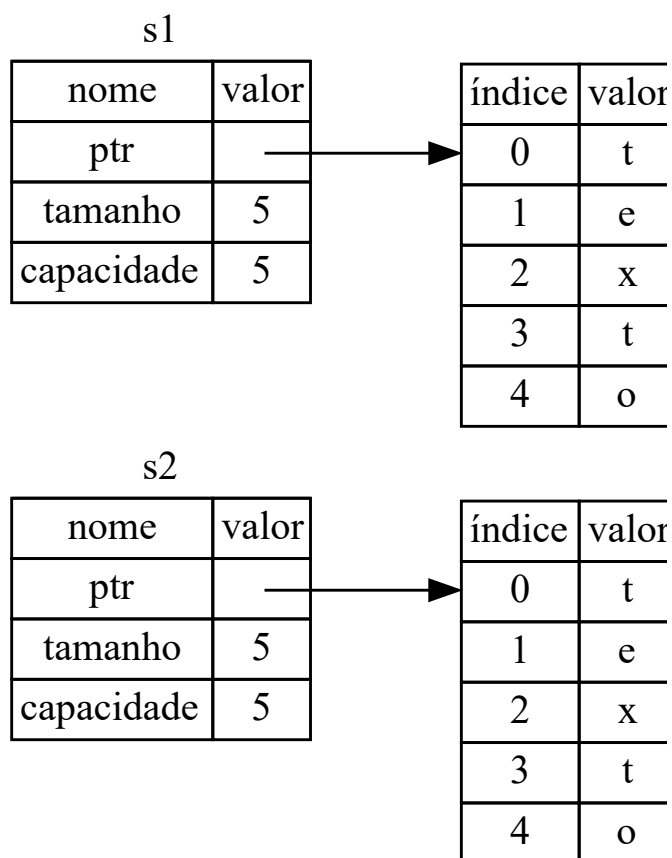


Figura 4-3: Outra possibilidade do que `s2 = s1` poderia fazer se o Rust também copiasse os dados da heap.

Anteriormente, dissemos que, quando uma variável sai de escopo, o Rust automaticamente chama a função `drop` e limpa a memória da heap para esta variável. Mas a Figura 4-2 mostra que os dois ponteiros estão apontando para o mesmo lugar. Isso é um problema: quando `s2` e `s1` saem de escopo, os dois vão tentar liberar a mesma memória. Isso é conhecido como erro de *double free* (liberação dupla), e é um dos bugs de segurança de memória que mencionamos anteriormente. Liberar memória duas vezes pode levar à corrupção da memória, o que pode, por sua vez, trazer potenciais vulnerabilidades de segurança.

Para garantir a segurança de memória, há um outro detalhe sobre o que acontece nesta

situação em Rust. Em vez de tentar copiar a memória alocada, o Rust considera que `s1` deixa de ser válida, e portanto, o Rust não precisa liberar nenhuma memória quando `s1` sai de escopo. Veja só o que acontece quando você tenta usar `s1` depois que `s2` é criada, não vai funcionar:

```
let s1 = String::from("texto");
let s2 = s1;

println!("{}", s1);
```

Você vai ter um erro como este, porque o Rust lhe impede de usar a referência que foi invalidada:

```
error[E0382]: use of moved value: `s1`
--> src/main.rs:5:20
   |
3  |     let s2 = s1;
   |           -- value moved here
4  |
5  |     println!("{}", s1);
   |                   ^^ value used here after move
   |
   = note: move occurs because `s1` has type `std::string::String`, which does
   not implement the `Copy` trait
```

Se você já ouviu os termos "cópia rasa" e "cópia profunda" (*shallow copy* e *deep copy*) enquanto trabalhava com outras linguagens, o conceito de copiar o ponteiro, tamanho e capacidade sem copiar os dados provavelmente parece uma cópia rasa. Mas como o Rust também invalida a primeira variável, em vez de chamar isto de cópia rasa, isto é conhecido como um *move*. Aqui poderíamos dizer que `s1` foi *movida* para `s2`. Então, o que realmente acontece é mostrado na Figura 4-4.

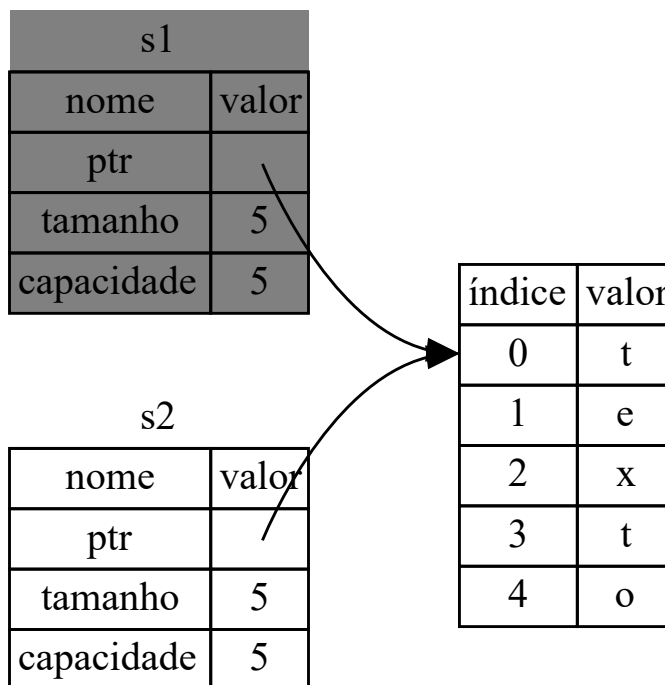


Figura 4-4: Representação na memória depois de `s1` ter sido invalidada.

Isso resolve o nosso problema! Tendo apenas `s2` válida, quando ela sair de escopo, somente ela vai liberar a memória, e pronto.

Ademais, isto implica uma decisão de projeto: Rust nunca vai criar *deep copies* dos seus dados. Logo, para qualquer cópia *automática* que aconteça, pode-se assumir que ela não será custosa em termos de desempenho em tempo de execução.

Formas de Interação Entre Variáveis e Dados: Clone

Se nós *queremos* fazer uma cópia profunda dos dados da `String` que estão na heap, e não apenas os dados que estão na pilha, podemos usar um método comum chamado `clone`. Vamos discutir sintaxe de métodos no Capítulo 5, mas como os métodos constituem uma característica comum em várias linguagens de programação, você provavelmente já os viu antes.

Aqui está um exemplo de uso do método `clone`:

```
let s1 = String::from("texto");
let s2 = s1.clone();

println!("s1 = {}, s2 = {}", s1, s2);
```

Isto funciona bem, e é assim que você pode, explicitamente, produzir o comportamento mostrado na Figura 4-3, onde os dados da heap *são* copiados.

Quando você ver uma chamada para `clone`, você sabe que algum código arbitrário está sendo executado, e que este código talvez seja custoso. É um indicador visual de que algo diferente está acontecendo.

Dados Somente da Pilha: Copy

Há um outro detalhezinho de que ainda não falamos. Este código usando números inteiros, parte do qual foi mostrado anteriormente na Listagem 4-2, funciona e é válido:

```
let x = 5;
let y = x;

println!("x = {}, y = {}", x, y);
```

Mas este código parece contradizer o que acabamos de aprender: não temos uma chamada ao método `clone`, mas `x` ainda é válido e não foi movido para `y`.

O motivo é que tipos como números inteiros têm um tamanho conhecido em tempo de compilação e são armazenados inteiramente na pilha, e por isso, cópias desses valores são rápidas de se fazer. Isso significa que não há razão para impedir `x` de ser válido após criarmos a variável `y`. Em outras palavras, não há diferença entre cópia rasa e profunda aqui, então chamar o método `clone` não faria nada diferente de uma cópia rasa, por isso podemos deixá-lo de lado.

O Rust tem uma anotação especial chamada de *trait* `Copy`, que podemos colocar em tipos como números inteiros, que são armazenados na pilha (falaremos mais sobre traits no Capítulo 10). Se um tipo possui o *trait* `Copy`, uma variável anterior vai continuar sendo utilizável depois de uma atribuição. O Rust não vai nos deixar anotar um tipo com o *trait* `Copy` se este tipo, ou qualquer uma de suas partes, tiver implementado o *trait* `Drop`. Se o tipo precisa que algo especial aconteça quando o valor sair de escopo e há uma anotação `Copy` neste tipo, vamos ter um erro de compilação. Para aprender sobre como inserir a anotação `Copy` ao seu tipo, veja o Apêndice C em Traits Deriváveis.

Então quais tipos são `Copy`? Você pode verificar a documentação de um determinado tipo para se certificar, mas como regra geral, qualquer grupo de valores simples escalares podem ser `Copy`, e nada que precise de alocação ou que seja uma forma de recurso é `Copy`. Aqui estão alguns tipos que são `Copy`:

- Todos os tipos inteiros, como `u32`.

- O tipo booleano, `bool`, com valores `true` e `false`.
- O tipo caractere, `char`.
- Todos os tipos de ponto flutuante, como `f64`.
- Tuplas, mas apenas aquelas que contém tipos que também são `Copy`. `(i32, i32)` é `Copy`, mas `(i32, String)` não.

Ownership e Funções

A semântica para passar um valor a uma função é similar à de atribuir um valor a uma variável. Passar uma variável a uma função irá mover ou copiar, assim como acontece em uma atribuição. A Listagem 4-3 tem um exemplo com algumas anotações mostrando onde as variáveis entram e saem de escopo:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let s = String::from("texto"); // s entra em escopo.

    toma_posse(s);                  // move o valor de s para dentro da
    função...                       // ... e ele não é mais válido aqui.

    let x = 5;                      // x entra em escopo.

    faz_uma_copia(x);              // x seria movido para dentro da função,
                                   // mas i32 é Copy, então está tudo bem em
                                   // usar x daqui para a frente.

} // Aqui, x sai de escopo, e depois s. Mas como o valor de s foi movido, nada
  // de especial acontece.

fn toma_posse(uma_string: String) { // uma_string entra em escopo.
    println!("{}", uma_string);
} // Aqui, uma_string sai de escopo, e o método `drop` é chamado. A memória que
  // guarda seus dados é liberada.

fn faz_uma_copia(um_inteiro: i32) { // um_inteiro entra em escopo.
    println!("{}", um_inteiro);
} // Aqui, um_inteiro sai de escopo. Nada de especial acontece.
```

Listagem 4-3: Funções com anotações de ownership e escopo

Se tentássemos usar `s` após a chamada para `toma_posse`, o Rust iria lançar um erro de compilação. Essas verificações estáticas nos protegem de certo enganos. Tente adicionar um código à função `main` que usa `s` e `x` para ver onde você pode usá-los e onde as regras de ownership lhe impedem de fazê-lo.

Retorno de Valores e Escopo

Retornar valores também pode transferir a posse de um valor. Aqui está um exemplo com anotações similares àsquelas da Listagem 4-3:

Arquivo: src/main.rs

```
fn main() {
    let s1 = entrega_valor();           // entrega_valor move o valor retornado
                                       // para s1.

    let s2 = String::from("texto");    // s2 entra em escopo.

    let s3 = pega_e_entrega_valor(s2); // s2 é movido para dentro da função
                                       // pega_e_entrega_valor, que também
                                       // move o valor retornado para s3.
} // Aqui, s3 sai de escopo e é destruída. s2 sai de escopo, mas já foi movida,
  // então nada demais acontece. s1 sai de escopo e é destruída.

fn entrega_valor() -> String {        // entrega_valor move o valor
                                       // retornado para dentro da função
                                       // que a chamou.

    let uma_string = String::from("olá"); // uma_string entra em escopo.

    uma_string                          // uma_string é retornada e movida
                                       // para a função que chamou
                                       // entrega_valor.
}

// pega_e_entrega_valor vai pegar uma String e retorná-la.
fn pega_e_entrega_valor(uma_string: String) -> String { // uma_string entra em
                                                         // escopo.

    uma_string // uma_string é retornada e movida para a função que chamou
               // pega_e_entrega_valor.
}
```

A posse de uma variável segue o mesmo padrão toda vez: atribuir um valor a outra variável irá movê-lo. Quando uma variável que inclui dados na heap sai de escopo, o valor será destruído pelo método `drop`, a não ser que os dados tenham sido movidos para outra variável.

Obter e retornar a posse de um valor em cada função é um pouco tedioso. O que fazer se queremos deixar uma função usar um valor sem tomar posse dele? É meio irritante saber que qualquer coisa que passemos a uma função também precisa ser passado de volta se quisermos usá-lo novamente, além de algum possível resultado proveniente do corpo da função que também queremos retornar.

É possível retornar múltiplos valores usando uma tupla, da seguinte forma:

Arquivo: src/main.rs

```
fn main() {
    let s1 = String::from("texto");

    let (s2, tamanho) = calcula_tamanho(s1);

    println!("O tamanho de '{}' é {}.", s2, tamanho);
}

fn calcula_tamanho(s: String) -> (String, usize) {
    let tamanho = s.len(); // len() retorna o tamanho de uma String.

    (s, tamanho)
}
```

Mas isto é muita cerimônia e trabalho para um conceito que deveria ser comum. Para nossa sorte, Rust tem uma ferramenta para este conceito, e ela é chamada de *referências*.

Referências e *Borrowing*

O problema de usar tuplas, que vimos no fim da seção anterior, é que precisamos retornar a `String`, de forma que ainda possamos usá-la após a chamada à função `calcula_tamanho`, para dentro da qual a `String` foi movida.

Aqui está uma forma de como você poderia definir e usar uma função `calcula_tamanho` que recebe uma *referência* para um objeto como parâmetro, em vez de pegar este valor para si:

Arquivo: src/main.rs

```
fn main() {
    let s1 = String::from("texto");

    let tamanho = calcula_tamanho(&s1);

    println!("O tamanho de '{}' é {}.", s1, tamanho);
}

fn calcula_tamanho(s: &String) -> usize {
    s.len()
}
```

Primeiro, repare que todo aquele código usando uma tupla na declaração da variável e no retorno da função já se foi. Segundo, note que passamos `&s1` para `calcula_tamanho`, e na sua definição, temos `&String` em vez de apenas `String`.

Esses `&` são *referências*, e eles permitem que você se refira a algum valor sem tomar posse dele. A Figura 4-5 mostra um diagrama.

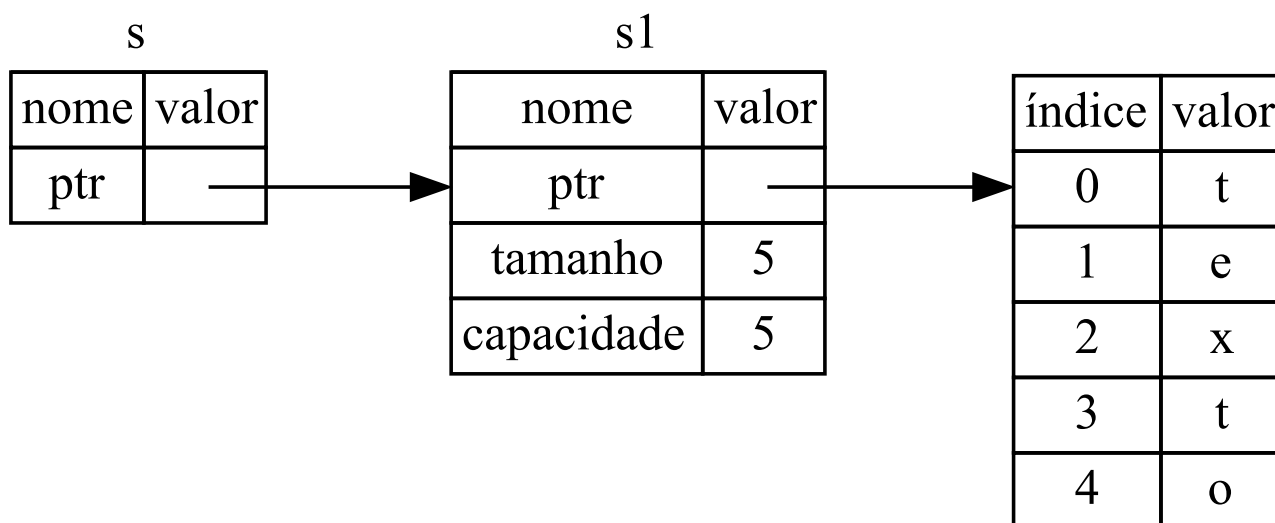


Figura 4-5: `&String s` apontando para `String s1`

Nota: O oposto de referenciar usando `&` é *derreferenciar*, feito por meio do operador derreferenciador, `*`. Veremos alguns usos do operador derreferenciador no Capítulo 8 e vamos discutir detalhes da derreferenciação no Capítulo 15.

Vamos olhar mais de perto esta chamada de função:

```
let s1 = String::from("texto");

let tamanho = calcula_tamanho(&s1);
```

A sintaxe `&s1` nos permite criar uma referência que *se refere* ao valor `s1`, mas não o possui. Como ela não o possui, o valor a que ela aponta não será destruído quando a referência sair de escopo.

Da mesma forma, a assinatura da função usa `&` para indicar que o tipo do parâmetro `s` é uma referência. Vamos adicionar algumas anotações para explicar:

```
fn calcula_tamanho(s: &String) -> usize { // s é uma referência para uma String
    s.len()
} // Aqui, s sai de escopo. Mas como ela não possui o valor a que se refere,
// nada acontece.
```

O escopo no qual a variável `s` é válida é o mesmo escopo de qualquer parâmetro de função, mas não destruímos o valor apontado pela referência quando ela sai de escopo, pois ela não tem posse dele. Funções que têm referências como parâmetros, em vez dos próprios valores, não precisam retornar os valores para devolver a posse deles, já que nunca tiveram esta posse.

Colocar referências como parâmetros de funções é chamado de *borrowing* (do inglês, empréstimo). Assim como na vida real, se uma pessoa possui alguma coisa, você pode pegar emprestado dela. Quando você termina de usar, você deve devolver.

E o que acontece se tentarmos modificar alguma coisa que pegamos emprestado? Tente rodar o código da Listagem 4-4. Alerta de spoiler: não funciona!

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let s = String::from("texto");

    modifica(&s);
}

fn modifica(uma_string: &String) {
    uma_string.push_str(" longo");
}
```

Listagem 4-4: Tentativa de modificar um valor emprestado

Aqui está o erro:

```
error[E0596]: cannot borrow immutable borrowed content `*uma_string` as mutable
--> main.rs:8:5
  |
7 | fn modifica(uma_string: &String) {
  |                        ----- use `&mut String` here to make mutable
8 |     uma_string.push_str(" longo");
  |     ^^^^^^^^^^^^^ cannot borrow as mutable
```

Assim como as variáveis são imutáveis por padrão, referências também são. Não temos permissão para modificar algo para o qual temos uma referência.

Referências Mutáveis

Podemos corrigir o erro no código da Listagem 4-4 com um pequeno ajuste:

Arquivo: src/main.rs

```
fn main() {
    let mut s = String::from("texto");

    modifica(&mut s);
}

fn modifica(uma_string: &mut String) {
    uma_string.push_str(" longo");
}
```

Primeiro, temos que fazer com que `s` seja `mut`. Depois, temos que criar uma referência mutável com `&mut s` e aceitar uma referência mutável com `uma_string: &mut String`.

Mas referências mutáveis possuem uma grande restrição: você só pode ter uma referência mutável para um determinado dado em um determinado escopo. Este código vai falhar:

Arquivo: src/main.rs

```
let mut s = String::from("texto");

let r1 = &mut s;
let r2 = &mut s;
```

Aqui está o erro:

```
error[E0499]: cannot borrow `s` as mutable more than once at a time
--> main.rs:5:19
   |
4  |     let r1 = &mut s;
   |               - first mutable borrow occurs here
5  |     let r2 = &mut s;
   |               ^ second mutable borrow occurs here
6  | }
   | - first borrow ends here
```

Esta restrição permite a mutação, mas de uma forma bem controlada. Isto é algo com que novos Rustáceos passam trabalho, porque a maioria das linguagens de programação permitem modificar um valor quando você quiser. O benefício de ter esta restrição é que o Rust previne *data races* em tempo de compilação.

Um *data race* é parecido com uma condição de corrida, e acontece quando esses três

fatores ocorrem:

1. Dois ou mais ponteiros acessam o mesmo dado ao mesmo tempo.
2. Ao menos um dos ponteiros é usado para escrever sobre o dado.
3. Não há nenhum mecanismo sendo usado para sincronizar o acesso ao dado.

Data races causam comportamento indefinido e pode ser difíceis de diagnosticar e corrigir quando você está tentando rastreá-los em tempo de execução. Rust previne este problema de acontecer porque não vai nem deixar compilar um código com data races!

Como sempre, podemos usar chaves (`{}`) para criar um novo escopo, permitindo múltiplas referências mutáveis, mas não *simultâneas*:

```
let mut s = String::from("texto");

{
    let r1 = &mut s;
} // aqui r1 sai de escopo, então já podemos criar uma nova referência sem
// problema nenhum.

let r2 = &mut s;
```

Existe uma regra parecida para combinar referências mutáveis e imutáveis. Este código resulta em erro:

```
let mut s = String::from("texto");

let r1 = &s; // sem problema
let r2 = &s; // sem problema
let r3 = &mut s; // PROBLEMA GRANDE
```

Aqui está o erro:

```
error[E0502]: cannot borrow `s` as mutable because it is also borrowed as
immutable
--> main.rs:6:19
  |
4 |     let r1 = &s; // sem problema
  |               - immutable borrow occurs here
5 |     let r2 = &s; // sem problema
6 |     let r3 = &mut s; // PROBLEMA GRANDE
  |               ^ mutable borrow occurs here
7 | }
  | - immutable borrow ends here
```

Eita! Nós *também* não podemos ter uma referência mutável enquanto temos uma imutável.

Usuários de uma referência imutável não esperam que os valores mudem de repente! Porém, múltiplas referências imutáveis são permitidas, pois ninguém que esteja apenas lendo os dados será capaz de afetar a leitura que está sendo feita em outra parte do código.

Mesmo que esses erros sejam frustrantes às vezes, lembre-se que é o compilador do Rust apontando um bug potencial antecipadamente (em tempo de compilação, em vez de execução), e mostrando exatamente onde está o problema, em vez de você ter que investigar por que algumas vezes os seus dados não são aquilo que você esperava que fosse.

Referências Soltas

Em linguagens com ponteiros, é fácil criar erroneamente um *ponteiro solto*, um ponteiro que referencia um local na memória que pode ter sido dado para outra parte do programa, basta liberar alguma memória e preservar um ponteiro para ela. Por outro lado, em Rust, o compilador garante que nenhuma referência será uma referência solta: se temos uma referência para algum dado, o compilador vai se certificar que esse dado não vai sair de escopo antes da referência.

Vamos tentar criar uma referência solta, que o Rust vai impedir com um erro em tempo de compilação:

Arquivo: src/main.rs

```
fn main() {
    let referencia_para_o_nada = soltar();
}

fn soltar() -> &String {
    let s = String::from("texto");

    &s
}
```

Aqui está o erro:

```
error[E0106]: missing lifetime specifier
--> main.rs:5:16
   |
5 | fn soltar() -> &String {
   |                ^ expected lifetime parameter
   = help: this function's return type contains a borrowed value, but there is
no value for it to be borrowed from
   = help: consider giving it a 'static lifetime
```

Esta mensagem de erro se refere a uma característica que não abordamos ainda: *lifetimes*. Vamos discutir lifetimes em detalhe no Capítulo 10. Mas, se você desconsiderar a parte sobre lifetimes, a mensagem mostra a razão deste código ser um problema:

```
this function's return type contains a borrowed value, but there is no value for it to be borrowed from.
```

Tradução: o tipo de retorno desta função contém um valor emprestado, mas não há nenhum valor que se possa pegar emprestado.

Vamos dar uma olhada mais de perto no que está acontecendo, exatamente, em cada estágio da nossa função `soltar`:

```
fn soltar() -> &String { // soltar retorna uma referência a uma String

    let s = String::from("texto"); // s é uma nova String

    &s // retornamos uma referência a uma String, s
} // Aqui, s sai de escopo e é destruída. Sua memória é devolvida.
// Perigo!
```

Como `s` é criada dentro da função `soltar`, quando o código desta função termina, `s` é desalocada. Mas nós tentamos retornar uma referência para ela. Isto significa que esta referência apontaria para uma `String` inválida! Isso não é bom. Rust não vai nos deixar fazer isso.

A solução aqui é retornar a `String` diretamente:

```
fn nao_soltar() -> String {
    let s = String::from("texto");

    s
}
```

Isto funciona sem nenhum problema. A `String` é movida para fora, e nada é desalocado.

As Regras de Referências

Vamos recapitular o que discutimos sobre referências:

1. Em um dado momento, você pode ter *um ou outro*, mas não os dois:

- Uma referência mutável.
- Qualquer número de referências imutáveis.

2. Referências devem ser válidas sempre.

Em seguida, vamos ver um tipo diferente de referências: *slices*.

Slices

Outro tipo de dados em que não há ownership é a *slice* (do inglês, fatia). Slices lhe permitem referenciar uma sequência contígua de elementos em uma coleção em vez de referenciar a coleção inteira.

Aqui está um pequeno problema de programação: escrever uma função que pega uma string e retorna a primeira palavra que encontrar dentro dela. Se a função não encontrar um espaço na string, significa que a string inteira é uma palavra só, então a string toda deve ser retornada.

Vamos pensar sobre a assinatura desta função:

```
fn primeira_palavra(s: &String) -> ?
```

Esta função, `primeira_palavra`, tem uma `&String` como parâmetro. Nós não queremos tomar posse dela, então tudo bem. Mas o que nós deveríamos retornar? Não temos uma forma de falar sobre *parte* de uma string. No entanto, poderíamos retornar o índice do final de uma palavra. Vamos tentar fazer isso, conforme mostrado na Listagem 4-5:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn primeira_palavra(s: &String) -> usize {  
    let bytes = s.as_bytes();  
  
    for (i, &item) in bytes.iter().enumerate() {  
        if item == b' ' {  
            return i;  
        }  
    }  
  
    s.len()  
}
```

Listagem 4-5: A função `primeira_palavra`, que retorna um índice para um byte da `String`

passada como parâmetro.

Vamos dividir este código em algumas partes. Como precisamos varrer a `String` elemento por elemento, e verificar se algum valor é um espaço, vamos converter nossa `String` em um array de bytes usando o método `as_bytes`:

```
let bytes = s.as_bytes();
```

Depois, criamos um iterador sobre o array de bytes usando o método `iter`:

```
for (i, &item) in bytes.iter().enumerate() {
```

Vamos discutir sobre iteradores em mais detalhes no Capítulo 13. Por enquanto, saiba que `iter` é um método que retorna cada elemento em uma coleção, e `enumerate` encapsula o resultado do `iter` e retorna cada elemento como parte de uma tupla. O primeiro elemento da tupla é o índice, e o segundo elemento é uma referência ao valor. Isto é um pouco mais conveniente do que calcular o índice nós mesmos.

Como o método `enumerate` retorna uma tupla, podemos usar padrões para desestruturar esta tupla, assim como qualquer outra coisa em Rust. Então, no `for`, especificamos um padrão que tem `i` para o índice na tupla e `&item` para o byte. Como pegamos uma referência ao elemento através do `.iter().enumerate()`, usamos um `&` neste padrão.

Nós procuramos o byte que representa um espaço usando a sintaxe de byte literal. Se encontrarmos um espaço, retornamos a posição dele. Caso contrário, retornamos o tamanho da string usando `s.len()`:

```
    if item == b' ' {  
        return i;  
    }  
}  
s.len()
```

Agora temos uma forma de descobrir o índice do fim da primeira palavra na string, mas tem um problema. Estamos retornando um `usize` por si só, mas ele só possui um significado no contexto da `&String`. Em outras palavras, como é um valor separado da `String`, não há garantia de que ele ainda será válido no futuro. Considere o programa na Listagem 4-6, que usa a função da Listagem 4-5:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let mut s = String::from("texto longo");

    let palavra = primeira_palavra(&s); // palavra vai ter o valor 5.

    s.clear(); // Isso esvazia a String, deixando ela igual a "".

    // palavra ainda tem o valor 5 aqui, mas já não há mais uma string para a
    // qual o valor 5 faça algum sentido. palavra agora é totalmente inválida!
}
```

Listagem 4-6: Armazenando o resultado de uma chamada à função `primeira_palavra`, e depois, mudando o conteúdo da `String`.

Este programa compila sem erros, e também o faria se usássemos a variável `palavra` depois de chamar `s.clear()`. `palavra` não está conectada ao estado de `s` de nenhuma forma, então, `palavra` ainda contém o valor `5`. Poderíamos usar esse valor `5` com a variável `s` para tentar extrair a primeira palavra da string, mas isso seria um bug, pois o conteúdo de `s` já mudou após termos salvo o valor `5` na variável `word`.

Ter que se preocupar sobre o índice da `palavra` ficar fora de sincronia com os dados em `s` é tedioso e propenso a erros! Gerenciar esses índices é ainda mais delicado se escrevermos uma função `segunda_palavra`. Sua assinatura teria que ser algo do tipo:

```
fn segunda_palavra(s: &String) -> (usize, usize) {
```

Agora estamos rastreando os índices do início e do final, e temos ainda mais valores que são calculados a partir dos dados em um estado particular, mas que não estão vinculados a este estado de nenhuma forma. Agora temos três variáveis não relacionadas flutuando que precisam ser mantidas em sincronia.

Felizmente, Rust possui uma solução para este problema: slices de string.

Slices de String

Uma *slice de string* é uma referência para uma parte de uma `String`, e tem a seguinte forma:

```
let s = String::from("texto longo");

let texto = &s[0..5];
let longo = &s[6..11];
```

Isto é similar a pegar uma referência à `String` inteira, mas com um `[0..5]` a mais. Em vez de uma referência à `String` inteira, trata-se de uma referência a uma porção da `String`. A sintaxe `início..fim` representa um *range* (uma faixa) que começa em `início` e continua até, mas não incluindo, `fim`.

Podemos criar slices usando um range entre colchetes especificando

`[índice_inicial..índice_final]`, em que `índice_inicial` é a primeira posição inclusa na slice, e `índice_final` é um a mais que a última posição inclusa na slice. Internamente, a estrutura de dados de uma slice armazena a posição inicial e o tamanho da slice, que corresponde a `índice_final` menos `índice_inicial`. Então, no caso do `let longo = &s[6..11];`, `longo` seria uma slice que contém um ponteiro para o sétimo byte de `s` (índice 6) e um tamanho igual a 5.

A Figura 4-6 mostra isto em um diagrama.

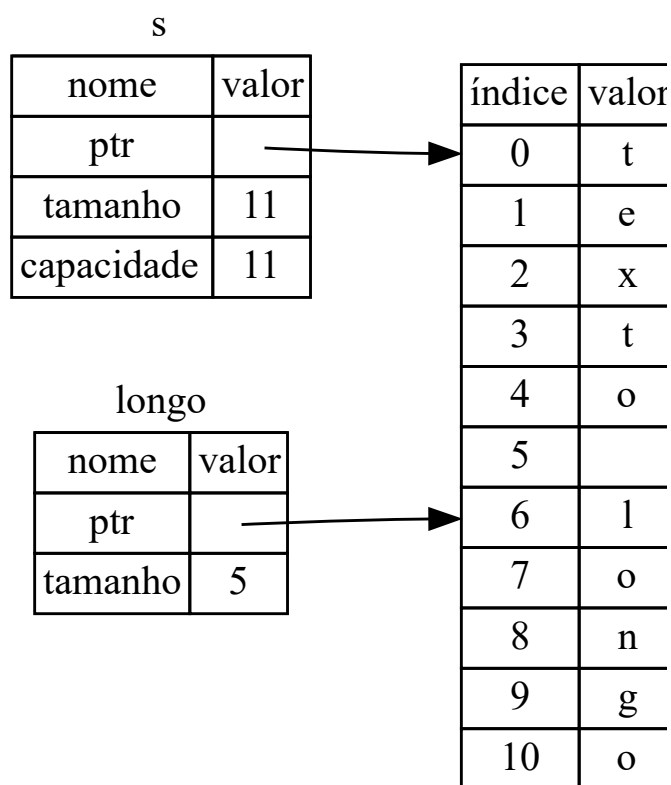


Figura 4-6: Slice referente a uma parte de uma `String`

Com a sintaxe de range do Rust (`..`), se você quiser começar com o primeiro elemento (índice zero), você pode omitir o valor antes dos dois pontos. Em outras palavras, estas formas são equivalentes:


```
let s = String::from("texto");

let slice = &s[0..2];
let slice = &s[..2];
```

Da mesma forma, se a sua slice inclui o último byte da `String`, você pode omitir o último número. Isso significa que as seguintes formas são equivalentes:

```
let s = String::from("texto");

let tamanho = s.len();

let slice = &s[3..tamanho];
let slice = &s[3..];
```

Você também pode omitir ambos os valores para pegar uma slice da string inteira. Logo, essas duas formas são equivalentes:

```
let s = String::from("texto");

let tamanho = s.len();

let slice = &s[0..tamanho];
let slice = &s[..];
```

Nota: Os índices do range de uma slice de string devem coincidir com os limites entre caracteres UTF-8 válidos. Se você tentar criar uma slice de string no meio de um caractere que tenha mais de um byte, seu programa vai terminar com erro. Para introduzir slices de string, estamos utilizando apenas caracteres ASCII nesta seção; uma discussão mais detalhada sobre manipulação de caracteres UTF-8 será feita na seção "Strings" do Capítulo 8.

Com toda essa informação em mente, vamos reescrever a função `primeira_palavra` para retornar uma slice. O tipo que representa "slice de string" é escrito como `&str`:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn primeira_palavra(s: &String) -> &str {
    let bytes = s.as_bytes();

    for (i, &item) in bytes.iter().enumerate() {
        if item == b' ' {
            return &s[0..i];
        }
    }

    &s[..]
}
```

Pegamos o índice para o fim da palavra da mesma forma como fizemos na Listagem 4-5, buscando a primeira ocorrência de um espaço. Quando o encontramos, retornamos uma slice de string usando o início da string e o índice do espaço como índices inicial e final, respectivamente.

Agora, quando chamamos `primeira_palavra`, pegamos de volta um único valor que está vinculado à string. O valor é composto de uma referência para o ponto inicial da slice e o número de elementos que ela contém.

Retornar uma slice também funcionaria para uma função `segunda_palavra`:

```
fn segunda_palavra(s: &String) -> &str {
```

Agora, temos uma API bem direta que é bem mais difícil de bagunçar, uma vez que o compilador vai se certificar que as referências dentro da `String` permanecerão válidas. Lembra do bug do programa na Listagem 4-6, quando obtivemos o índice para o fim da primeira palavra mas depois limpamos a string, invalidando o índice obtido? Aquele código era logicamente incorreto, mas não mostrava nenhum erro imediato. Os problemas apareceriam mais tarde quando tentássemos usar o índice da primeira palavra com uma string que foi esvaziada. Slices tornam esse bug impossível de acontecer e nos permitem saber que temos um problema no código muito mais cedo. Na versão usando slice, a função `primeira_palavra` vai lançar um erro em tempo de compilação:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let mut s = String::from("texto longo");

    let palavra = first_word(&s);

    s.clear(); // Erro!
}
```

Aqui está o erro:

```
error[E0502]: cannot borrow `s` as mutable because it is also borrowed as
immutable
--> src/main.rs:6:5
  |
4 |     let word = primeira_palavra(&s);
  |                                   - immutable borrow occurs here
5 |
6 |     s.clear(); // Erro!
  |     ^ mutable borrow occurs here
7 | }
  | - immutable borrow ends here
```

Voltando às regras de borrowing, lembre-se que, se temos uma referência imutável para algum valor, não podemos também obter uma referência mutável do mesmo. Como `clear` precisa truncar a `String`, esse método tenta obter uma referência mutável, e acaba falhando. O Rust não só tornou nossa API mais fácil de usar, como também eliminou uma classe inteira de erros em tempo de compilação!

Strings Literais São Slices

Lembre-se de que falamos sobre strings literais serem armazenadas dentro do binário. Agora que conhecemos slices, podemos entender strings literais adequadamente:

```
let s = "Olá, mundo!";
```

O tipo de `s` aqui é `&str`: é uma slice apontando para aquele ponto específico do binário. Também é por isso que strings literais são imutáveis; `&str` é uma referência imutável.

Slices de Strings como Parâmetros

Saber que você pode obter slices de literais e `String`s nos levam a mais um aprimoramento da função `primeira_palavra`, e aqui está sua assinatura:

```
fn primeira_palavra(s: &String) -> &str {
```

Um Rustáceo mais experiente escreveria esta função conforme a seguir, permitindo utilizar a mesma função com `String`s e `&str`s:

```
fn primeira_palavra(s: &str) -> &str {
```

Se temos uma slice de string, podemos passá-la diretamente. Se temos uma `String`, podemos passar uma slice da `String` inteira. Definir uma função que recebe uma slice em vez de uma referência para uma `String` deixa nossa API mais genérica e útil sem perder nenhuma funcionalidade:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let minha_string = String::from("texto longo");

    // primeira_palavra funciona com slices de `String`s
    let palavra = primeira_palavra(&minha_string[..]);

    let minha_string_literal = "texto longo";

    // primeira_palavra funciona com strings literais
    let palavra = primeira_palavra(&minha_string_literal[..]);

    // uma vez que strings literais são slices de strings,
    // isso também funciona, sem nem usar sintaxe de slice!
    let palavra = primeira_palavra(minha_string_literal);
}
```

Outras Slices

Slices de string, como você pode imaginar, são específicas de strings. Mas há também um tipo de slice mais genérico. Considere esta array:

```
let a = [1, 2, 3, 4, 5];
```

Assim como às vezes queremos nos referir a uma parte de uma string, podemos também querer nos referir a uma parte de uma array, e faríamos isso da seguinte forma:

```
let a = [1, 2, 3, 4, 5];

let slice = &a[1..3];
```

Essa slice tem o tipo `&[i32]`. Ela funciona da mesma forma que as slices de string, armazenando uma referência para o primeiro elemento e um tamanho. Você vai usar esse tipo de slice para todos os tipos de coleções. Vamos discutir essas coleções em mais detalhe quando falarmos sobre vetores no Capítulo 8.

Resumo

Os conceitos de ownership, borrowing, e slices são o que garante a segurança de memória dos programas em Rust em tempo de compilação. A linguagem Rust lhe dá controle sobre o uso da memória, assim como outras linguagens de programação de sistemas, mas como o dono dos dados limpa automaticamente a memória quando ele sai de escopo, você não tem que escrever e debugar código extra para ter esse controle.

O ownership afeta o funcionamento de várias outras partes do Rust, por isso vamos falar um pouco mais sobre esses conceitos neste livro daqui para a frente. Vamos seguir para o próximo capítulo e ver como agrupar dados em uma `struct`.

Usando Structs para Estruturar Dados Relacionados

Uma *struct*, ou *estrutura*, é um tipo de dados personalizado que nos permite nomear e criar um conjunto de vários valores relacionados que compõem um grupo de dados. Se você estiver familiarizado com uma linguagem orientada a objeto, um *struct* é como os atributos de dados de um objeto. Neste capítulo, vamos comparar e diferenciar tuplas com structs, demonstrar como usar structs e discutir como definir os métodos e funções associadas às structs para especificar o comportamento associado com os dados de uma struct. Os conceitos de struct e *enum* (que será discutido no Capítulo 6) são os blocos necessários para a criação de novos tipos para o seu programa, para tirar o máximo proveito da verificação de tipo no tempo de compilação do Rust.

Definindo e Instanciando Structs

Structs são semelhantes às tuplas, que foram discutidas no Capítulo 3. Como tuplas, os elementos de uma struct podem ser de tipos diferentes. Ao contrário das tuplas, nomeie cada dado de modo que seja claro o que cada um significa. Como resultado destes nomes, structs são mais flexíveis que tuplas: nós não temos de saber a ordem dos dados para especificar ou aceder aos valores de uma instância.

Para definir uma struct, digite a palavra-chave `struct` e o nome da struct. O nome da struct deve descrever o significado dos dados agrupados. Em seguida, dentro das chavetas {}, vamos definir os nomes e tipos dos dados, o que chamamos de *campos*. Por exemplo, a Lista 5-1 mostra uma struct para armazenar informações sobre a conta de um usuário:

```
struct User {  
    username: String,  
    email: String,  
    sign_in_count: u64,  
    active: bool,  
}
```

Lista 5-1: Definição da struct `User`

Para usar uma struct depois de a definirmos, criamos uma *instância* dessa struct, especificando valores para cada um dos campos. Estamos a criar uma instância, indicando o nome da struct e depois entre chavetas, adicionamos pares `campo:valor` onde as chaves são os nomes dos campos e os valores são os dados que deseja armazenar nesses campos. Nós não temos que atribuir os elementos na mesma ordem em que os temos declarado na struct. Em outras palavras, a definição da struct é como um modelo geral para o tipo, e as instâncias preenchem esse modelo com os dados específicos, para criar valores desse tipo. Por exemplo, podemos declarar um usuário específico como mostrado na Lista 5-2:

```
let user1 = User {  
    email: String::from("alguem@exemplo.com"),  
    username: String::from("algunome123"),  
    active: true,  
    sign_in_count: 1,  
};
```

Lista 5-2: Criar uma instância da struct `User`

Para obter um valor específico de uma struct, podemos utilizar a notação de ponto. Se quiséssemos apenas esse endereço de e-mail do usuário, podemos usar `user1.email` sempre que queremos usar este valor. Para alterar um valor em uma struct, se a instância é mutável, podemos usar a notação de ponto e atribuir a um campo específico. Lista 5-3 mostra como alterar o valor do campo `e-mail` de uma instância de `User` mutável:

```
let mut user1 = User {  
    email: String::from("alguem@exemplo.com"),  
    username: String::from("algunome123"),  
    active: true,  
    sign_in_count: 1,  
};  
  
user1.email = String::from("outroemail@exemplo.com");
```

Lista 5-3: Mudando o valor no campo `email` da instância de `User`

Abreviatura da Inicialização dos Campos quando as

Variáveis têm o mesmo Nome dos Campos

Se você tiver as variáveis com os mesmos nomes dos campos da struct, você pode usar o *field init shorthand* (inicialização abreviada do campo). Isto pode fazer com que as funções que criam novas instâncias de structs mais concisos. Em primeiro lugar, vejamos o modo mais detalhado para inicializar uma instância de uma struct. A função chamada `build_user` mostrada aqui na Lista 5-4 tem parâmetros chamados `e-mail` e `username` (nome de usuário). A função cria e retorna uma instância do `User`:

```
fn build_user(email: String, username: String) -> User {
    User {
        email: email,
        username: username,
        active: true,
        sign_in_count: 1,
    }
}
```

Lista 5-4: Uma função `build_user` que recebe um endereço de correio electrónico e o nome do usuário e retorna uma instância de `user`

Porque os nomes dos parâmetros `e-mail` e `username` são os mesmos que os nomes de campo do `e-mail` e nome de usuário da struct `User`, podemos escrever `build_user` sem a repetição de `e-mail` e `username` como mostrado na Lista 5-5. Esta versão de `build_user` comporta-se da mesma maneira como na Lista 5-4. A sintaxe abreviada pode fazer casos como esse mais curtos para escrever, especialmente quando structs têm muitos campos.

```
fn build_user(email: String, username: String) -> User {
    User {
        email,
        username,
        active: true,
        sign_in_count: 1,
    }
}
```

Lista 5-5: Uma função `build_user` que usa a sintaxe campo init porque os parâmetros `e-mail` e `username` têm o mesmo nome dos campos da struct

A Criação de instâncias de outras instâncias com Sintaxe de Atualização

da Struct (Struct Update Syntax)

É frequentemente útil criar uma nova instância a partir de uma antiga instância, usando a maioria dos valores da antiga instância mas mudando alguns. A Lista 5-6 mostra um exemplo da criação de uma nova instância do `user1` em `user2` através da definição dos valores de `e-mail` e `username` mas usando os mesmos valores para o resto dos campos do exemplo `user1` que criamos na Lista 5-2:

```
let user2 = User {  
    email: String::from("outro@exemplo.com"),  
    username: String::from("outronome567"),  
    active: user1.active,  
    sign_in_count: user1.sign_in_count,  
};
```

Lista 5-6: Criação de uma nova instância do `User`, `user2`, e a definição de alguns campos para os valores dos mesmos campos do `user1`

A *struct update syntax* (Sintaxe de Atualização da Struct) alcança o mesmo efeito que o código na Lista 5-6 usando menos código. A sintaxe de atualização struct usa `..` para especificar que os campos restantes não explicitamente configurados devem ter o mesmo valor que os campos na determinada instância. O código na Lista 5-7 também cria uma instância no `user2`, que tem um valor diferente de `e-mail` e `nome de usuário` mas tem os mesmos valores para os `active` e `sign_no_count` campos que `user1`:

```
let user2 = User {  
    email: String::from("another@example.com"),  
    username: String::from("anotherusername567"),  
    ..user1  
};
```

Lista 5-7: Usando struct update syntax para definir valores de `email` e `username` de uma nova instância do `User` mas usar o resto dos valores dos campos da instância da variável `user1`

Structs-Tuplas sem Campos Nomeados para Criar Tipos Diferentes

Podemos também definir structs que parecem semelhantes a tuplas, chamadas *tuple structs*,

que têm o significado que o nome `struct` fornece, mas não têm os nomes associados com os seus campos, apenas os tipos dos campos. A definição de uma `struct-tupla`, ainda começa com a palavra-chave `struct` e o nome da `struct`, que é seguida pelos tipos na tupla. Por exemplo, aqui estão as definições e usos da `struct-tupla` chamados `Color` e `Point`:

```
struct Color(i32, i32, i32);
struct Point(i32, i32, i32);

let black = Color(0, 0, 0);
let origin = Point(0, 0, 0);
```

Note que os valores `black` e `origin` são diferentes tipos, uma vez que eles são de diferentes instâncias `struct-tupla`. Cada `struct` que definimos é o seu próprio tipo, embora os campos dentro do `struct` tenham os mesmos tipos. No geral as `struct-tuplas` comportam-se como instâncias de tuplas, que discutimos no Capítulo 3.

Estruturas Unit-Like sem Quaisquer Campos

Podemos também definir structs que não têm quaisquer campos! Estes são chamados de *unit-like structs* (unidades como structs) porque eles se comportam da mesma forma que `()`, o tipo unidade. Unit-like structs podem ser úteis em situações, como quando você precisa implementar um `trait` de algum tipo, mas você não tem quaisquer dados que você deseja armazenar no tipo em si. Traits será discutido no Capítulo 10.

A Propriedade de Dados da Struct

Na definição de `struct user`, na Lista 5-1, utilizamos a propriedade tipo `String` em vez de `&str`, uma ‘fatia’ tipo `string`. Esta é uma escolha deliberada, porque queremos que instâncias deste `struct` possuam todos os seus dados e para que os dados sejam válidos por todo o tempo que o `struct` é válido.

É possível para structs armazenar referências a dados que são propriedade de algo diferente, mas para isso requer o uso de *lifetimes* (tempo de vida), uma característica de Rust que é discutida no Capítulo 10. Lifetimes garantem que os dados referenciados por um `struct` são válidos enquanto `struct` existir. Vamos dizer que você tenta armazenar uma referência em um `struct` sem especificar *lifetimes*, como este:

Filename: `src/main.rs`

```

struct User {
    username: &str,
    email: &str,
    sign_in_count: u64,
    active: bool,
}

fn main() {
    let user1 = User {
        email: "someone@example.com",
        username: "someusername123",
        active: true,
        sign_in_count: 1,
    };
}

```

O compilador irá reclamar que é preciso especificar lifetimes:

```

error[E0106]: missing lifetime specifier
-->
  |
2 |     username: &str,
  |               ^ expected lifetime parameter

error[E0106]: missing lifetime specifier
-->
  |
3 |     email: &str,
  |           ^ expected lifetime parameter

```

Vamos discutir como corrigir estes erros, assim você pode armazenar referências em structs no Capítulo 10, mas por agora, vamos corrigir erros como estes usando tipos de propriedade, utilizando `String` em vez de referências como `&str`.

Um Exemplo de um Programa que usa Structs

Para entender quando podemos querer usar structs, vamos escrever um programa que calcula a área de um retângulo. Vamos começar com as variáveis individuais e em seguida, refazer o programa até usar structs em vez das variáveis.

Vamos fazer um novo projeto binário com Cargo, chamado *retângulos* que terá o comprimento e a largura do retângulo especificados em pixels e irá calcular a área do retângulo. A Lista 5-8 mostra um programa curto com uma maneira de fazer isso no nosso projeto `src/main.rs`:

Filename: src/main.rs

```
fn main() {  
    let length1 = 50;  
    let width1 = 30;  
  
    println!(  
        "The area of the rectangle is {} square pixels.",  
        area(length1, width1)  
    );  
}  
  
fn area(length: u32, width: u32) -> u32 {  
    length * width  
}
```

Lista 5-8: Calcular a área de um retângulo especificado pelo seu comprimento e largura em variáveis separadas

Agora, executamos este programa usando `cargo run`:

```
The area of the rectangle is 1500 square pixels.
```

Refazendo com Tuplas

Embora a lista 5-8 funcione e descubra a área do retângulo chamando a função `area` com cada dimensão, nós podemos fazer melhor. O comprimento e a largura estão relacionados uns aos outros porque juntos eles descrevem um retângulo.

O problema com este método é evidente na assinatura de `area`:

```
fn area(length: u32, width: u32) -> u32 {
```

A função `area` supostamente calcula a área de um retângulo, mas a função que escrevemos tem dois parâmetros. Os parâmetros estão relacionados, mas isso não é indicado em qualquer lugar no nosso programa. Seria mais legível e mais gerenciável agrupar comprimento e largura. Já discutimos uma maneira de podermos fazer isso no Agrupamento de Valores em Tuplas, na seção do capítulo 3 na página XX: através do uso de tuplas. Lista 5-9 mostra outra versão do nosso programa que usa tuplas:

Filename: src/main.rs

```
fn main() {  
    let rect1 = (50, 30);  
  
    println!(  
        "The area of the rectangle is {} square pixels.",  
        area(rect1)  
    );  
}  
  
fn area(dimensions: (u32, u32)) -> u32 {  
    dimensions.0 * dimensions.1  
}
```

Lista 5-8: Especificando o comprimento e a largura de um retângulo através de uma Tupla.

Em uma maneira, este programa é melhor. As tuplas deixam-nos adicionar um pouco de estrutura, e agora estamos passando apenas um argumento. Mas esta versão é menos clara: as tuplas não nomeiam os seus elementos, de modo que nosso cálculo tornou-se mais confuso porque temos de indexar as peças da tupla.

Não importa, para o cálculo da área, trocar-se comprimento e largura, mas se queremos desenhar o retângulo na tela, já importa! Temos de ter em mente que `comprimento` é a tupla índice `0` e `largura` é o tupla índice `1`. Se alguém trabalhar com este código, terá de descobrir isso e mantê-lo em mente. Seria fácil esquecer ou misturar estes valores e causar erros, porque não se transmitiu o significado dos nossos dados no nosso código.

Reprogramação com Structs: Adicionando Mais Significado

Usamos structs para dar significado aos dados usando rótulos. Podemos transformar a tupla que estamos usando em um tipo de dados, com um nome para o conjunto bem como nomes para as partes, como mostra a Lista 5-10:

Filename: `src/main.rs`

```

struct Rectangle {
    length: u32,
    width: u32,
}

fn main() {
    let rect1 = Rectangle { length: 50, width: 30 };

    println!(
        "The area of the rectangle is {} square pixels.",
        area(&rect1)
    );
}

fn area(rectangle: &Rectangle) -> u32 {
    rectangle.length * rectangle.width
}

```

Lista 5-10: Definindo um struct `Rectangle` (Retângulo)

Aqui temos definido um struct denominado `Rectangle`. Dentro das `{}` definimos os campos como `comprimento` e `largura`, ambas do tipo `u32`. Em `main`, criamos uma instância específica de um `Rectangle` que tem um comprimento de 50 e largura de 30.

A nossa função `área` agora é definida com um parâmetro, que chamamos `rectangle`, cujo tipo é um empréstimo de uma instância da struct imutável `Rectangle`. Como mencionado no capítulo 4, queremos usar a struct, em vez de tomar posse dela. Desta forma, `main` mantém-se a sua proprietária e pode continuar a usar o `rect1`, que é a razão para usar o `&` na assinatura da função e onde chamamos a função.

A função `área` acessa os campos `comprimento` e `largura` da instância `Rectangle`. Nossa função assinatura para `área` agora indica exatamente o que queremos dizer: calcular a área de um `Rectangle` usando os campos `length` (comprimento) e `width` (largura). Transmite que o comprimento e a largura são relacionados uns aos outros, e dá nomes descritivos para os valores em vez de usar a tupla de valores de índice `0` e `1` - uma vitória para uma maior clareza.

Adicionando Funcionalidade Util com Traits Derivadas

Seria útil para ser capaz de imprimir uma instância do `Rectangle` enquanto estamos depurando o nosso programa, a fim de consultar os valores para todos os seus campos. Lista 5-11 usa a macro `'println!'` como temos usado nos capítulos anteriores:

Filename: `src/main.rs`

```
struct Rectangle {  
    length: u32,  
    width: u32,  
}  
  
fn main() {  
    let rect1 = Rectangle { length: 50, width: 30 };  
  
    println!("rect1 is {}", rect1);  
}
```

Lista 5-11: Tentativa de impressão de uma instância de `Rectangle`

Quando executamos este código, obtemos um erro com esta mensagem interna:

```
error[E0277]: the trait bound `Rectangle: std::fmt::Display` is not satisfied
```

A macro `'println!'` pode fazer muitos tipos de formatação, e por padrão, `{}` diz a `println!`, para utilizar a formatação conhecida como `Display`: saída destinada para consumo do utilizador final. Os tipos primitivos que vimos até agora implementam `Display` por padrão, porque só há uma maneira que você deseja mostrar um `i32` ou qualquer outro tipo primitivo para um usuário. Mas com Structs, a forma como `println!` deve formatar a saída é menos clara, pois existem mais possibilidades de exibição: você quer vírgulas ou não? Deseja imprimir as chavetas `{}`? Todos os campos devem ser mostrados? Devido a esta ambiguidade, Rust não tenta adivinhar o que queremos e as structs não têm uma implementação de `Display`.

Se continuarmos a ler os erros, encontramos esta nota explicativa:

```
Avisa que `Rectangle` não pode ser formatado com o formato padrão;  
Devemos tentar usar `:?` ao invés, se estivermos a usar um formato de string
```

Vamos tentar! A chamada da macro `println!` agora vai ficar como `println!("rect1 is {:?})", rect1);`. Colocando o especificador `?:` dentro de `{}` diz à `println!` que nós queremos usar um formato de saída chamado `Debug`. `Debug` é uma trait (característica) que nos permite imprimir as nossas structs de uma maneira útil para os desenvolvedores para que possamos ver o seu valor enquanto estamos a depurar do nosso código.

Executamos o código com esta mudança. Pô! Nós ainda obtemos um erro:

```
error: the trait bound `Rectangle: std::fmt::Debug` is not satisfied
```

Mas, novamente, o compilador dá-nos uma nota útil:

note: `Rectangle` cannot be formatted using `{:?}`; if it is defined in your crate, add `#[derive(Debug)]` or manually implement it

nota: `Rectangle` não pode ser formatado usando `{:?}`; se estiver definido no nosso crate, adicionamos `#[derive(Debug)]` ou adicionamos manualmente.

Rust *inclui* funcionalidades para imprimir informações de depuração, mas temos de inseri-la explicitamente para tornar essa funcionalidade disponível para nossa struct. Para isso, adicionamos a anotação `#[derive(Debug)]` pouco antes da definição da struct, como mostrado na Lista 5-12:

Filename: src/main.rs

```
#[derive(Debug)]
struct Rectangle {
    length: u32,
    width: u32,
}

fn main() {
    let rect1 = Rectangle { length: 50, width: 30 };

    println!("rect1 is {:?}", rect1);
}
```

Lista 5-12: Adicionando a anotação para derivar característica `Debug` e imprimir a instância `Rectangle` usando a formatação debug

Agora, quando executamos o programa, não teremos quaisquer erros e vamos ver a seguinte informação:

```
rect1 is Rectangle { length: 50, width: 30 }
```

Boa! Não é o mais bonito, mas mostra os valores de todos os campos para essa instância, que irá ajudar durante a depuração. Quando temos structs maiores, é útil ter a informação um pouco mais fácil de ler; nesses casos, podemos usar `{:#?}` ao invés de `{:?}` na frase `println!`. Quando utilizamos o `{:#?}` no exemplo, vamos ver a informação como esta:

```
rect1 is Rectangle {
    length: 50,
    width: 30
}
```

Rust forneceu um número de características (traits) para usarmos com a notação `derive` que pode adicionar um comportamento útil aos nossos tipos personalizados. Esses traits e

seus comportamentos estão listadas no Apêndice C. Abordaremos como implementar estes traits com comportamento personalizado, bem como a forma de criar as suas próprias traits (características) no Capítulo 10.

A nossa função `area` é muito específica: ela apenas calcula a área de retângulos. Seria útil fixar este comportamento à nossa struct `Rectangle`, porque não vai funcionar com qualquer outro tipo. Vejamos como podemos continuar a refazer este código tornando a função `area` em um *método* `area` definido no nosso `Rectangle`.

Sintaxe do Método

Methods (métodos) são semelhantes às funções: eles são declarados com a chave `fn` e o seu nome, eles podem ter parâmetros e valor de retorno, e eles contêm algum código que é executado quando eles são chamados de algum outro lugar. No entanto, métodos são diferentes das funções, porque são definidos no contexto de uma struct (ou um objeto enum ou uma trait, que nós cobrimos nos Capítulos 6 e 17, respectivamente), o seu primeiro parâmetro é sempre `self`, que representa a instância da struct do método que está a ser chamado.

Definindo Métodos

Vamos alterar a função `area` que tem uma instância de `Rectangle` como um parâmetro e, em vez disso, fazer um método `area` definido na struct `Rectangle` como mostrado na Lista 5-13:

Filename: `src/main.rs`


```

#[derive(Debug)]
struct Rectangle {
    length: u32,
    width: u32,
}

impl Rectangle {
    fn area(&self) -> u32 {
        self.length * self.width
    }
}

fn main() {
    let rect1 = Rectangle { length: 50, width: 30 };

    println!(
        "The area of the rectangle is {} square pixels.",
        rect1.area()
    );
}

```

Lista 5-13: Definindo um método `area` na struct `Rectangle`

Para definir a função dentro do contexto de `Rectangle`, vamos iniciar um bloco `impl` (*Implementação*). Depois movemos a função `area` dentro do corpo (`{}`) do `impl` e alteramos o primeiro (e neste caso, unico) parâmetro a ser `self` na assinatura e em todos os lugares dentro do corpo. Em `main`, onde chamamos a função `area` e passamos `ct1` como um argumento, podemos usar a *sintaxe de método* (method syntax) para chamar o método `área` na nossa instância `Rectangle`. A sintaxe de método vem em seguida a uma instância: adicionamos um ponto seguido pelo nome do método, parênteses e os argumentos.

Na assinatura de `area`, usamos `&self` em vez de `rectangle: &Rectangle` porque Rust sabe que o tipo de `self` é `Rectangle` devido a este método estar dentro do contexto do `impl Rectangle`. Note que ainda precisamos usar o `&` antes de `self`, tal como fizemos em `&Rectangle`. Métodos podem tomar posse de `self`, pedir emprestado `self` imutável como temos feito aqui, ou pedir emprestado `self` mutável, assim como qualquer outro parâmetro.

Escolhemos `&self` aqui pela mesma razão usamos `&Rectangle` na versão função: nós não queremos tomar posse, nós apenas queremos ler os dados da struct, e não escrever nela. Se quisermos mudar a instância da qual chamamos o método como parte do que o método faz, usariamos `&mut self` como o primeiro parâmetro. Ter um método que toma posse da instância, usando apenas `self` como primeiro parâmetro é raro; esta técnica é geralmente utilizada quando o método transforma o `self` em algo mais e queremos evitar que o chamador use a instância original após a transformação.

A principal vantagem do uso de métodos em vez de funções, além de usar a sintaxe do método e não ter de repetir o tipo de `self` em cada assinatura do método, é a organização. Nós colocamos todas as coisas que nós podemos fazer com uma instância de um tipo em um bloco `impl` em vez de fazer os futuros utilizadores do nosso código procurar as capacidades de `Rectangle` em vários lugares na biblioteca que fornecemos.

Onde está o Operador `->`?

Em linguagens como C++, dois operadores diferentes são usados para chamar métodos: você usa `.` se você está chamando um método do objeto diretamente e `->` se você está chamando o método em um apontador para o objeto e necessita de *desreferenciar* o apontador primeiro. Em outras palavras, se `objeto` é um apontador, `objeto->algo()` é semelhante a `(*objeto).algo()`.

Rust não tem um equivalente para o operador `->`; em vez disso, Rust tem um recurso chamado *referenciamento e desreferenciamento automático*. Chamada de métodos é um dos poucos lugares em Rust que têm este comportamento.

Eis como funciona: quando você chamar um método com `objecto.algo()`, Rust adiciona automaticamente `&`, `&mut` ou `*` para que `objecto` corresponda à assinatura do método. Em outras palavras, as seguintes são as mesmas:

```
p1.distance(&p2);
(&p1).distance(&p2);
```

O primeiro parece muito mais limpo. Este comportamento de referenciamento automático funciona porque métodos têm um receptor claro- o tipo `self`. Dado o receptor e o nome de um método, Rust pode descobrir definitivamente se o método é leitura (`&self`), mutação (`&mut self`), ou consumo (`self`). O fato de que Rust faz o empréstimo para receptores de método implícito é em grande parte porque o *ownership* é ergonômico na prática.

Métodos com Mais Parametros

Vamos praticar usando métodos através da aplicação de um segundo método sobre o struct `Rectangle`. Desta vez, queremos uma instância de `Rectangle` para ter outra instância de `Rectangle` e retornar `verdadeiro` se o segundo `Rectangle` pode caber completamente dentro de `self`, caso contrário deve retornar `falso`. Isto é, queremos ser capazes de

escrever o programa mostrado na Lista 5-14, uma vez que você definiu o método `can_hold` (pode conter):

Filename: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let rect1 = Rectangle { length: 50, width: 30 };  
    let rect2 = Rectangle { length: 40, width: 10 };  
    let rect3 = Rectangle { length: 45, width: 60 };  
  
    println!("Can rect1 hold rect2? {}", rect1.can_hold(&rect2));  
    println!("Can rect1 hold rect3? {}", rect1.can_hold(&rect3));  
}
```

Lista 5-14: Demonstrando o uso do método ainda não escrito `can_hold`

E o resultado esperado seria o seguinte, porque ambas as dimensões de `rect2` são menores do que as dimensões de `rect1`, mas `rect3` é mais amplo do que `rect1`:

```
Can rect1 hold rect2? true  
Can rect1 hold rect3? false
```

Sabemos que queremos definir um método, por isso vai ser dentro do bloco `impl Rectangle`. O nome do método será `can_hold`, e vai tomar um empréstimo imutável de um outro `Rectangle` como parâmetro. Podemos dizer qual o tipo do parâmetro, olhando o código que chama o método: `rect1.can_hold(&rect2)` passa `&rect2`, que é um empréstimo imutável de `rect2`, uma instância do `Rectangle`. Isso faz sentido porque nós só precisamos de ler `rect2` (em vez de escrever, que precisaria de um empréstimo mutável), e nós queremos que `main` conserve a propriedade de `rect2` para que possamos utilizá-lo novamente depois de chamar o método `can_hold`. O valor de retorno de `can_hold` será um booleano, e a aplicação irá verificar se o comprimento e a largura de `self` são ambos maiores que o comprimento e a largura do outro `Rectangle`, respectivamente. Vamos adicionar o novo método `can_hold` ao bloco `impl` da Lista 5-13, mostrado na Lista 5-15:

Filename: `src/main.rs`

```
impl Rectangle {
    fn area(&self) -> u32 {
        self.length * self.width
    }

    fn can_hold(&self, other: &Rectangle) -> bool {
        self.length > other.length && self.width > other.width
    }
}
```

Lista 5-15: Implementando o `can_hold` em `Rectangle` que toma outra instância de `Rectangle` como um parâmetro

Quando executamos este código com a função `main` na Lista 5-14, vamos obter a informação desejada. Métodos podem ter vários parâmetros que nós adicionamos à assinatura depois do parâmetro de `self`, e esses parâmetros funcionam como parâmetros em funções.

Funções Associadas

Outro recurso útil dos blocos `impl` é que podemos definir funções dentro dos blocos `impl` que *não* recebem `self` como um parâmetro. Estas são chamadas de *funções associadas* porque elas estão associadas com a struct. Elas ainda são funções, não métodos, porque elas não têm uma instância da struct para trabalhar. Você já usou a função associada `String::from`.

Funções associadas são usados frequentemente para construtores que retornam uma nova instância da struct. Poderíamos, por exemplo, fornecer uma função associada que teria um parâmetro dimensão e usar esse parâmetro como comprimento e largura, tornando assim mais fácil criar um retângulo `Rectangle` em vez de ter que especificar o mesmo valor duas vezes:

Filename: `src/main.rs`

```
impl Rectangle {
    fn square(size: u32) -> Rectangle {
        Rectangle { length: size, width: size }
    }
}
```

Para chamar esta função associada, usamos a sintaxe `::` com o nome da struct, como `let sq = Rectangle::square(3);`, por exemplo. Esta função é nomeada pela struct: a sintaxe

`::` é utilizada tanto para funções associadas e `namespaces` criados por módulos, que discutiremos no Capítulo 7.

Multiplos Blocos `impl`

Cada struct pode ter vários blocos `impl`. Por exemplo, a Lista 5-15 é equivalente ao código mostrado na Lista 5-16, que tem cada método em seu próprio bloco `impl`:

```
impl Rectangle {
    fn area(&self) -> u32 {
        self.length * self.width
    }
}

impl Rectangle {
    fn can_hold(&self, other: &Rectangle) -> bool {
        self.length > other.length && self.width > other.width
    }
}
```

Lista 5-16: Reescrevendo Lista 5-15 usando vários blocos `impl`

Não há nenhuma razão para separar estes métodos em vários blocos `impl` aqui, mas é uma sintaxe válida. Vamos ver um caso quando vários blocos `impl` são úteis no Capítulo 10 quando falamos de tipos genéricos e traços.

Sumário

As Structs permitem-nos criar tipos personalizados que são significativos para o nosso domínio. Usando structs, podemos manter pedaços de dados associados ligados uns aos outros e nomear cada pedaço para fazer nosso código claro. Métodos ajudam-nos a especificar o comportamento que as instâncias das nossas structs têm, funções associadas dão-nos a funcionalidade de `namespace` que é particular à nossa struct sem ter uma instância disponível.

Mas structs não são a única maneira que nós podemos criar tipos personalizados: vamos ao recurso do Rust, `enum`, para adicionar uma outra ferramenta à nossa caixa de ferramentas.

Enums e Casamento de Padrões (*Pattern Matching*)

Neste capítulo vamos ver *enumerações*, também chamadas de *enums*. Enums permitem definir um tipo por meio da enumeração de seus possíveis valores. Primeiro, vamos definir e usar uma enum para mostrar como ela pode atrelar significado aos nossos dados. Depois, vamos explorar uma enum particularmente útil, chamada `Option`, que expressa um valor que tanto pode ser algo quanto pode não ser nada. Em seguida, vamos ver como o casamento de padrões por meio da expressão `match` facilita a execução de códigos diferentes para diferentes valores de uma enum. Por fim, vamos abordar o `if let`, outra forma concisa e conveniente que você pode usar para tratar enums no seu código.

Enums são ferramentas que aparecem em muitas linguagens, mas suas características variam de uma para outra. Em Rust, enums são mais parecidas com os *tipos de dados algébricos* das linguagens de programação funcional como F#, OCaml e Haskell.

Definindo uma Enum

Vamos ver um caso em que enums podem ser mais apropriadas do que structs e descobrir como elas podem ser úteis. Digamos que estamos trabalhando com endereços IP. Atualmente, existem duas versões do protocolo IP que são mais utilizadas: a quatro e a seis. Estas são as únicas possibilidades para um endereço IP com que o nosso programa vai trabalhar: nós podemos *enumerar* todos os possíveis valores, é daí que vem o nome enumeração.

Um endereço IP qualquer pode ser ou da versão quatro ou da versão seis, mas nunca das duas ao mesmo tempo. Esta propriedade dos endereços IP faz com que a enum seja bem apropriada para este caso, pois enums só podem assumir o valor de uma de suas variantes. Os endereços de ambas as versões, seja quatro ou seis, ainda são, fundamentalmente, endereços IP, e deveriam ser tratados pelo mesmo tipo no código em situações que se aplicam a qualquer versão de endereço IP.

Podemos expressar esse conceito em código definindo uma enum `VersaoIp` e listando os possíveis tipos de que um endereço IP pode ser: `v4` e `v6`. Estas são as chamadas *variantes* da enum:

```
enum VersaoIp {  
    V4,  
    V6,  
}
```

`VersaoIp` é um tipo de dados que agora nós podemos usar em qualquer lugar no nosso código.

Valores de uma Enum

Podemos criar instâncias de cada uma das duas variantes de `VersaoIp`, da seguinte forma:

```
let quatro = VersaoIp::V4;  
let seis = VersaoIp::V6;
```

Repare que as variantes pertencem ao *namespace* da enum, e se usa `::` para separar os dois. Isso é útil porque agora ambos os valores `VersaoIp::V4` e `VersaoIp::V6` são do mesmo tipo: `VersaoIp`. Agora nós podemos, por exemplo, definir uma função que usa qualquer `VersaoIp`.

```
fn rotear(versao_ip: VersaoIp) { }
```

E podemos ainda chamar esta função passando qualquer uma das variantes:

```
rotear(VersaoIp::V4);  
rotear(VersaoIp::V6);
```

O uso de enums tem ainda mais vantagens. Pensando mais a fundo sobre o nosso tipo de endereço IP, ainda não temos uma forma de representar o *endereço* em si, apenas sabemos qual a *versão* dele. Tendo em vista o que você acabou de aprender sobre structs no Capítulo 5, você poderia abordar esse problema assim como visto na Listagem 6-1:

```
enum VersaoIp {
    V4,
    V6,
}

struct EnderecoIp {
    versao: VersaoIp,
    endereco: String,
}

let local = EnderecoIp {
    versao: VersaoIp::V4,
    endereco: String::from("127.0.0.1"),
};

let loopback = EnderecoIp {
    versao: VersaoIp::V6,
    endereco: String::from("::1"),
};
```

Listagem 6-1: Representação do endereço e da variante `VersaoIp` de um endereço IP usando uma `struct`

Aqui nós definimos uma `struct EnderecoIp` que tem dois membros: `versao`, do tipo `VersaoIp` (que definimos anteriormente) e `endereco`, do tipo `String`. Temos duas instâncias dessa `struct`. A primeira, `local`, tem o valor `VersaoIp::V4` como sua `versao`, e um endereço associado igual a `127.0.0.1`. A segunda instância, `loopback`, tem como sua `versao` a outra variante de `VersaoIp`, `V6`, e o endereço `::1` associado a ela. Nós usamos uma `struct` para encapsular os valores de `versao` e `endereco`, agora a variante está associada ao valor.

Podemos representar o mesmo conceito de uma forma mais concisa usando apenas uma `enum`, em vez de uma `enum` dentro de uma `struct`, colocando dados dentro de cada variante da `enum`, diretamente. Esta nova definição da `enum EnderecoIp` diz que ambas as variantes, `V4` e `V6`, terão uma `String` associada:

```
enum EnderecoIp {
    V4(String),
    V6(String),
}

let local = EnderecoIp::V4(String::from("127.0.0.1"));

let loopback = EnderecoIp::V6(String::from("::1"));
```


Podemos anexar dados a cada variante da enum diretamente, assim não existe mais a necessidade de uma struct adicional.

Há uma outra vantagem de se usar uma enum em vez de uma struct: cada variante pode conter dados de diferentes tipos e quantidades. Os endereços IP da versão quatro têm sempre quatro componentes numéricas, cada uma com valor de 0 a 255. Se quiséssemos representar endereços `v4` como quatro valores `u8`, e ao mesmo tempo manter os endereços `v6` como uma `String`, não poderíamos usar uma struct. Já as enums podem facilmente atender a este caso:

```
enum EnderecoIp {
    V4(u8, u8, u8, u8),
    V6(String),
}

let local = EnderecoIp::V4(127, 0, 0, 1);

let loopback = EnderecoIp::V6(String::from("::1"));
```

Acabamos de ver algumas possibilidades que poderíamos usar para representar endereços IP das duas versões por meio de uma enum. Acontece que essa necessidade de representar endereços IP, incluindo sua versão, é tão comum que a biblioteca padrão já possui uma definição que podemos usar! ([Veja a documentação em inglês](#)). Vamos ver como a biblioteca padrão define `IpAddr`: ele tem basicamente a mesma enum e as mesmas variantes que nós definimos e usamos anteriormente, mas os dados do endereço são embutidos dentro das variantes na forma de duas structs separadas, que são definidas de um jeito diferente pra cada variante.

```
struct Ipv4Addr {
    // detalhes omitidos
}

struct Ipv6Addr {
    // detalhes omitidos
}

enum IpAddr {
    V4(Ipv4Addr),
    V6(Ipv6Addr),
}
```

Esse código mostra que você pode colocar qualquer tipo de dados dentro de uma variante de enum: strings, tipos numéricos ou structs, por exemplo. Você pode até mesmo incluir outra enum! Além disso, os tipos definidos pela biblioteca padrão não são tão mais

complicados do que o que talvez você pensaria em fazer.

Repare que, mesmo havendo um `IpAddr` definido pela biblioteca padrão, nós ainda podemos criar e utilizar nossa própria definição (com o mesmo nome, inclusive) sem nenhum conflito, porque não trouxemos a definição da biblioteca padrão para dentro do nosso escopo. Falaremos mais sobre a inclusão de tipos em um escopo no Capítulo 7.

Vamos ver outro exemplo de uma enum na Listagem 6-2: esta tem uma grande variedade de tipos embutidos nas suas variantes:

```
enum Mensagem {  
    Sair,  
    Mover { x: i32, y: i32 },  
    Escrever(String),  
    MudarCor(i32, i32, i32),  
}
```

Listagem 6-2: Enum `Mensagem`, cujas variantes contêm, cada uma, diferentes tipos e quantidades de dados

Esta enum tem quatro variantes de diferentes tipos:

- `Sair` não tem nenhum dado associado.
- `Mover` contém uma struct anônima.
- `Escrever` contém uma única `String`.
- `MudarCor` contém três valores do tipo `i32`.

Definir uma enum com variantes iguais às da Listagem 6-2 é similar a definir diferentes tipos de struct, exceto que a enum não usa a palavra-chave `struct`, e todas as variantes são agrupadas dentro do tipo `Mensagem`. As structs seguintes podem guardar os mesmos dados que as variantes da enum anterior:

```
struct MensagemSair; // unit struct  
struct MensagemMover {  
    x: i32,  
    y: i32,  
}  
struct MensagemEscrever(String); // tuple struct  
struct MensagemMudarCor(i32, i32, i32); // tuple struct
```

Mas se usarmos structs diferentes, cada uma tendo seu próprio tipo, não vamos conseguir tão facilmente definir uma função que possa receber qualquer um desses tipos de mensagens, assim como fizemos com a enum `Mensagem`, definida na Listagem 6-2, que

consiste em um tipo único.

Há mais uma similaridade entre enums e structs: da mesma forma como podemos definir métodos em structs usando `impl`, também podemos definir métodos em enums. Aqui está um método chamado `invocar`, que poderia ser definido na nossa enum `Mensagem`:

```
impl Mensagem {
    fn invocar(&self) {
        // o corpo do método é definido aqui
    }
}

let m = Mensagem::Escrever(String::from("olá"));
m.invocar();
```

O corpo do método usaria o valor `self` para obter a mensagem sobre a qual o método foi chamado. Neste exemplo, criamos a variável `m`, que contém o valor `Mensagem::Escrever(String::from("olá"))`, e é isso que `self` vai ser no corpo do método `invocar` quando `m.invocar()` for executado.

Vamos ver agora outra enum da biblioteca padrão que também é muito útil e comum: `Option`.

A Enum `Option` e Suas Vantagens Sobre Valores Nulos

Na seção anterior, vimos como a enum `EnderecoIp` nos permite usar o sistema de tipos do Rust para codificar em nosso programa mais informação do que apenas os dados que queremos representar. Essa seção explora um caso de estudo da `Option`, que é outra enum definida pela biblioteca padrão. O tipo `Option` é muito utilizado, pois engloba um cenário muito comum, em que um valor pode ser algo ou pode não ser nada. Expressar esse conceito por meio do sistema de tipos significa que o compilador pode verificar se você tratou, ou não, todos os casos que deveriam ser tratados, podendo evitar *bugs* que são extremamente comuns em outras linguagens de programação.

O *design* de uma linguagem de programação é geralmente tratado em termos de quais características são incluídas, mas as que são excluídas também têm importância. Rust não tem o valor nulo (*null*) que outras linguagens têm. O valor nulo quer dizer que não há nenhum valor. Em linguagens que têm essa característica, as variáveis sempre estão em um dos dois estados: nulo ou não nulo.

Em uma conferência, Tony Hoare, inventor do valor nulo, disse o seguinte:

Eu o chamo meu erro de um bilhão de dólares. Naquela época, eu estava projetando o primeiro sistema abrangente de tipos para referências em uma linguagem orientada a objetos. Meu objetivo era garantir que todo uso de referências deveria ser absolutamente seguro, com verificação automática feita pelo compilador. Mas não pude resistir à tentação de colocar uma referência nula, simplesmente porque era tão fácil de implementar. Isso tem provocado inúmeros erros, vulnerabilidades, e falhas de sistemas que provavelmente causaram um bilhão de dólares de dor e danos nos últimos quarenta anos.

O problema com valores nulos é que, se você tentar usar um valor nulo como se fosse não nulo, vai acontecer algum tipo de erro. Pelo fato dessa propriedade de nulo e não nulo ser tão sutil, é extremamente fácil cometer esse tipo de erro.

Porém, o conceito que o valor nulo tenta expressar ainda é útil: um valor nulo representa algo que, por algum motivo, está inválido ou ausente no momento.

O problema, na verdade, não está no conceito, mas na implementação em particular. Por isso, Rust não possui valores nulos, mas sim uma enum que engloba o conceito de um valor estar presente ou ausente. Esta enum é a `Option<T>`, que está definida na biblioteca padrão da seguinte forma: ([Veja a documentação em inglês](#)).

```
enum Option<T> {  
    Some(T), // algum valor  
    None,   // nenhum valor  
}
```

A enum `Option<T>` é tão útil que ela já vem inclusa no prelúdio: você não precisa trazê-la explicitamente para o seu escopo. Além disso, o mesmo ocorre com suas variantes: você pode usar `Some` e `None` diretamente sem prefixá-las com `Option::`. `Option<T>` continua sendo uma enum como qualquer outra, e `Some(T)` e `None` ainda são variantes do tipo `Option<T>`.

A sintaxe do `<T>` é uma característica do Rust de que não falamos ainda. Trata-se de um parâmetro de tipo genérico, vamos abordá-lo com mais detalhe no Capítulo 10. Por ora, tudo que você precisa saber é que `<T>` significa que a variante `Some` da enum `Option` pode conter um dado de qualquer tipo. Aqui vão alguns exemplos de `Option` contendo tipos de número e texto:

```
let algum_numero = Some(5);
let algum_texto = Some("um texto");

let numero_ausente: Option<i32> = None;
```

Se usamos `None` em vez de `Some`, precisamos dizer ao Rust qual é o tipo de `Option<T>` que nós temos, porque o compilador não consegue inferir qual tipo estará contido na variante `Some` apenas olhando para um valor `None`.

Quando temos um `Some`, sabemos que um valor está presente, contido dentro do `Some`. Já quando temos um `None`, de certa forma, significa o mesmo que um valor nulo: não temos um valor que seja válido. Então por que a `Option<T>` é tão melhor que usar um valor nulo?

Em resumo, é porque `Option<T>` e `T` (podendo `T` ser de qualquer tipo) são tipos diferentes, por isso, o compilador não vai permitir usar um valor do tipo `Option<T>` como se ele definitivamente tivesse um valor válido. Por exemplo, o código seguinte não vai compilar, porque ele está tentando somar um `i8` a um `Option<i8>`:

```
let x: i8 = 5;
let y: Option<i8> = Some(5);

let soma = x + y;
```

Quando executamos esse código, temos uma mensagem de erro como essa:

```
error[E0277]: the trait bound `i8: std::ops::Add<std::option::Option<i8>>` is
not satisfied
-->
  |
5 |     let sum = x + y;
  |                  ^ no implementation for `i8 + std::option::Option<i8>`
  |
```

Intenso! O que essa mensagem quer dizer é que o Rust não consegue entender como somar um `i8` e um `Option<i8>`, porque eles são de tipos diferentes. Quando temos um valor de um tipo como `i8` em Rust, o compilador tem certeza de que temos sempre um valor válido. Podemos prosseguir com confiança, sem ter de verificar se o valor é nulo antes de usá-lo. Somente quando temos um `Option<i8>` (ou qualquer que seja o tipo com que estamos trabalhando), vamos ter de nos preocupar com a possibilidade de não haver um valor, e o compilador vai se certificar de que nós estamos tratando este caso antes de usar o valor.

Em outras palavras, você tem que converter um `Option<T>` em um `T` antes de poder executar operações com ele. Geralmente, isso ajuda a detectar um dos problemas mais

comuns com valores nulos: assumir que algo não é nulo quando, na verdade, ele é.

Só de não ter que se preocupar com a possibilidade de ter deixado um valor nulo escapar já lhe dá mais confiança em seu código. Pra ter um valor que pode ser nulo em algum momento, você precisa, explicitamente, marcá-lo como sendo do tipo `Option<T>`. A partir daí, sempre que for usar o valor, você será obrigado a tratar, de forma explícita, o caso do valor sendo nulo. Sempre que houver um valor que não seja um `Option<T>`, você *pode* assumir, com segurança, que o valor não é nulo. Esta foi uma decisão deliberada de projeto do Rust para limitar as sutilezas dos valores nulos e aumentar a segurança do código.

Então, como obter o valor `T` da variante `Some` quando se tem um `Option<T>`, para que se possa usar seu valor? A enum `Option<T>` possui diversos métodos que são úteis em uma variedade de situações, você pode pesquisá-los na [documentação](#) (em inglês). Será extremamente útil na sua jornada com Rust se familiarizar com os métodos da enum `Option<T>`.

Em geral, pra usar um valor `Option<T>`, queremos ter um código que trate cada uma das variantes. Queremos um código que só será executado quando tivermos um valor `Some(T)`, e esse código terá permissão para usar o valor `T` que está embutido. Queremos também um outro código que seja executado se tivermos um valor `None`, e esse código não terá um valor `T` disponível. A expressão `match` é uma instrução de controle de fluxo que faz exatamente isso quando usada com enums: ela executa códigos diferentes dependendo de qual variante tiver a enum, e esse código poderá usar os dados contidos na variante encontrada.

Operador `match` de Controle de Fluxo

O Rust tem um excelente operador de controle de fluxo chamado `match`, que nos permite comparar um valor com uma série de padrões e executar um código com base no padrão que casar. Padrões podem ser compostos de valores literais, variáveis, caracteres-curinga e várias outras coisas. O Capítulo 18 aborda todos os tipos de padrões e o que eles fazem. A grande utilidade do `match` vem da expressividade dos padrões e das análises feitas pelo compilador, tendo certeza de que todos os casos possíveis estão sendo tratados.

Imagine que expressão `match` funciona como uma máquina de contar moedas: as moedas passam por um canal que possui furos de vários tamanhos, e cada moeda cai no primeiro furo em que ela couber. Da mesma forma, os valores passam por cada padrão de um `match`, e logo no primeiro padrão que o valor "se encaixar", o bloco de código que estiver associado a ele será executado.

Aproveitando que acabamos de falar sobre moedas, vamos usá-las como exemplo de utilização do `match` ! Podemos escrever uma função que recebe uma moeda qualquer dos Estados Unidos e, assim como uma máquina, determina qual moeda ela é e retorna seu valor em *cents*, como mostra a Listagem 6-3:

Nota do tradutor: diferentemente do que acontece na maioria dos países, as moedas dos Estados Unidos possuem nomes: as de 1 *cent* são chamadas de *Penny*; as de 5 *cents*, de *Nickel*; as de 10 *cents*, de *Dime*; e as de 25 *cents*, de *Quarter*.

```
enum Moeda {
    Penny,
    Nickel,
    Dime,
    Quarter,
}

fn valor_em_cents(moeda: Moeda) -> u32 {
    match moeda {
        Moeda::Penny => 1,
        Moeda::Nickel => 5,
        Moeda::Dime => 10,
        Moeda::Quarter => 25,
    }
}
```

Listagem 6-3: Uma `enum` e uma expressão `match` em que os padrões comparados são as variantes da `enum`.

Vamos analisar o `match` da função `valor_em_cents`. Primeiro, usamos a palavra-chave `match` seguida de uma expressão, que neste caso é o valor `moeda`. É parecido a uma expressão utilizada com `if`, mas tem uma grande diferença: com `if`, a expressão precisa retornar um valor *booleano*. Aqui, pode ser de qualquer tipo. O tipo da variável `moeda`, neste exemplo, é a `enum` `Moeda`, que definimos na Listagem 6-3.

Em seguida vêm os braços do `match`. Um braço é composto por duas partes: um padrão e algum código. O primeiro braço deste exemplo tem um padrão, que é o valor `Moeda::Penny`, e o operador `=>` que separa o padrão do código associado a ele. O código, nesse caso, é apenas o valor `1`. Os braços são separados uns dos outros com uma vírgula.

Quando o `match` é executado, ele compara o valor resultante com o padrão de cada braço, na ordem. Se o valor casar com um determinado padrão, o código associado a esse padrão será executado. Se o valor não se encaixa nesse padrão, a execução passa para o próximo

braço, bem parecido com a máquina de contar moedas. Podemos ter tantos braços quanto precisamos. No caso da Listagem 6-3, nosso `match` tem quatro braços.

O código associado a cada braço é uma expressão, e o seu valor resultante, no braço que combinar, é o que será retornado pela expressão `match`.

Tipicamente não se usa chaves se o braço do `match` for curto, como é o caso na Listagem 6-3, em que cada braço retorna apenas um valor. Se você quiser executar mais de uma linha de código em um braço, você pode usar chaves para delimitá-las. Por exemplo, o código seguinte vai escrever na tela "Moeda da sorte!" sempre que o método for chamado com uma `Moeda::Penny`, mas ainda vai retornar o último valor do bloco, `1`:

```
fn valor_em_cents(moeda: Moeda) -> u32 {  
    match moeda {  
        Moeda::Penny => {  
            println!("Moeda da sorte!");  
            1  
        },  
        Moeda::Nickel => 5,  
        Moeda::Dime => 10,  
        Moeda::Quarter => 25,  
    }  
}
```

Padrões Atrelados a Valores

Outra característica útil dos braços do `match` é que eles podem ser atrelados a partes dos valores que se encaixam no padrão. É assim que podemos extrair valores dentro de uma variante de uma enum.

Por exemplo, vamos alterar uma das nossas variantes, inserindo dados dentro dela. De 1999 até 2008, os Estados Unidos cunhou *quarters* com um *design* diferente para cada um dos 50 estados em um dos lados da moeda. Nenhuma outra moeda tinha essa diferença no *design*, apenas os *quarters*. Podemos adicionar essa informação à nossa `enum` alterando a variante `Quarter` para incluir o valor `Estado`, como é feito na Listagem 6-4:


```
#[derive(Debug)] // Para podermos ver qual é o estado com mais facilidade
enum Estado {
    Alabama,
    Alaska,
    // ... etc
}

enum Moeda {
    Penny,
    Nickel,
    Dime,
    Quarter(Estado),
}
```

Listagem 6-4: Enum `Moeda`, cuja variante `Quarter` também guarda o valor `Estado`.

Vamos imaginar que um amigo nosso está tentando colecionar todas os *quarters* dos 50 estados. Enquanto separamos nosso troco por tipo de moeda, vamos também dizer o nome do estado associado a cada *quarter*. Se for um dos que o nosso amigo ainda não tem, ele pode colocá-lo na sua coleção.

Na expressão `match` desse código, vamos adicionar uma variável chamada `estado` ao padrão que casa com os valores da variante `Moeda::Quarter`. Quando uma `Moeda::Quarter` é testada, a variável `estado` vai ser atrelada ao valor do estado daquele *quarter*. Assim vamos poder usar o `estado` no código do braço, desse jeito:

```
fn valor_em_cents(moeda: Moeda) -> u32 {
    match moeda {
        Moeda::Penny => 1,
        Moeda::Nickel => 5,
        Moeda::Dime => 10,
        Moeda::Quarter(estado) => {
            println!("Quarter do estado {:?}", estado);
            25
        },
    }
}
```

Se executarmos `valor_em_cents(Moeda::Quarter(Estado::Alaska))`, `moeda` seria `Moeda::Quarter(Estado::Alaska)`. Quando comparamos esse valor em cada um dos braços do `match`, nenhum deles vai casar enquanto não chegar em `Moeda::Quarter(estado)`. Nesse ponto, `estado` vai estar atrelado ao valor `Estado::Alaska`. Podemos, então, usar esse valor na expressão `println!`, obtendo o estado contido na variante `Quarter` da enum `Moeda`.

Usando match com Option<T>

Na seção anterior, queríamos obter o valor `T` contido em um `Some` quando era o caso em uma `Option<T>`. Também podemos manipular uma `Option<T>` usando `match`, assim como fizemos com a enum `Moeda`! Em vez de comparar moedas, vamos comparar as variantes de `Option`, mas a forma de trabalhar com a expressão `match` continua a mesma.

Digamos que queremos escrever uma função que recebe um `Option<i32>`, e se houver um valor embutido nele, soma um a esse valor. Se não houver um valor, a função deve retornar `None`, e nem tentar executar nenhuma operação.

Essa função é bem fácil de implementar, graças ao `match`, e vai ficar conforme visto na Listagem 6-5:

```
fn mais_um(x: Option<i32>) -> Option<i32> {
    match x {
        None => None,
        Some(i) => Some(i + 1),
    }
}

let cinco = Some(5);
let seis = mais_um(cinco);
let nenhum = mais_um(None);
```

Listagem 6-5: Uma função que usa um `match` para tratar uma `Option<i32>`.

Casando Some(T)

Vamos examinar a primeira execução de `mais_um` em mais detalhes. Quando chamamos `mais_um(cinco)`, a variável `x` no corpo da função `mais_um` vai ter o valor `Some(5)`. Então comparamos ele a cada braço do `match`.

```
None => None,
```

O valor `Some(5)` não casa com o padrão `None`, então seguimos para o próximo braço.

```
Some(i) => Some(i + 1),
```

`Some(5)` casa com `Some(i)`? Sim, casa! Temos a mesma variante. O `i` está atrelado ao valor contido em `Some`, então `i` passa a ter o valor `5`. O código desse braço é

executado, então somamos um ao valor de `i` e criamos um novo `Some` contendo nosso total de 6`.

Casando None

Agora vamos considerar a segunda chamada da função `mais_um` na Listagem 6-5, em que `x` é `None`. Nós entramos no `match` e comparamos com o primeiro braço.

```
None => None,
```

Confere! Não há nenhum valor para somar, então o programa pára e retorna o valor `None` do lado direito do `=>`. Como o primeiro braço já casou, nenhum dos demais será testado.

A combinação de enums e a expressão `match` é útil em diversas situações. Você verá muito esse padrão em Rust: fazer o `match` de uma enum, associar uma variável ao valor embutido, e então executar um código baseado nele. Pode parecer complicado no começo, mas uma vez que você se acostume, você vai querer que tivesse isso em todas as linguagens. É, sistematicamente, um favorito dos usuários.

Matches São Exaustivos

Há outro aspecto do `match` que precisamos discutir. Considere essa versão da nossa função `mais_um`:

```
fn mais_um(x: Option<i32>) -> Option<i32> {
    match x {
        Some(i) => Some(i + 1),
    }
}
```

Nós não tratamos o caso `None`, logo vai ocorrer um *bug* no nosso código. Por sorte, é um *bug* que o Rust sabe detectar. Se tentarmos compilar esse código, vamos ter esse erro:

```
error[E0004]: non-exhaustive patterns: `None` not covered
-->
6 |         match x {
   |             ^   pattern `None` not covered
```

O Rust sabe que nós não cobrimos todos os casos possíveis, e sabe até de qual padrão nos esquecemos! *Matches* em Rust são *exaustivos*: precisamos extinguir até a última possibilidade pra que o nosso código seja válido. Especialmente no caso de uma `Option<T>`,

em que o Rust não nos deixa esquecer de tratar explicitamente o caso `None`. Ele nos impede de assumir que temos um valor válido quando possivelmente temos um valor nulo, e portanto, cometer o erro de um bilhão de dólares que vimos mais cedo.

The `_` Placeholder

O Placeholder `_`

O Rust também tem um padrão que podemos usar em situações em que não queremos listar todos os valores possíveis. Por exemplo, um `u8` pode ter valores válidos de 0 a 255. Se nos importamos apenas com os valores 1, 3, 5 e 7, não queremos ser obrigados a listar o 0, 2, 4, 6, 8, 9, e assim por diante até 255. Felizmente, nem precisamos: em vez disso, podemos usar o padrão especial `_`.

```
let algum_valor_u8 = 0u8;
match algum_valor_u8 {
    1 => println!("um"),
    3 => println!("três"),
    5 => println!("cinco"),
    7 => println!("sete"),
    _ => (),
}
```

O padrão `_` casa com qualquer valor. Colocando ele depois dos demais braços, o `_` vai casar com todos os casos possíveis que não foram especificados antes dele. O `()` é só o valor-unidade, pra que nada aconteça no caso `_`. Como resultado, podemos dizer que não queremos fazer nada com os possíveis valores que não listamos antes do *placeholder* `_`.

Contudo, a expressão `match` pode ser um tanto verbosa em uma situação em que queremos apenas lidar com *um* dos casos. Pra essa situação, o Rust oferece o `if let`.

Controle de Fluxo Conciso com `if let`

A sintaxe do `if let` permite combinar `if` e `let` em uma forma menos verbosa de tratar apenas os valores que casam com um padrão e ignorar os demais. Considere o programa da Listagem 6-6, que confere um valor do tipo `Option<u8>`, mas só executa um código se houver um valor associado igual a três:

```
let algum_valor_u8 = Some(0u8);
match algum_valor_u8 {
    Some(3) => println!("três"),
    _ => (),
}
```

Listagem 6-6: Um `match` que só executa um código quando o valor é `Some(3)`.

Queremos fazer alguma coisa com o `Some(3)`, mas não queremos fazer nada com nenhum outro valor, seja `Some<u8>` ou `None`. Pra satisfazer a expressão `match`, temos que colocar `_ => ()` após processar apenas uma variante, ou seja, é muito código para pouca coisa.

Em vez disso, poderíamos escrever o mesmo código de uma forma mais compacta, usando `if let`. O código seguinte tem o mesmo comportamento do `match` na Listagem 6-6:

```
if let Some(3) = algum_valor_u8 {
    println!("três");
}
```

`if let` recebe um padrão e uma expressão separados por um `=`. Isso funciona da mesma forma que um `match`, em que a expressão seria passada para o `match`, e o padrão apareceria no primeiro braço.

Usar o `if let` implica menos código pra digitar e menos indentação. Porém, perdemos a verificação exaustiva que é garantida pelo `match`. A escolha entre `match` e `if let` depende do que você está fazendo em uma situação particular, e se a redução no volume de código compensa a perda da verificação exaustiva.

Em outras palavras, você pode enxergar o `if let` como um *syntax sugar* (um atalho) para um `match` que só executa um código quando o valor casa com um único padrão, e ignora todos os outros valores.

Também podemos incluir um `else` em um `if let`. O bloco de código que vai no `else` é o mesmo que iria no caso `_` da expressão `match` equivalente. Lembre-se da enum `Moeda` que definimos na Listagem 6-4, cuja variante `Quarter` guardava um valor do tipo `Estado`. Se queremos contar todas as moedas que não forem *quarters*, enquanto também anunciamos o estado dos *quarters*, poderíamos fazer isso com uma expressão `match` igual a esta:

```
let mut contagem = 0;
match moeda {
    Moeda::Quarter(estado) => println!("Quarter do estado {:?}", estado),
    _ => contagem += 1,
}
```

Ou poderíamos usar um `if let` e um `else` desta forma:

```
let mut contagem = 0;
if let Moeda::Quarter(estado) = moeda {
    println!("Quarter do estado {:?}", estado);
} else {
    contagem += 1;
}
```

Se a lógica do seu programa fica muito verbosa quando é expressa por meio de um `match`, lembre-se que você também dispõe do `if let`.

Resumo

Nós acabamos de ver como usar enums para criar tipos customizados a partir de um conjunto de valores enumerados. Mostramos como o tipo `Option<T>`, da biblioteca padrão, ajuda você a usar o sistema de tipos para evitar erros. Quando as enums contêm dados, você pode usar `match` ou `if let` para extrair e usar esses valores, dependendo de quantos casos você precisa tratar.

Agora, seus programas em Rust podem expressar conceitos em seu domínio usando structs e enums. Criar tipos customizados para a sua *API* aumenta sua segurança: o compilador vai se certificar de que suas funções recebem apenas os valores que correspondem aos tipos esperados.

Para fornecer uma API bem organizada aos seus usuários, que seja simples de usar, e que exponha apenas o que é necessário aos usuários, vamos agora passar para os módulos em Rust.

Usando Módulos para Reutilizar e Organizar Código

Quando você começa a escrever programas em Rust, seu código pode se manter apenas na função `main`. À medida que seu código cresce, você acabará por mover funcionalidades para outras outras funções a fim de reutilizar código e melhorar a organização. Ao dividir seu código em pequenos pedaços, cada pedaço é mais fácil de entender por si só. Mas o que acontece se você tem muitas funções? Rust possui um sistema de módulos que permite a reutilização de código de forma organizada.

Da mesma forma que você extrai linhas de código em uma função, você pode extrair funções (e outros códigos, como structs e enums) em diferentes módulos. Um *módulo* é um namespace que contém definições de funções ou tipos, e você pode escolher se essas definições são visíveis fora de seu módulo (público) ou não (privado). Aqui está uma visão geral de como os módulos funcionam:

- A palavra-chave `mod` declara um novo módulo. O código dentro do módulo aparece imediatamente após esta declaração dentro de chaves ou em outro arquivo.
- Por padrão, as funções, tipos, constantes e módulos são privados. A palavra-chave `pub` torna um item público e, portanto, visível fora do seu namespace.
- A palavra-chave `use` traz módulos, ou as definições dentro dos módulos, ao escopo, assim é mais fácil se referir a eles.

Examinaremos cada uma dessas partes para ver como elas se encaixam no todo.

mod e o Sistema de Arquivos

Vamos iniciar o nosso exemplo de módulo fazendo um novo projeto com o Cargo, mas em vez de criar um crate binário, faremos um crate de biblioteca: um projeto que as outras pessoas podem puxar para os seus projetos como uma dependência. Por exemplo, o crate `rand` discutido no Capítulo 2, é um crate de biblioteca que usamos como uma dependência no projeto do jogo de adivinhação.

Criaremos um esqueleto de uma biblioteca que fornece algumas funcionalidades gerais de rede; nos concentraremos na organização dos módulos e funções, mas não nos preocuparemos com o código que está dentro das funções. Chamaremos nossa biblioteca de `communicator`. Por padrão, o Cargo criará uma biblioteca, a menos que outro tipo de projeto seja especificado: se omitimos a opção `--bin`, que temos usado em todos os capítulos anteriores a este, nosso projeto será um biblioteca:

```
$ cargo new communicator
$ cd communicator
```

Observe que Cargo gerou *src/lib.rs* em vez de *src/main.rs*. Dentro de *src/lib.rs* encontraremos o seguinte:

Arquivo: *src/lib.rs*

```
#[cfg(test)]
mod tests {
    #[test]
    fn it_works() {
        assert_eq!(2 + 2, 4);
    }
}
```

Cargo cria um teste de exemplo para nos ajudar a começar nossa biblioteca, em vez de o binário “Hello, world!” que recebemos quando usamos a opção `--bin`. Olharemos a sintaxe `#[]` e `mod tests` no “Usando `super` para Acessar um Módulo Pai” mais adiante neste capítulo, mas por agora, deixe este código na parte inferior de *src/lib.rs*.

Como não temos um arquivo *src/main.rs*, não há nada para ser executado pelo Cargo com o comando `cargo run`. Portanto, usaremos o comando `cargo build` para compilar o código da nossa biblioteca.

Examinaremos diferentes opções para organizar o código da sua biblioteca que serão adequados em uma variedade de situações, dependendo da intenção do código.

Definições do Módulo

Para a nossa biblioteca de rede `communicator`, primeiro definiremos um módulo chamado `network` que contém a definição de uma função chamada `connect`. Cada definição de módulo em Rust começa com a palavra-chave `mod`. Adicione este código ao início do arquivo *src/lib.rs*, acima do código de teste:

Arquivo: *src/lib.rs*

```
mod network {
    fn connect() {
    }
}
```

Após a palavra-chave `mod`, colocamos o nome do módulo, `network` e, em seguida, um bloco de código entre chaves. Tudo dentro deste bloco está dentro do namespace `network`. Neste caso, temos uma única função, `connect`. Se nós quisermos chamar essa função do

código fora do módulo `network`, nós precisaremos especificar o módulo e usar a sintaxe do namespace `::`, assim: `network::connect()` em vez de apenas `connect()`.

Também podemos ter múltiplos módulos, lado a lado, no mesmo arquivo `src/lib.rs`. Por exemplo, para ter mais um módulo `client` que possui uma função chamada `connect`, podemos adicioná-lo como mostrado na Listagem 7-1:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
mod network {  
    fn connect() {  
    }  
}  
  
mod client {  
    fn connect() {  
    }  
}
```

Listagem 7-1: O módulo `network` e o módulo `client` definidos lado a lado em `src/lib.rs`

Agora, temos uma função `network::connect` e uma função `client::connect`. Estas podem ter funcionalidades completamente diferentes, e os nomes das funções não estão em conflito entre si porque estão em módulos diferentes.

Nesse caso, como estamos construindo uma biblioteca, o arquivo que serve como ponto de entrada para construir nossa biblioteca é `src/lib.rs`. No entanto, em relação a criação de módulos, não há nada de especial sobre `src/lib.rs`. Poderíamos também criar módulos em `src/main.rs` para um crate binário da mesma forma que nós criamos módulos em `src/lib.rs` para o crate de biblioteca. Na verdade, podemos colocar módulos dentro de módulos, o que pode ser útil à medida que seus módulos crescem para manter juntas funcionalidades relacionadas e separar funcionalidades não relacionadas. A escolha de como você organiza seu código depende do que você pensa sobre a relação entre as partes do seu código. Por exemplo, o código `client` e a função `connect` podem ter mais sentido para os usuários de nossa biblioteca se eles estivessem dentro do namespace `network`, como na Listagem 7-2:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
mod network {
    fn connect() {
    }

    mod client {
        fn connect() {
        }
    }
}
```

Listagem 7-2: Movendo o módulo `client` para dentro do módulo `network`

No seu arquivo `src/lib.rs`, substitua as definições `mod network` e `mod client` pelas da Listagem 7-2, que possuem o módulo `client` como um módulo interno da `network`. Agora temos as funções `network::connect` e `network::client::connect`: novamente, as duas funções denominadas `connect` não conflitam uma com a outra porque elas estão em diferentes namespaces.

Desta forma, os módulos formam uma hierarquia. O conteúdo de `src/lib.rs` está no nível superior mais alto, e os submódulos estão em níveis mais baixos. Aqui está a nossa organização quando pensada de forma hierárquica na Listagem 7-1:

```
communicator
├── network
└── client
```

E aqui está a hierarquia correspondente ao exemplo na Listagem 7-2:

```
communicator
└── network
    └── client
```

Conforme a hierarquia mostrada na Listagem 7-2, `client` é um filho do módulo `network` em vez de um irmão. Projetos mais complicados podem ter muitos módulos, é necessário organizá-los logicamente para mantê-los sob controle. O que "logicamente" significa em seu projeto fica a seu critério, e depende do que você e os usuários da sua biblioteca pensam sobre o domínio do seu projeto. Use as técnicas mostradas aqui para criar módulos lado a lado e módulos aninhados em qualquer estrutura que você queira.

Movendo Módulos para Outros Arquivos

Os módulos formam uma estrutura hierárquica, bem parecida com outra estrutura computacional que você conhece: sistemas de arquivos! Podemos usar o sistema de

módulos do Rust juntamente com vários arquivos para dividir projetos Rust de forma que nem tudo resida em *src/lib.rs* ou *src/main.rs*. Para este exemplo, vamos começar com o código em Listagem 7-3:

Arquivo: *src/lib.rs*

```
mod client {  
    fn connect() {  
    }  
}  
  
mod network {  
    fn connect() {  
    }  
  
    mod server {  
        fn connect() {  
        }  
    }  
}
```

Listagem 7-3: Três módulos, *client*, *network*, e *network::server*, todos definidos em *src/lib.rs*

O arquivo *src/lib.rs* possui esta hierarquia de módulos:

```
communicator  
├── client  
└── network  
    └── server
```

Se esses módulos tivessem muitas funções, e elas estivessem se alongando muito, seria difícil percorrer esse arquivo para encontrar o código com que queremos trabalhar. Como as funções estão aninhadas dentro de um ou mais blocos `mod`, as linhas de código dentro das funções começarão a se alongar também. Estes seriam bons motivos para separar os módulos *client*, *network*, e *server* de *src/lib.rs* e colocá-los em seus próprios arquivos.

Primeiro, substitua o código do módulo *client* por apenas a declaração do módulo *client*, para que seu *src/lib.rs* se pareça com o código mostrado na Listagem 7-4:

Arquivo: *src/lib.rs*

```
mod client;

mod network {
    fn connect() {
    }

    mod server {
        fn connect() {
        }
    }
}
```

Listagem 7-4: Extraíndo o conteúdo do módulo `client`, mas deixando a declaração em `src/lib.rs`

Ainda estamos *declarando* o módulo `client` aqui, mas ao substituir o bloco por um ponto e vírgula, estamos dizendo ao Rust para que procure, em outro local, o código definido no escopo do módulo `client`. Em outras palavras, a linha `mod client;` significa:

```
mod client {
    // conteúdo de client.rs
}
```

Agora precisamos criar o arquivo externo com o nome do módulo. Crie um arquivo `client.rs` em `src/` e abra-o. Em seguida digite o seguinte, que é a função `connect` do módulo `client` que foi removida na etapa anterior:

Arquivo: `src/client.rs`

```
fn connect() {
}
```

Observe que não precisamos de uma declaração `mod` neste arquivo porque já fizemos a declaração do módulo `client` com `mod` em `src/lib.rs`. Este arquivo apenas fornece o *conteúdo* do módulo `client`. Se colocarmos um `mod client` aqui, nós estaríamos dando ao módulo `client` seu próprio submódulo chamado `client`!

Rust só sabe olhar em `src/lib.rs` por padrão. Se quisermos adicionar mais arquivos para o nosso projeto, precisamos dizer ao Rust em `src/lib.rs` para procurar em outros arquivos; é por isso que `mod client` precisa ser definido em `src/lib.rs` e não pode ser definido em `src/client.rs`.

Agora, o projeto deve compilar com sucesso, embora você obtenha alguns warnings (avisos). Lembre-se de usar `cargo build`, em vez de `cargo run`, porque temos um crate de

biblioteca em vez de um crate binário:

```
$ cargo build
  Compiling communicator v0.1.0 (file:///projects/communicator)
warning: function is never used: `connect`
--> src/client.rs:1:1
|
1 | / fn connect() {
2 | | }
  | |_^
  = note: #[warn(dead_code)] on by default

warning: function is never used: `connect`
--> src/lib.rs:4:5
|
4 | /     fn connect() {
5 | |     }
  | |_____^

warning: function is never used: `connect`
--> src/lib.rs:8:9
|
8 | /         fn connect() {
9 | |         }
  | |_____^
```

Esses *warnings* nos dizem que temos funções que nunca são usadas. Não se preocupe com esses *warnings* por enquanto; vamos abordá-los mais adiante neste capítulo, na seção “Controlando a visibilidade com `pub`”. A boa notícia é que eles são apenas *warnings*; nosso projeto foi construído com sucesso!

Em seguida, vamos extrair o módulo `network` em seu próprio arquivo usando o mesmo procedimento. Em `src/lib.rs`, exclua o corpo do módulo `network` e adicione um ponto e vírgula à declaração, assim:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
mod client;

mod network;
```

Em seguida, crie um novo arquivo `src/network.rs` e digite o seguinte:

Arquivo: `src/network.rs`

```
fn connect() {  
}  
  
mod server {  
    fn connect() {  
    }  
}
```

Observe que ainda temos uma declaração `mod` dentro deste arquivo de módulo; isto é porque ainda queremos que `server` seja um submódulo de `network`.

Execute `cargo build` novamente. Sucesso! Temos mais um módulo para extrair: `server`. Como ele é um submódulo - ou seja, um módulo dentro de outro - nossa tática atual de extrair um módulo para um arquivo com o nome do módulo não funcionará. Iremos tentar, de qualquer maneira, para que você possa ver o erro. Primeiro, altere o arquivo `src/network.rs` colocando `mod server;` no lugar do conteúdo do módulo `server`:

Arquivo: `src/network.rs`

```
fn connect() {  
}  
  
mod server;
```

Em seguida, crie um arquivo `src/server.rs` e insira o conteúdo do módulo `server` que extraímos:

Arquivo: `src/server.rs`

```
fn connect() {  
}
```

Quando tentamos `cargo build`, obteremos o erro mostrado na Listagem 7-5:

```

$ cargo build
  Compiling communicator v0.1.0 (file:///projects/communicator)
error: cannot declare a new module at this location
--> src/network.rs:4:5
   |
4 | mod server;
   |       ^^^^^
   |
note: maybe move this module `src/network.rs` to its own directory via `src/
network/mod.rs`
--> src/network.rs:4:5
   |
4 | mod server;
   |       ^^^^^
   |
note: ... or maybe `use` the module `server` instead of possibly redeclaring it
--> src/network.rs:4:5
   |
4 | mod server;
   |       ^^^^^

```

Listagem 7-5: Erro ao tentar extrair o submódulo `server` em `src/server.rs`

O erro diz que não podemos declarar um novo módulo neste local (`cannot declare a new module at this location`) e está apontando para a linha `mod server ;` em `src/network.rs`. Então `src/network.rs` é diferente de `src/lib.rs` de alguma forma: continue lendo para entender o porquê.

A nota no meio da Listagem 7-5 é realmente muito útil, porque ela aponta para algo de que não falamos ainda:

```

note: maybe move this module `network` to its own directory via
`network/mod.rs`

```

(Tradução: talvez mover este módulo `network` para o seu próprio diretório via `network/mod.rs`)

Em vez de continuar a seguir o mesmo padrão de nomeação de arquivo usado anteriormente, podemos fazer o que a nota sugere:

1. Crie um novo *diretório* chamado *network*, o nome do módulo pai.
2. Mova o arquivo `src/network.rs` para o novo diretório *network* e renomeie para `src/network/mod.rs`.
3. Mova o arquivo de submódulo `src/server.rs` para o diretório *network*.

Aqui estão os comandos para executar estas etapas:

```
$ mkdir src/network
$ mv src/network.rs src/network/mod.rs
$ mv src/server.rs src/network
```

Agora, quando tentamos executar `cargo build`, a compilação funcionará (embora ainda teremos avisos). O layout dos nossos módulos ainda é exatamente o mesmo de quando tínhamos todo o código em `src/lib.rs` na Listagem 7-3:

```
communicator
├── client
└── network
    └── server
```

O layout dos arquivos correspondentes agora ficou assim:

```
├── src
│   ├── client.rs
│   ├── lib.rs
│   ├── network
│   │   ├── mod.rs
│   │   └── server.rs
```

Quando queríamos extrair o módulo `network::server`, por que precisávamos também mudar o arquivo `src/network.rs` para o arquivo `src/network/mod.rs` e colocar o código de `network::server` no diretório `network` em `src/network/server.rs` em vez de apenas extrair o módulo `network::server` em `src/server.rs`? O motivo é que Rust não será capaz de reconhecer que `server` deveria ser um submódulo de `network` se o arquivo `server.rs` estiver no diretório `src`. Para esclarecer o comportamento de Rust aqui, consideremos um exemplo diferente com a seguinte hierarquia de módulos, onde todas as definições estão em `src/lib.rs`:

```
communicator
├── client
└── network
    └── client
```

Neste exemplo, temos novamente três módulos: `client`, `network`, e `network::client`. Seguindo os mesmos passos anteriores para extrair módulos em arquivos, poderíamos criar `src/client.rs` para o módulo `client`. Para o módulo `network`, poderíamos criar `src/network.rs`. Mas não seríamos capazes de extrair o módulo `network::client` para um arquivo `src/client.rs` porque ele já existe para o módulo `client` de nível superior! Se pudéssemos colocar o código para *ambos* os módulos `client` e `network::client` no arquivo `src/client.rs`, Rust não teria nenhuma maneira de saber se o código era para `client` ou para `network::client`.

Portanto, para extrair um arquivo para o submódulo `network::client` do módulo `network`, precisamos criar um diretório para o módulo `network` em vez de um arquivo `src/network.rs`. O código que está no módulo `network` entra no arquivo `src/network/mod.rs`, e o submódulo `network::client` pode ter seu próprio arquivo `src/network/client.rs`. Agora o o nível superior `src/client.rs` é inequivocamente o código que pertence ao módulo `client`.

Regras dos Módulos e Seus Arquivos

Vamos resumir as regras dos módulos em relação aos arquivos:

- Se um módulo chamado `foo` não possui submódulos, você deve colocar as declarações para `foo` em um arquivo chamado `foo.rs`.
- Se um módulo chamado `foo` possui submódulos, você deve colocar as declarações para `foo` em um arquivo chamado `foo/mod.rs`.

Essas regras se aplicam de forma recursiva, então, se um módulo chamado `foo` tiver um submódulo chamado `bar` e `bar` não possui submódulos, você deve ter os seguintes arquivos no seu diretório `src`:

```
├── foo
│   ├── bar.rs (contém as declarações em `foo::bar`)
│   └── mod.rs (contém as declarações em `foo`, incluindo `mod bar`)
```

Os módulos devem ser declarados no arquivo do módulo pai usando a palavra-chave `mod`.

Em seguida, vamos falar sobre a palavra-chave `pub` e nos livrar dessas warnings!

Controlando a Visibilidade com `pub`

Resolvemos as mensagens de erro mostradas na Listagem 7-5 movendo o código de `network` e `network::server` para os arquivos `src/network/mod.rs` e `src/network/server.rs`, respectivamente. Nesse ponto, `cargo build` era capaz de construir nosso projeto, mas ainda recebemos mensagens de *warning* sobre as funções `client::connect`, `network::connect`, e `network::server::connect` não estarem em uso:

```
warning: function is never used: `connect`
--> src/client.rs:1:1
  |
1 | / fn connect() {
2 | | }
  | | ^
  |
= note: #[warn(dead_code)] on by default
```

```
warning: function is never used: `connect`
--> src/network/mod.rs:1:1
  |
1 | / fn connect() {
2 | | }
  | | ^
```

```
warning: function is never used: `connect`
--> src/network/server.rs:1:1
  |
1 | / fn connect() {
2 | | }
  | | ^
```

Então, por que estamos recebendo esses warnings(avisos)? Afinal, estamos construindo uma biblioteca com funções que se destinam a ser usadas pelos nossos *usuários*, não necessariamente por nós dentro de nosso próprio projeto, por isso não deveria importar que essas funções `connect` não sejam utilizadas. O ponto de criá-las é que elas serão usadas por outro projeto, não o nosso.

Para entender por que esse programa invoca esses warnings(avisos), vamos tentar usar a biblioteca `connect` de outro projeto, chamando-a externamente. Para fazer isso, vamos criar um crate binário no mesmo diretório que o nosso crate de biblioteca inserindo um arquivo `src/main.rs` que contém esse código:

Arquivo: `src/main.rs`

```
extern crate communicator;

fn main() {
    communicator::client::connect();
}
```

Usamos o comando `extern crate` para trazer o crate de biblioteca `communicator` para o escopo. Nosso pacote agora contém *duas* crates. Cargo trata `src/main.rs` como um arquivo raiz de um crate binário, que é separado do crate de biblioteca existente cujo arquivo raiz é `src/lib.rs`. Esse padrão é bastante comum para projetos executáveis: a maioria das funcionalidades está em um crate de biblioteca e o crate binário usa esse crate de

Do ponto de vista de um crate fora da biblioteca `communicator` todos os módulos que criamos estão dentro de um módulo que tem o mesmo nome como do crate, `communicator`. Chamamos o módulo de nível superior de um crate de *módulo raiz*.

Agora, nosso crate binário apenas chama a função `connect` da nossa biblioteca do módulo `client`. No entanto, invocar agora `cargo build` nos dará um erro após os *warnings*:

Ah ha! Este erro nos diz que o módulo `client` é privado, que é o cerne das advertências. É também a primeira vez em que nos encontramos com os conceitos de *público* e *privado* no contexto do Rust. O estado padrão de todos os códigos em Rust é privado: ninguém mais tem permissão para usar o código. Se você não usar uma função privada dentro do seu programa, como ele é o único código permitido a usar essa função, Rust irá avisá-lo de que a função não foi utilizada.

Depois de especificar que uma função como `client::connect` é pública, não só será permitida a nossa chamada para essa função a partir de nosso crate binário, mas o warning(avisos) de que a função não é utilizada irá desaparecer. Marcar uma função como pública permite ao Rust saber que a função será usada por código fora do nosso programa. Rust considera que agora é possível que a função esteja "sendo usada". Assim, quando uma função é marcada como pública, Rust não exige que seja usada em nosso programa e deixará de avisar que a função não é utilizada.

Para dizer ao Rust que torne pública uma função, adicionamos a palavra-chave `pub` ao início da declaração. Nos focaremos em corrigir o *warning* que indica `client::connect` não foi utilizado por enquanto, assim como o erro `module `client` is private (módulo `client` é privado)` do nosso crate binário. Modifique `src/lib.rs` para tornar o módulo

Arquivo: src/lib.rs

A palavra-chave `pub` é colocada logo antes do `mod`. Vamos tentar fazer o build novamente:

Opá! Temos um erro diferente! Sim, mensagens diferentes de erro são motivo para comemorar. O novo erro mostra que a função `connect` é privada (`function connect is private`), então vamos editar `src/client.rs` para torná-la pública também:

Agora execute `cargo build` novamente:

Os avisos de código não utilizados nem sempre indicam que um item no seu código precisa

se tornar público: se você *não* quiser que essas funções façam parte de sua API pública, *warnings* de código não utilizado podem alertá-lo de que esses códigos não são mais necessários, e que podem ser excluídos com segurança. Eles também podem estar alertando você para um bug, caso você tivesse apenas acidentalmente removido todos os lugares dentro da sua biblioteca onde esta função é chamada.

Mas neste caso, nós *queremos* que as outras duas funções façam parte da nossa API pública do crate, então vamos marcá-las como `pub` também para nos livrar dos *warnings* remanescentes. Modifique `src/network/mod.rs` dessa forma:

Arquivo: `src/network/mod.rs`

```
pub fn connect() {
}

mod server;
```

Em seguida, compile o código:

```
warning: function is never used: `connect`
--> src/network/mod.rs:1:1
  |
1 | / pub fn connect() {
2 | | }
  | | ^
  |
  = note: #[warn(dead_code)] on by default

warning: function is never used: `connect`
--> src/network/server.rs:1:1
  |
1 | / fn connect() {
2 | | }
  | | ^
```

Hmmm, ainda estamos recebendo um *warning* de função não utilizada, embora `network::connect` esteja marcada como `pub`. A razão é que a função é pública dentro do módulo, mas o módulo `network` na qual a função reside não é público. Estamos trabalhando a partir do interior da biblioteca desta vez, enquanto que com `client::connect` trabalhamos de fora. Precisamos mudar `src/lib.rs` para tornar `network` pública também, assim:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub mod client;

pub mod network;
```

Agora, quando compilamos, esse aviso desapareceu:

```
warning: function is never used: `connect`
--> src/network/server.rs:1:1
   |
1  | / fn connect() {
2  | | }
   | |_^
   |
   = note: #[warn(dead_code)] on by default
```

Apenas um warning(aviso) permanece. Tente consertar isso por conta própria!

Regras de Privacidade

No geral, estas são as regras para a visibilidade do item:

1. Se um item for público, ele pode ser acessado através de qualquer um dos seus módulos pais.
2. Se um item é privado, ele só pode ser acessado por seu módulo pai imediato e qualquer um dos módulos filhos do pai.

Exemplos de Privacidade

Vejamos mais alguns exemplos de privacidade para obter alguma prática. Crie um novo projeto de biblioteca e digite o código da Listagem 7-6 no arquivo *src/lib.rs* desse novo projeto:

Arquivo: *src/lib.rs*

```

mod outermost {
    pub fn middle_function() {}

    fn middle_secret_function() {}

    mod inside {
        pub fn inner_function() {}

        fn secret_function() {}
    }
}

fn try_me() {
    outermost::middle_function();
    outermost::middle_secret_function();
    outermost::inside::inner_function();
    outermost::inside::secret_function();
}

```

Lista 7-6: Exemplos de funções públicas e privadas, alguns dos quais estão incorretos

Antes de tentar compilar este código, tente um palpite sobre quais linhas na função `try_me` terá erros. Em seguida, tente compilar o código para ver se você estava certo e leia sobre a discussão dos erros!

Olhando para os Erros

A função `try_me` está no módulo raiz do nosso projeto. O módulo chamado `outermost` é privado, mas a segunda regra de privacidade afirma que a função `try_me` pode acessar o módulo `outermost` porque `outermost` está no módulo atual (raiz), bem como `try_me`.

A chamada para `outermost::middle_function` funcionará porque `middle_function` é pública e `try_me` está acessando `middle_function` através do seu módulo pai `outermost`. Determinamos no parágrafo anterior que este módulo é acessível.

A chamada para `outermost::middle_secret_function` causará um erro de compilação. `middle_secret_function` é privado, então a segunda regra se aplica. O módulo raiz não é nem o módulo atual de `middle_secret_function` (que seria o `outermost`), nem um módulo filho do módulo atual de `middle_secret_function`.

O módulo denominado `inside` é privado e não tem módulos filhos, portanto, ele só pode ser acessado pelo seu módulo atual `outermost`. Isso significa que a função `try_me` não tem permissão de chamar `outermost::inside::inner_function` ou `outermost::inside::secret_function`.

Reparando os Erros

Aqui estão algumas sugestões para alterar o código na tentativa de corrigir os erros. Antes de tentar cada uma, tente adivinhar se ela irá consertar os erros e, em seguida, compile o código para ver se você está certo ou não, usando as regras de privacidade para entender o porquê.

- E se o módulo `inside` fosse público?
- E se `outermost` fosse público e `inside` fosse privado?
- E se, no corpo de `inner_function`, você chamasse o `::outermost::middle_secret_function()` ? (Os dois pontos no início significam que queremos consultar os módulos a partir do módulo raiz.)

Sinta-se livre para projetar mais experimentos que lhe vierem à mente!

Em seguida, vamos falar sobre trazer itens ao escopo com a palavra-chave `use`.

Referindo-se a Nomes em Módulos Diferentes

Vimos como chamar funções definidas dentro de um módulo usando o nome do módulo como parte da chamada, como na chamada para a função `nested_modules` mostrada aqui na Listagem 7-7:

Arquivo: `src/main.rs`

```
pub mod a {
    pub mod series {
        pub mod of {
            pub fn nested_modules() {}
        }
    }
}

fn main() {
    a::series::of::nested_modules();
}
```

Listagem 7-7: Chamando uma função especificando completamente o caminho do módulo que a cerca

Como você pode ver, referir-se ao nome totalmente qualificado pode ficar bastante longo. Felizmente, Rust tem uma palavra-chave para tornar estas chamadas mais concisas.

Trazendo Nomes no Escopo com a Palavra-Chave `use`

A palavra-chave `use` de Rust encurta as chamadas de função longas, trazendo os módulos e a função que deseja chamar para o escopo. Aqui está um exemplo de como trazer o módulo `a::series::of` para dentro do escopo raiz de um crate binário:

Arquivo: `src/main.rs`

```
pub mod a {
    pub mod series {
        pub mod of {
            pub fn nested_modules() {}
        }
    }
}

use a::series::of;

fn main() {
    of::nested_modules();
}
```

A linha `use a::series::of;` significa que, em vez de usar todo o caminho `a::series::of` sempre que quisermos nos referir ao módulo `of`, podemos usar `of`.

A palavra-chave `use` traz apenas o que especificamos no escopo: ela não leva os filhos dos módulos ao escopo. É por isso que ainda temos que usar `of::nested_modules` quando queremos chamar a função `nested_modules`.

Poderíamos ter escolhido trazer a função para o escopo, em vez de especificar a função no `use` da seguinte forma:

```
pub mod a {
    pub mod series {
        pub mod of {
            pub fn nested_modules() {}
        }
    }
}

use a::series::of::nested_modules;

fn main() {
    nested_modules();
}
```

Isso nos permite excluir todos os módulos e fazer referência à função diretamente.

Como as enums também formam uma espécie de *namespace*, assim como os módulos, podemos trazer as variantes de uma enum para o escopo com `use` também. Para qualquer tipo de declaração de `use` se você estiver trazendo vários itens de um *namespace* para o escopo, você pode listá-los usando chaves e vírgulas na última posição, assim:

```
enum TrafficLight {
    Red,
    Yellow,
    Green,
}

use TrafficLight::{Red, Yellow};

fn main() {
    let red = Red;
    let yellow = Yellow;
    let green = TrafficLight::Green;
}
```

Nós ainda estamos especificando o *namespace* `TrafficLight` para a variante `Green` porque não incluímos `Green` na declaração `use`.

Trazendo Todos os Nomes para o Escopo com um Glob

Para trazer todos os itens de um *namespace* para o escopo ao mesmo tempo, podemos usar a sintaxe `*`, que é chamada de *operador glob*. Este exemplo traz todas as variantes de uma enum ao escopo sem ter que listar cada uma especificamente:

```
enum TrafficLight {
    Red,
    Yellow,
    Green,
}

use TrafficLight::*;

fn main() {
    let red = Red;
    let yellow = Yellow;
    let green = Green;
}
```

O `*` trará para o escopo todos os itens visíveis no *namespace* `TrafficLight`. Você deve usar globs com moderação: eles são convenientes, mas isso pode também trazer mais itens do que se esperava e causar conflitos de nomeação.

Usando `super` para Acessar um Módulo Pai

Como vimos no início deste capítulo, quando você cria um crate de biblioteca, o Cargo faz um módulo `tests` para você. Vamos ver isso em mais detalhes agora. No seu projeto `communicator`, abra `src/lib.rs`:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub mod client;

pub mod network;

#[cfg(test)]
mod tests {
    #[test]
    fn it_works() {
        assert_eq!(2 + 2, 4);
    }
}
```

O Capítulo 11 explica mais sobre testes, mas algumas partes deste exemplo devem fazer sentido agora: temos um módulo chamado `tests` que se situa ao lado de nossos outros módulos e contém uma função chamada `it_works`. Embora existam anotações especiais, o módulo `tests` é apenas outro módulo! Então nossa hierarquia de módulos se parece com isso:

```
communicator
├── client
├── network
│   └── client
└── tests
```

Os testes servem para exercitar o código dentro da nossa biblioteca, então vamos tentar chamar nossa função `client::connect` a partir da função `it_works`, mesmo que não verifiquemos nenhuma funcionalidade agora. Isso ainda não funcionará:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
#[cfg(test)]
mod tests {
    #[test]
    fn it_works() {
        client::connect();
    }
}
```

Execute os testes invocando o comando `cargo test`:

```
$ cargo test
  Compiling communicator v0.1.0 (file:///projects/communicator)
error[E0433]: failed to resolve. Use of undeclared type or module `client`
--> src/lib.rs:9:9
   |
 9 |         client::connect();
   |         ^^^^^^^ Use of undeclared type or module `client`
```

A compilação falhou, mas por quê? Não precisamos colocar `communicator ::` em frente da função como fizemos em `src/main.rs` porque estamos definitivamente dentro do crate da biblioteca `communicator` aqui. A razão é que os caminhos são sempre relativos ao módulo atual, que aqui é `tests`. A única exceção está em uma instrução `use`, onde os caminhos são relativos à crate raiz por padrão. Nosso módulo `tests` precisa do módulo `client` no seu escopo!

Então, como podemos retroceder um módulo na hierarquia para chamar a função `client::connect` no módulo `tests`? No módulo `tests`, temos a opção de usar `::` na frente para indicar ao Rust que queremos começar a partir da raiz e listar todo o caminho, assim:

```
::client::connect();
```

Ou, podemos usar `super` para voltar um módulo na hierarquia a partir de nosso módulo atual, assim:

```
super::client::connect();
```

Essas duas opções não parecem tão diferentes neste exemplo, mas se você estiver mais fundo em uma hierarquia de módulos, começar sempre a partir da raiz tornaria seu código muito longo. Nesses casos, usar `super` para ir do módulo atual aos módulos irmãos é um bom atalho. Além disso, se você especificou o caminho a partir da raiz em muitos lugares do seu código e depois vai reorganizar seus módulos movendo uma sub-árvore para outro lugar, você acabaria precisando atualizar o caminho em vários lugares, o que seria tedioso.

Também seria chato ter que digitar `super ::` em cada teste, mas você já viu a ferramenta para essa solução: `use !` A funcionalidade `super ::` altera o caminho que você dá para `use`, tornando-o relativo ao módulo pai em vez do módulo raiz.

Por estas razões, especialmente no módulo `tests`, `use super::alguma_coisa` é geralmente a melhor solução. Então, agora nosso teste ficou assim:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::client;

    #[test]
    fn it_works() {
        client::connect();
    }
}
```

Quando executarmos novamente `cargo test`, o teste passará e a primeira parte do resultado do teste será o seguinte:

```
$ cargo test
  Compiling communicator v0.1.0 (file:///projects/communicator)
  Running target/debug/communicator-92007ddb5330fa5a

running 1 test
test tests::it_works ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out
```

Resumo

Agora você conhece algumas técnicas novas para organizar o seu código! Use estas técnicas para agrupar as funcionalidades relacionadas, evitar que os arquivos tornem-se muito longos, e apresentar uma API pública arrumada para os usuários da sua biblioteca.

Em seguida, analisaremos algumas estruturas de dados de coleções na biblioteca padrão que você pode usar em seu código limpo e elegante!

Coleções Comuns

A biblioteca padrão do Rust inclui uma série de estruturas de dados chamadas *coleções*. A maioria dos tipos de dados representa um valor específico, mas coleções podem conter múltiplos valores. Diferente dos tipos embutidos `array` e `tupla`, os dados que essas coleções apontam estão guardados na heap, que significa que a quantidade de dados não precisa ser conhecida em tempo de compilação e pode aumentar ou diminuir conforme a execução do programa. Cada tipo de coleção possui capacidades diferentes e custos, e escolher o apropriada para cada tipo de situação em que se encontra é uma habilidade que com o tempo você irá adquirir. Nesse capítulo, veremos três coleções que são usadas

frequentemente em programas Rust:

- Um *vetor* possibilita guardar um número variável de valores um ao lado do outro.
- Uma *string* é uma sequência de caracteres. Já vimos o tipo `String` anteriormente, mas falaremos sobre ele em profundidade agora.
- Um *hash map* permite associar um valor a uma chave em particular. É uma implementação particular da estrutura de dados mais geral chamada de *map*.

Para aprender mais sobre outros tipos de coleções fornecidas pela biblioteca padrão, veja [a documentação](#).

Nós iremos discutir como criar e atualizar vetores, strings, e hash maps, bem como o que os tornam especiais.

Vetores

O primeiro tipo que iremos ver é `Vec<T>`, também conhecido como *vetor*. Vetores permitem guardar mais de um valor na mesma estrutura de dados que coloca todos os valores um ao lado do outro na memória. Vetores só podem guardar valores do mesmo tipo. Eles são úteis em situações onde há uma lista de itens, como as linha de texto em um arquivo ou preços de itens em um carrinho de compras.

Criando um Novo Vetor

Para criar um novo vetor, vazio, chamamos a função `Vec::new`:

```
let v: Vec<i32> = Vec::new();
```

Note que adicionamos uma anotação de tipo aqui. Como não estamos inserindo nenhum valor no vetor, Rust não sabe o tipo de elementos que irá guardar. Isto é um ponto importante. Vetores são homogêneos: eles podem guardar muitos valores, mas todos esses valores devem ser do mesmo tipo. Vetores são implementados usando genéricos, onde o capítulo 10 irá cobrir como usar em seus tipos. Por agora, tudo o que precisa saber é que o tipo `Vec` fornecido pela biblioteca padrão pode conter qualquer tipo, e quando um `Vec` específico possui um tipo específico, o tipo vai dentro de `< >`. Falamos para Rust que `Vec` em `v` guardará elementos do tipo `i32`.

No código real, a Rust pode inferir o tipo de valor que queremos armazenar uma vez que

inserimos valores, então você raramente precisa fazer essa anotação de tipo. É mais comum criar um `Vec` que possui valores iniciais, e o Rust fornece a macro `vec!` por conveniência. A macro criará um novo `Vec` que contém os valores que damos. Isso criará um novo `Vec` `<i32>` que contém os valores `1`, `2` e `3`:

```
let v = vec![1, 2, 3];
```

Como nós damos valores iniciais `i32`, Rust pode inferir que o tipo de `v` é `Vec` `<i32>`, e a anotação de tipo não é necessária. Vejamos a seguir como modificar um vetor.

Modificando um Vetor

Para criar um vetor e adicionar elementos a ele, podemos usar o método `push`:

```
let mut v = Vec::new();  
  
v.push(5);  
v.push(6);  
v.push(7);  
v.push(8);
```

Como qualquer variável que discutimos no Capítulo 3, se quisermos poder alterar seu valor, precisamos fazê-lo mutável com a palavra-chave `mut`. Os números que inserimos são todos do tipo `i32`, e Rust infere isso dos dados, por isso não precisamos da anotação `Vec` `<i32>`.

Descartar um Vetor Descarta seus Elementos

Como qualquer outro `struct`, um vetor será liberado quando ele sair do escopo:

```
{  
    let v = vec![1, 2, 3, 4];  
  
    // use as informações em v  
  
} // <- v sai do escopo e é liberado aqui
```

Quando o vetor é descartado, todos os seus conteúdos também será descartado, o que significa esses inteiros que ele contém serão limpos. Isso pode parecer um ponto direto, mas pode ficar um pouco mais complicado quando começamos a introduzir referências aos

elementos do vetor. Vamos abordar isso em seguida!

Lendo Elementos do Vetor

Agora que você sabe como criar, atualizar e destruir vetores, saber ler o seu conteúdo é um bom passo seguinte. Existem duas maneiras de fazer referência a valores armazenados em um vetor. Nos exemplos, anotamos os tipos de valores que são retornados dessas funções para maior clareza.

Este exemplo mostra os dois métodos de acesso a um valor em um vetor com sintaxe de indexação ou o método `get`:

```
let v = vec![1, 2, 3, 4, 5];

let third: &i32 = &v[2];
let third: Option<&i32> = v.get(2);
```

Há algumas coisas a serem observadas aqui. Primeiro, que usamos o valor do índice de 2 para obter o terceiro elemento: os vetores são indexados por número, começando em zero. Em segundo lugar, as duas maneiras diferentes de obter o terceiro elemento são: usando `&` e `[]`, que nos dá uma referência, ou usando o método `get` com o índice passado como um argumento, o que nos dá uma `Option<&T>`.

A razão pela qual Rust tem duas maneiras de fazer referência a um elemento é para que você possa escolher como o programa se comporta quando você tenta usar um valor de índice para o qual o vetor não tem um elemento correspondente. Por exemplo, o que um programa deve fazer se tiver um vetor que contém cinco elementos, então tenta acessar um elemento no índice 100 dessa maneira:

```
let v = vec![1, 2, 3, 4, 5];

let does_not_exist = &v[100];
let does_not_exist = v.get(100);
```

Quando você executar isso, você verá que com o primeiro método `[]`, Rust irá causar um `panic!` quando um elemento inexistente é referenciado. Este método seria preferível se você quisesse que seu programa considere uma tentativa de acessar um elemento, passado o fim do vetor, para ser um erro fatal que deve finalizar o programa.

Quando é passado um índice que está fora da matriz para o método `get`, ele retorna `None` sem entrar em pânico. Você usaria isso se acessar um elemento além do alcance do vetor

ocorrerá ocasionalmente sob circunstâncias normais. Seu código pode então ter lógica para lidar tanto com `Some(&element)` ou `None`, como discutimos no Capítulo 6. Por exemplo, o índice pode ser proveniente de uma pessoa que digite um número. Se eles acidentalmente insira um número que é muito grande e seu programa recebe um valor `None`, você poderia dizer ao usuário quantos itens estão no atual `Vec` e dar uma nova chance de inserir um valor válido. Isso seria mais amigável do que quebrar o programa por um erro de digitação!

Referências Inválidas

Uma vez que o programa tenha uma referência válida, o verificador de empréstimo (borrow checker) faz valer as regras de propriedade e empréstimo abrangidas no Capítulo 4 para garantir que essa referência e quaisquer outras referências aos conteúdos do vetor permaneçam válidas. Lembre-se da regra que diz que não podemos ter referências mutáveis e imutáveis no mesmo escopo. Essa regra se aplica neste exemplo, onde mantemos uma referência imutável ao primeiro elemento em um vetor e tentamos adicionar um elemento ao final:

```
let mut v = vec![1, 2, 3, 4, 5];

let first = &v[0];

v.push(6);
```

Compilar isso nos dará esse erro:

```
error[E0502]: cannot borrow `v` as mutable because it is also borrowed as
immutable
  |
4 | let first = &v[0];
  |             - immutable borrow occurs here
5 |
6 | v.push(6);
  | ^ mutable borrow occurs here
7 | }
  | - immutable borrow ends here
```

Este código pode parecer que deveria funcionar: por que uma referência ao primeiro elemento deveria se preocupar com o que muda sobre o final do vetor? A razão porque este código não é permitido é devido à forma como os vetores funcionam. Adicionando um novo elemento no final do vetor pode exigir a atribuição de nova alocação de memória e copiar os elementos antigos para o novo espaço, na circunstância de não haver espaço suficiente para colocar todos os elementos próximos um do outro onde o vetor estava. Nesse caso, a referência ao primeiro elemento apontaria para memória não alocada. As regras de empréstimo impedem que os programas acabem nessa situação.

Nota: para mais informações, veja o Rustonomicon em <https://doc.rust-lang.org/stable/nomicon/vec.html>.

Usando um Enum para Armazenar Vários Tipos

No início deste capítulo, dissemos que os vetores só podem armazenar valores que são todos do mesmo tipo. Isso pode ser inconveniente; definitivamente há casos de uso para a necessidade de armazenar uma lista de coisas de diferentes tipos. Felizmente, as variantes de um enum são todas definidas sob o mesmo tipo de enum, então, quando precisamos armazenar elementos de um tipo diferente em um vetor, podemos definir e usar um enum!

Por exemplo, digamos que queremos obter valores de uma linha em uma planilha, onde algumas das colunas da linha contêm números inteiros, alguns números de ponto flutuante, e algumas strings. Podemos definir um enum cujas variantes guardarão os diferentes tipos de valor, e então todas as variantes de enum serão consideradas do mesmo tipo, o do enum. Então, podemos criar um vetor que contenha esse enum e então, em última instância, possui diferentes tipos:

```
enum SpreadsheetCell {  
    Int(i32),  
    Float(f64),  
    Text(String),  
}  
  
let row = vec![  
    SpreadsheetCell::Int(3),  
    SpreadsheetCell::Text(String::from("blue")),  
    SpreadsheetCell::Float(10.12),  
];
```

Listagem 8-1: Definindo um enum para poder guardar diferentes tipos de dados em um vetor

A razão pela qual Rust precisa saber exatamente quais tipos estarão no vetor em tempo de compilação é para que ele saiba exatamente a quantidade de memória no heap que será necessária para armazenar cada elemento. Uma vantagem secundária para isso é que podemos ser explícitos sobre quais tipos são permitidos neste vetor. Se Rust permitisse um vetor guardar qualquer tipo, haveria uma chance de que um ou mais dos tipos causar erros com as operações realizadas nos elementos do vetor. Usando um enum mais um `match` significa que a Rust garantirá no tempo de compilação que nós sempre lidaremos com todos os casos possíveis, como discutimos no Capítulo 6.

Se você não sabe no momento em que você está escrevendo um programa, o conjunto exaustivo dos tipos que o programa irá precisar no tempo de execução para armazenar em um vetor, a técnica de usar o `enum` não funcionará. Em vez disso, você pode usar um objeto `trait`, que abordaremos no Capítulo 17.

Agora que examinamos algumas das maneiras mais comuns de usar vetores, certifique-se para dar uma olhada na documentação da API para todos os muitos métodos úteis definidos no `Vec` pela biblioteca padrão. Por exemplo, além de `push` existe um método `pop` que irá remover e retornar o último elemento. Vamos mover para o próximo tipo de coleção: `String`!

Strings

Nós já conversamos sobre as strings no capítulo 4, mas vamos dar uma olhada mais em profundidade agora. As strings são uma área que os novos Rustáceos geralmente tem maior dificuldade. Isto é devido a uma combinação de três coisas: a propensão de Rust de certificar-se de expor possíveis erros, as strings são estruturas de dados mais complicadas que muitos programadores lhes dão crédito, e UTF-8. Essas coisas combina de tal forma que parecem difícil quando se vem de outras linguagens.

A razão pela qual as strings estão no capítulo de coleções é que as strings são implementadas como uma coleção de bytes mais alguns métodos para fornecer informações úteis e funcionalidade quando esses bytes são interpretados como texto. Nesta seção, iremos falar sobre as operações em `String` que todo tipo de coleção tem, como criar, atualizar e ler. Também discutiremos as formas em que `String` é diferente das outras coleções, a saber, como a indexação em um `String` é complicada pelas diferenças entre como as pessoas e os computadores interpretam dados `String`.

O que é String?

Antes de podermos explorar esses aspectos, precisamos falar sobre o que exatamente significa o termo *string*. Rust realmente só tem um tipo de string no núcleo da própria linguagem: `str`, a fatia de string, que geralmente é vista na forma emprestada `&str`. Nós falamos sobre *fatias de strings* no Capítulo 4: estas são uma referência a alguns dados de string codificados em UTF-8 armazenados em outro lugar. Literais de strings, por exemplo, são armazenados na saída binária do programa e, portanto, são fatias de string.

O tipo chamado `String` é fornecido na biblioteca padrão do Rust, em vez de codificado no

núcleo da linguagem, e é um extensível, mutável, `owned`, tipo `string` codificado UTF-8. Quando Rustáceos falam sobre “strings” em Rust, geralmente significa tanto os tipos `String` quanto os tipos de `string` `&str`, normalmente ambos. Esta seção, é em grande parte sobre `String`, mas ambos esses tipos são usados em grande parte na biblioteca padrão da Rust. Tanto o `String` como as fatias de `string` são codificadas em UTF-8.

A biblioteca padrão do Rust também inclui uma série de outros tipos de `string`, como `OsString`, `OsStr`, `CString` e `CStr`. Bibliotecas crates podem fornecer mais opções para armazenar dados de `string`. Semelhante ao nome `*String` / `*Str`, elas geralmente fornecem uma variante `owned` e `borrowed`, assim como `String` / `&str`. Esses tipos de `string` podem armazenar diferentes codificações ou ser representados na memória de maneira diferente, por exemplo. Nós não estaremos falando sobre esse outro tipo de `string` neste capítulo; veja a documentação da API para obter mais informações sobre como usá-los e quando cada um é apropriado.

Criando uma Nova String

Muitas das mesmas operações disponíveis com `Vec` também estão disponíveis em `String`, começando com a função `new` para criar uma `string`, assim:

```
let mut s = String::new();
```

Isso cria uma nova `string` vazia chamada `s` na qual podemos carregar dados.

Muitas vezes, teremos alguns dados iniciais que gostaríamos de já colocar na `string`. Para isso, usamos o método `to_string`, que está disponível em qualquer tipo que implementa a `trait Display`, como as `strings` literais:

```
let data = "initial contents";

let s = data.to_string();

// o método também funciona em literais diretamente
let s = "initial contents".to_string();
```

Isso cria uma `string` contendo `initial contents`.

Também podemos usar a função `String::from` para criar uma `String` de uma `string` literal. Isso equivale a usar `to_string`:

```
let s = String::from("initial contents");
```

Como as strings são usadas para tantas coisas, existem várias APIs genéricas diferentes que podem ser usadas para strings, então há muitas opções. Algumas delas podem parecer redundantes, mas todas têm seu lugar! Nesse caso, `String::from` e `.to_string` acabam fazendo exatamente o mesmo, então a que você escolher é uma questão de estilo.

Lembre-se de que as string são codificadas em UTF-8, para que possamos incluir qualquer dados apropriadamente codificados neles:

```
let hello = "السلام عليكم";
let hello = "Dobry den";
let hello = "Hello";
let hello = "дiзi";
let hello = "नमस्ते";
let hello = "こんにちは";
let hello = "안녕하세요";
let hello = "你好";
let hello = "Olá";
let hello = "Здравствуйтe";
let hello = "Hola";
```

Atualizando uma String

Uma `String` pode crescer em tamanho e seu conteúdo pode mudar assim como o conteúdo de um `Vec`, empurrando mais dados para ela. Além disso, `String` tem operações de concatenação implementadas com o operador `+` por conveniência.

Anexando a uma String com Push

Podemos criar uma `String` usando o método `push_str` para adicionar uma sequência de caracteres:

```
let mut s = String::from("foo");
s.push_str("bar");
```

`s` conterá “foobar” após essas duas linhas. O método `push_str` leva um fatia de string porque não necessariamente queremos ownership do parâmetro. Por exemplo, seria lamentável se não pudéssemos usar `s2` depois de atualizar o seu conteúdo a `s1`:

```
let mut s1 = String::from("foo");  
let s2 = String::from("bar");  
s1.push_str(&s2);
```

O método `push` é definido para ter um único caractere como parâmetro e adicionar à `String`:

```
let mut s = String::from("lo");  
s.push('l');
```

Após isso, `s` irá conter `"lol"`.

Concatenação com o Operador `+` ou a macro `format!`

Muitas vezes, queremos combinar duas strings existentes. Uma maneira é usar o operador `+` dessa forma:

```
let s1 = String::from("Hello, ");  
let s2 = String::from("world!");  
let s3 = s1 + &s2; // Note que s1 foi movido aqui e não pode ser mais usado
```

Após este código, a `String` `s3` conterá `Hello, world!`. O motivo que `s1` não é mais válido após a adição é o motivo que usamos uma referência a `s2` tem a ver com a assinatura do método que é chamado quando usamos o operador `+`. O operador `+` usa o método `add`, cuja assinatura parece algo assim:

```
fn add(self, s: &str) -> String {
```

Esta não é a assinatura exata que está na biblioteca padrão; lá o `add` é definido usando genéricos. Aqui, estamos olhando a assinatura do `add` com tipos de concreto substituídos pelos genéricos, o que acontece quando nós chamamos esse método com valores `String`. Vamos discutir genéricos no Capítulo 10. Esta assinatura nos dá as pistas que precisamos para entender o complicado operador `+`.

Antes de tudo, `s2` tem um `&`, o que significa que estamos adicionando uma *referência* da segunda string para a primeira string. Isso é devido ao parâmetro `s` na função `add`: só podemos adicionar um `&str` à `String`, não podemos adicionar dois valores `String` juntos. Mas espere - o tipo de `&s2` é `&String`, não `&str`, conforme especificado no segundo parâmetro para `add`. Por que nosso exemplo compila? Podemos usar `&s2` na

chamada para `add` porque um `&String` o argumento pode ser *coerced* em um `&str` - quando a função `add` é chamada, Rust usa algo chamado de *deref coercion*, o que você poderia pensar aqui como virando `&s2` para `&s2[..]` para uso na função `add`. Vamos discutir *deref coercion* em maior profundidade no Capítulo 15. Como o `add` não se apropria o parâmetro `s2` ainda será uma `String` válida após essa operação.

Em segundo lugar, podemos ver na assinatura que `add` toma posse de `self`, porque `self` não tem `&`. Isso significa `s1` no exemplo acima será transferido para a chamada `add` e não será mais válido depois disso. Por enquanto `let s3 = s1 + &s2;` parece que irá copiar ambas as strings e criar uma nova, esta declaração realmente adere a `s1`, acrescenta uma cópia do conteúdo de `s2`, então retorna ownership do resultado. Em outras palavras, parece estar fazendo muitas cópias, mas não é: a implementação é mais eficiente do que copiar.

Se precisarmos concatenar várias strings, o comportamento de `+` fica complicado:

```
let s1 = String::from("tic");
let s2 = String::from("tac");
let s3 = String::from("toe");

let s = s1 + "-" + &s2 + "-" + &s3;
```

`s` será "tic-tac-toe" neste momento. Com todos os `+` e `"`, fica difícil ver o que está acontecendo. Para strings mais complicadas, podemos usar o macro `format!`:

```
let s1 = String::from("tic");
let s2 = String::from("tac");
let s3 = String::from("toe");

let s = format!("{}", s1, s2, s3);
```

Este código também definirá `s` para "tic-tac-toe". A macro `format!` funciona do mesmo modo que `println!`, mas em vez de imprimir a saída para a tela, ela retorna uma `String` com o conteúdo. Esta versão é muito mais fácil de ler, e também não incide ownership em nenhum dos seus parâmetros.

Indexação em Strings

Em muitas outras linguagens, acessar caracteres individuais em uma string por referenciando por índice é uma operação válida e comum. Em Rust, no entanto, se nós

tentamos acessar partes de uma `String` usando sintaxe de indexação, vamos ter um erro. Ou seja, este código:

```
let s1 = String::from("hello");
let h = s1[0];
```

resultará neste erro:

```
error: the trait bound `std::string::String: std::ops::Index<_>` is not
satisfied [--explain E0277]
  |>
  |>     let h = s1[0];
  |>           ^^^^^^
note: the type `std::string::String` cannot be indexed by `_`
```

O erro e a nota contam a história: as strings em Rust não suportam a indexação. Assim a próxima pergunta é, por que não? Para responder a isso, temos que conversar um pouco sobre como o Rust armazena strings na memória.

Representação Interna

Uma `String` é um invólucro sobre um `Vec <u8>`. Vejamos alguns dos nossos exemplos UTF-8, codificadas corretamente, de strings vistas anteriormente. Primeiro, este:

```
let len = String::from("Hola").len();
```

Neste caso, `len` terá valor de quatro, o que significa que o `Vec` armazena a string "Hola" tem quatro bytes de comprimento: cada uma dessas letras leva um byte quando codificado em UTF-8. E o que acontece para esse exemplo?

```
let len = String::from("Здравствуйте").len();
```

Uma pessoa que pergunte pelo comprimento da string pode dizer que ela deva ter 12. No entanto, a resposta de Rust é 24. Este é o número de bytes que é necessário para codificar "Здравствуйте" em UTF-8, uma vez que cada valor escalar Unicode leva dois bytes de armazenamento. Assim sendo, um índice nos bytes da string nem sempre se correlaciona com um valor escalar Unicode válido.

Para demonstrar, considere este código inválido do Rust:

```
let hello = "Здравствуйте";
let answer = &hello[0];
```


Qual deve ser o valor da `answer` ? Seria `3` , a primeira letra? Quando codificado em UTF-8, o primeiro byte de `3` é `208` , e o segundo é `151` , então a `answer` deve, na verdade, ser `208` , mas `208` não é um caractere válido em si. Retornar `208` provavelmente não é o que uma pessoa gostaria se eles pedissem a primeira letra desta string, mas esse é o único dado que Rust tem no byte de índice `0`. O retorno do valor do byte provavelmente não é o que as pessoas querem, mesmo com caracteres contendo acentuação: `&"hello"[0]` retornaria `104` , não `h` . Para evitar o retornando um valor inesperado e causando erros que podem não ser descobertos imediatamente, Rust escolhe não compilar este código e previne mal-entendidos anteriormente.

Bytes e Valores Escalares e Clusters de Grafemas! Nossa!

Isso leva a outro ponto sobre UTF-8: existem realmente três maneiras relevantes de olhar para as strings, da perspectiva do Rust: como bytes, valores escalares e clusters de grafemas (a coisa mais próxima do que as pessoas chamariam *letras*).

Se olharmos para a palavra Hindi “नमस्ते” escrita na escrita Devanagari, é em última instância, armazenada como um `Vec` de valores `u8` que se parece com isto:

```
[224, 164, 168, 224, 164, 174, 224, 164, 184, 224, 165, 141, 224, 164, 164, 224, 165, 135]
```

Isso é 18 bytes, e é como os computadores de fato armazenam esses dados. Se olharmos para eles como valores escalares Unicode, que são o tipo `char` de Rust, aqueles bytes se parecem com isto:

```
['न', 'म', 'स्', 'े', 'त', 'े']
```

Existem seis valores `char` aqui, mas o quarto e o sexto não são letras, Eles são diacríticos que não fazem sentido por conta própria. Finalmente, se olharmos para eles como clusters de grafemas, teríamos o que uma pessoa chamaria as quatro letras que compõem esta palavra:

```
["न", "म", "स्", "ते"]
```

Rust fornece diferentes maneiras de interpretar os dados de uma string bruta que os computadores armazenem para que cada programa possa escolher a interpretação que necessite, não importa em que idioma humano os dados estão.

Uma razão final do Rust não permitir que você indexe uma `String` para obter um caractere é que as operações de indexação sempre esperam um tempo constante ($O(1)$). Não é possível garantir que o desempenho com uma `String` , entretanto, já que o Rust teria que

percorrer todo o conteúdo desde o início até o índice para determinar quantos caracteres válidos havia.

Fatiando Strings

Porque não está claro qual seria o tipo de retorno da indexação de string, e muitas vezes é uma má idéia indexar uma string, Rust dissuade-o de fazê-lo pedindo que você seja mais específico se você realmente precisar disso. Do jeito que você pode ser mais específico que a indexação usando `[]` com um único número é usando `[..]` com um intervalo para criar uma fatia de string contendo bytes específicos:

```
let hello = "Здравствуй те";  
  
let s = &hello[0..4];
```

Aqui, `s` será um `&str` que contém os primeiros quatro bytes da string. Mais cedo, mencionamos que cada um desses personagens era de dois bytes, de modo que significa que `s` será “Зд”.

O que aconteceria se fizéssemos `&hello[0..1]` ? A resposta: entrará em pânico em tempo de execução, da mesma maneira que acessar um índice inválido em um vetor:

```
thread 'main' panicked at 'index 0 and/or 1 in `Здравствуй те` do not lie on character boundary', ../src/libcore/str/mod.rs:1694
```

Você deve usar isso com cautela, pois isso pode fazer com que seu programa falhe.

Métodos para Interagir Sobre Strings

Felizmente, existem outras maneiras de acessar elementos em um String.

Se precisarmos realizar operações em valores escalares Unicode individuais, a melhor maneira de fazer isso é usar o método `chars`. Chamando `chars` em “नमस्ते” é separado e retorna seis valores do tipo `char`, e você pode interagir no resultado para acessar cada elemento:

```
for c in "नमस्ते".chars() {  
    println!("{}", c);  
}
```

Este código irá imprimir:

न
म
स
ं
त
ं

O método `bytes` retorna cada byte bruto, que pode ser apropriado para o seu domínio:

```
for b in "नमस्ते".bytes() {
    println!("{}", b);
}
```

Este código imprimirá os 18 bytes que compõem esse `String`, começando por:

```
224
164
168
224
// ... etc
```

Mas lembre-se de que os valores escalares Unicode válidos podem ser constituídos por mais de um byte.

Obter clusters de grafemas de strings é complexo, então esta funcionalidade não é fornecida pela biblioteca padrão. Existem crates disponíveis em crates.io se Esta é a funcionalidade que você precisa.

As Strings Não são tão Simples

Para resumir, as strings são complicadas. Diferentes linguagens de programação fazem escolhas diferentes sobre como apresentar essa complexidade ao programador. Rust optou por fazer o tratamento correto dos dados `String` o comportamento padrão para todos os programas Rust, o que significa que os programadores devem pensar mais no gerenciamento de dados UTF-8 antecipadamente. Este tradeoff expõe mais da complexidade de strings do que outras linguagens de programação, mas isso irá impedi-lo de ter que lidar com erros envolvendo caracteres não-ASCII mais tarde em seu ciclo de desenvolvimento.

Vamos mudar para algo um pouco menos complexo: hash maps!

Hash Maps

A última das nossas coleções comuns é o *hash map*. O tipo `HashMap <K, V>` armazena um mapeamento de chaves do tipo `K` para valores do tipo `V`. Ele faz isso através de uma *hashing function*, que determina como ele coloca essas chaves e valores em memória. Muitas linguagens de programação diferentes suportam este tipo de estrutura de dados, mas muitas vezes com um nome diferente: `hash`, `map`, `object`, `hash table` ou `associative array`, apenas para citar alguns.

Os Hash maps são úteis para quando você deseja poder procurar dados sem uso de índice, como você pode com vetores, mas usando uma chave que pode ser de qualquer tipo. Por exemplo, em um jogo, você poderia acompanhar a pontuação de cada equipe em um hash map onde cada chave é o nome de uma equipe e os valores são cada pontuação da equipe. Dado um nome da equipe, você pode recuperar sua pontuação.

Examinaremos a API básica dos hash map neste capítulo, mas há muitos mais coisas escondidas nas funções definidas no `HashMap` pela biblioteca padrão. Como sempre, verifique a documentação da biblioteca padrão para mais informação.

Criando um novo Hash Map

Podemos criar um `HashMap` vazio com `new`, e adicionar elementos com `insert`. Aqui, estamos acompanhando as pontuações de duas equipes cujos nomes são `Blue` e `Yellow`. A equipe `blue` começará com 10 pontos e a equipe `yellow` começa com 50:

```
use std::collections::HashMap;

let mut scores = HashMap::new();

scores.insert(String::from("Blue"), 10);
scores.insert(String::from("Yellow"), 50);
```

Observe que precisamos primeiro `use` o `HashMap` da parte de coleções da biblioteca padrão. De nossas três coleções comuns, esta é a de menor frequência de uso, por isso não está inclusa nos recursos importados automaticamente no prelúdio. Os Hash maps também têm menos suporte da biblioteca padrão; não há macro embutida para construí-los, por exemplo.

Assim como os vetores, os mapas hash armazenam seus dados no heap. Este `HashMap` tem chaves do tipo `String` e valores do tipo `i32`. Como vetores, os hash maps são homogêneos: todas as chaves devem ter o mesmo tipo e todos os valores devem ter o

mesmo tipo.

Outra maneira de construir um hash map é usando o método `collect` em um vetor de tuplas, onde cada tupla consiste de uma chave e seu valor. O método `collect` reúne dados em vários tipos de coleção, incluindo `HashMap`. Por exemplo, se tivéssemos os nomes das equipes e as pontuações iniciais em dois vetores separados, podemos usar o método `zip` para criar um vetor de tuplas onde “Blue” é emparelhado com 10, e assim por diante. Então podemos usar o método `collect` para transformar esse vetor de tuplas em um `HashMap`:

```
use std::collections::HashMap;

let teams = vec![String::from("Blue"), String::from("Yellow")];
let initial_scores = vec![10, 50];

let scores: HashMap<_, _> = teams.iter().zip(initial_scores.iter()).collect();
```

A anotação de tipo `HashMap <_, _>` é necessária aqui porque é possível `collect` em muitas estruturas de dados diferentes, e Rust não sabe qual você deseja, a menos que você especifique. Para os parâmetros de tipo, para os tipos de chave e valor, no entanto, usamos underscores e Rust pode inferir os tipos que o hash map contém com base nos tipos de dados no vetor.

Hash Maps e Ownership

Para os tipos que implementam a `Copy` trait, como `i32`, os valores são copiados no hash map. Para valores owned como `String`, os valores serão movidos e o hash map será o owner desses valores:

```
use std::collections::HashMap;

let field_name = String::from("Favorite color");
let field_value = String::from("Blue");

let mut map = HashMap::new();
map.insert(field_name, field_value);
// field_name e field_value são inválidos neste ponto
```

Não poderíamos usar as ligações `field_name` e `field_value` depois que foram transferidos para o hash map com a chamada para `insert`.

Se inserimos referências a valores no hash map, os próprios valores não serão movido para o hash map. Os valores que as referências apontam devem ser válido pelo menos enquanto

o hash map seja válido, no entanto. Falaremos mais sobre esses problemas na seção Lifetimes do Capítulo 10.

Acessando Valores em um Hash Map

Podemos obter um valor do hash map fornecendo a chave para o método `get` :

```
use std::collections::HashMap;

let mut scores = HashMap::new();

scores.insert(String::from("Blue"), 10);
scores.insert(String::from("Yellow"), 50);

let team_name = String::from("Blue");
let score = scores.get(&team_name);
```

Aqui, `score` terá o valor que está associado à equipe Blue, e o resultado será `Some(&10)` . O resultado está envolvido em `Some` porque `get` retorna `Option<&V>` ; se não houver valor para essa chave no hash map, `get` retornará `None` . O programa precisará lidar com `Option` em uma das formas que abordamos no Capítulo 6.

Podemos iterar sobre cada par chave/valor em um hash map de uma maneira similar à que fazemos com vetores, usando um loop `for` :

```
use std::collections::HashMap;

let mut scores = HashMap::new();

scores.insert(String::from("Blue"), 10);
scores.insert(String::from("Yellow"), 50);

for (key, value) in &scores {
    println!("{}", key, value);
}
```

Isso imprimirá cada par, em uma ordem arbitrária:

```
Yellow: 50
Blue: 10
```

Atualizando um Hash Map

Embora o número de chaves e valores sejam crescentes, cada chave individual pode apenas tem um valor associado a ele por vez. Quando queremos mudar os dados em um hash map, temos que decidir como lidar com o caso quando uma chave já possui um valor atribuído. Poderíamos optar por substituir o valor antigo pelo novo valor, desconsiderando completamente o valor antigo. Poderíamos escolher manter o valor antigo e ignorar o novo valor, e apenas adicione o novo valor se a chave ainda *não* tem um valor. Ou podemos combinar o valor antigo ao valor novo. Vejamos como fazer cada um desses!

Sobrescrevendo um Valor

Se inserimos uma chave e um valor em um hash map, então se inserir essa mesma chave com um valor diferente, o valor associado a essa chave será substituído. Embora o seguinte código chame `insert` duas vezes, o hash map só conterá um par de chave/valor porque inserimos o valor da chave da equipe Blue ambas as vezes:

```
use std::collections::HashMap;

let mut scores = HashMap::new();

scores.insert(String::from("Blue"), 10);
scores.insert(String::from("Blue"), 25);

println!("{:?}", scores);
```

Isso imprimirá `{"Blue": 25}`. O valor original de 10 foi substituído.

Insira Apenas se a Chave Não Possui Valor

É comum querer verificar se uma determinada chave tem um valor e, se não tiver, inserir um valor para ela. Os Hash maps possuem uma API especial para isso, chamada `entry`, que leva a chave que queremos verificar como um argumento. O valor de retorno da função `entry` é um enum, `Entry`, que representa um valor que pode ou não existir. Digamos que queremos verificar se a chave para o time Yellow tem um valor associado a ela. Se não tiver, queremos inserir o valor 50, e o mesmo para a equipe Blue. Com a API de entrada, o código irá parecer com:

```
use std::collections::HashMap;

let mut scores = HashMap::new();
scores.insert(String::from("Blue"), 10);

scores.entry(String::from("Yellow")).or_insert(50);
scores.entry(String::from("Blue")).or_insert(50);

println!("{:?}", scores);
```

O método `or_insert` em `Entry` retorna o valor para o `Entry` correspondente se a chave existir, e se não, insere seu argumento como o novo valor para esta chave e retorna a `Entry` modificada. Isso é muito mais limpo do que escrever a lógica por nós mesmos e, além disso, trabalha-se de forma mais limpa com o borrow checker.

Este código imprimirá `{"Yellow": 50, "Blue": 10}`. A primeira chamada para `entry` irá inserir a chave para a equipe Yellow com o valor 50, uma vez que o time Yellow já não possuía um valor. A segunda chamada para `entry` não vai mudar o hash map pois o time Blue já possui o valor 10.

Atualize um Valor com Base no Valor Antigo

Outro caso de uso comum para hash maps é procurar o valor de uma chave e, em seguida, atualiza-la, com base no valor antigo. Por exemplo, se quisermos contar quantas vezes cada palavra apareceu em algum texto, podemos usar um hash map com as palavras como chaves e incrementar o valor para acompanhar quantas vezes vimos essa palavra. Se esta é a primeira vez que vimos uma palavra, primeiro inseriremos o valor `0`.

```
use std::collections::HashMap;

let text = "hello world wonderful world";

let mut map = HashMap::new();

for word in text.split_whitespace() {
    let count = map.entry(word).or_insert(0);
    *count += 1;
}

println!("{:?}", map);
```

Isso imprimirá `{"world": 2, "hello": 1, "wonderful": 1}`. O método `or_insert` na verdade retorna uma referência mutável (`& mutV`) para o valor desta chave. Aqui nós

armazenamos essa referência mutável na variável `count`, então, para poder atribuir esse valor, devemos primeiro desreferenciar `count` usando o asterisco (`*`). A referência mutável fica fora do escopo no final do loop `for`, então todas essas mudanças são seguras e permitidas pelas regras de borrow.

Funções Hashing

Por padrão, `HashMap` usa uma função de hashing criptograficamente segura que pode fornecer resistência aos ataques de Negação de Serviço (DoS). Este não é o algoritmo mais rápido de hashing por aí, mas a compensação por uma melhor segurança que vem com a queda na performance vale a pena. Se você testar a velocidade do seu código e encontrar que a função de hash padrão é muito lenta para seus propósitos, você pode mudar para outra função especificando um *hasher* diferente. Um hasher é um tipo que implementa a trait `BuildHasher`. Vamos falar sobre traits e como implementá-los no Capítulo 10. Você não precisa necessariamente implementar o seu próprio hasher do zero; crates.io tem bibliotecas de hashers de uso comum que outras pessoas compartilharam lá.

Sumário

Vetores, strings e hash maps irão levá-lo longe em programas onde você precisa armazenar, acessar e modificar dados. Aqui estão alguns exercícios que você deve estar capacitado para resolver:

- Dada uma lista de inteiros, use um vetor e retorne a média, a mediana (quando classificado, o valor na posição do meio) e modo (o valor que ocorre com mais frequência; um hash map será útil aqui) da lista.
- Converta strings para Pig Latin, onde a primeira consoante de cada palavra é movida para o final da palavra adicionado um "ay", então "first" se torna "irst-fay". Palavras que começam com uma vogal recebem "hay" adicionado ao final ("apple" torna-se "apple-hay"). Lembre-se sobre a codificação UTF-8!
- Usando um hash map e vetores, crie uma interface de texto para permitir que um usuário adicione nomes de funcionários para um departamento da empresa. Por exemplo, "Add Sally to Engineering" ou "Add Amir to Sales". Em seguida, deixe o usuário recuperar uma lista de todas as pessoas de um departamento ou todas as pessoas na empresa por departamento, ordenadas alfabeticamente.

A documentação da API da biblioteca padrão descreve métodos que esses tipos possuem que será útil para esses exercícios!

Estamos entrando em programas mais complexos onde as operações podem falhar, o que significa que é um momento perfeito para passar pelo tratamento de erros em seguida!

Tratamento de Erros

O comprometimento de Rust à segurança se estende ao tratamento de erros. Erros são um fato da vida em software, portanto Rust possui um número de *features* para lidar com situações em que algo dá errado. Em vários casos, Rust requer que você reconheça a possibilidade de um erro acontecer e aja preventivamente antes que seu código compile. Esse requisito torna seu programa mais robusto ao assegurar que você irá descobrir erros e lidar com eles apropriadamente antes de mandar seu código para produção!

Rust agrupa erros em duas categorias principais: *recuperáveis* e *irrecuperáveis*. Erros recuperáveis são situações em que é razoável reportar o problema ao usuário e tentar a operação novamente, como um erro de arquivo não encontrado. Erros irrecuperáveis são sempre sintomas de bugs, como tentar acessar uma localização além do fim de um *array*.

A maioria das linguagens não distingue esses dois tipos de erros e lida com ambos da mesma maneira usando mecanismos como exceções. Rust não tem exceções. Em vez disso, ele tem o valor `Result<T, E>` para erros recuperáveis e a macro `panic!` que para a execução ao encontrar um erro irrecuperável. Esse capítulo cobre primeiro como chamar `panic!` e depois fala sobre retornar valores `Result<T, E>`. Adicionalmente, vamos explorar o que se levar em consideração para decidir entre tentar se recuperar de um erro ou parar execução.

Erros Irrecuperáveis com `panic!`

Às vezes coisas ruins acontecem no seu código, e não há nada que você possa fazer sobre isso. Nesses casos, Rust tem a macro `panic!`. Quando ela é executada, seu programa vai imprimir uma mensagem de falha, resolver e limpar a pilha e então terminar. A situação mais comum em que isso acontece é quando algum tipo de bug foi detectado, e não é claro para o programador como tratar esse erro.

Resolver a Pilha ou Abortar em Resposta a `panic!`

Por padrão, quando acontece um `panic!`, o programa começa a *resolver* a pilha, o que significa que Rust percorre a pilha e limpa os dados de cada função que encontra. Mas

essa limpeza dá bastante trabalho. A alternativa é imediatamente *abortar*, que termina o programa sem fazer a limpeza. A memória que o programa estava usando vai então precisar ser limpada pelo sistema operacional. Se no seu projeto você precisa tornar o binário final o menor possível, você pode deixar de resolver e sim abortar no *panic* adicionando `panic = 'abort'` à seção apropriada de `[profile]` no seu arquivo *Cargo.toml*. Por exemplo, se você quiser abortar no *panic* no modo de *release*, adicione isso:

```
[profile.release]
panic = 'abort'
```

Vamos tentar chamar `panic!` em um programa simples:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    panic!("Quebra tudo");
}
```

Quando você roda o programa, verá algo como isso:

```
$ cargo run
  Compiling panic v0.1.0 (file:///projects/panic)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.25 secs
  Running `target/debug/panic`
thread 'main' panicked at 'Quebra tudo', src/main.rs:2
note: Run with `RUST_BACKTRACE=1` for a backtrace.
error: Process didn't exit successfully: `target/debug/panic` (exit code: 101)
```

A chamada a `panic!` causa a mensagem de erro contida nas últimas três linhas. A primeira linha mostra nossa mensagem de pânico e a posição no código fonte em que ocorreu o pânico: `src/main.rs:2` indica que é a segunda linha do nosso arquivo *src/main.rs*.

Nesse caso, a linha indicada é parte do nosso código, e se formos àquela linha veremos a chamada à macro `panic!`. Em outros casos, a chamada a `panic!` pode estar em código que nosso código chama. O nome do arquivo e número de linha reportado pela mensagem de erro será no código de outra pessoa quando a macro `panic!` for chamada, não a linha do nosso código que eventualmente levou a chamada de `panic!`. Podemos usar o *backtrace* das funções de onde veio a chamada a `panic!` para entender qual parte de nosso código está causando o problema. Vamos discutir o que é um *backtrace* em seguida.

Usando um Backtrace de `panic!`

Vamos ver outro exemplo para ver o que acontece quando uma chamada `panic!` vem de uma biblioteca por causa de um bug no nosso código em vez de nosso código chamar a macro diretamente. A Listagem 9-1 tem código que tenta acessar um elemento em um vetor por meio de um índice:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let v = vec![1, 2, 3];  
  
    v[99];  
}
```

Listagem 9-1: Tentativa de acessar um elemento além do fim de um vetor, que causará um `panic!`

Aqui, estamos tentando acessar o centésimo elemento (centésimo pois o índice começa em zero) de nosso vetor, mas ele só tem três elementos. Nesse caso, Rust entrará em pânico. Supostamente `[]` devolve um elemento, mas se você passa um índice inválido, não há elemento que Rust possa retornar que fosse correto.

Outras linguagens, como C, vão tentar te dar exatamente o que você pediu nessa situação, mesmo que não seja o que você quer: você vai receber o que quer que esteja na localização na memória que corresponderia àquele elemento no vetor, mesmo que a memória não pertença ao vetor. Isso se chama um *buffer overread* e pode levar a vulnerabilidades de segurança se um agressor for capaz de manipular o índice de forma a ler dados guardados depois do array aos quais ele não deveria ter acesso.

Para proteger seu programa desse tipo de vulnerabilidade, se você tentar ler um elemento em um índice que não exista, Rust vai parar a execução e se recusar a continuar. Vamos fazer isso e ver o que acontece:

```
$ cargo run  
    Compiling panic v0.1.0 (file:///projects/panic)  
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.27 secs  
    Running `target/debug/panic`  
thread 'main' panicked at 'index out of bounds: the len is 3 but the index is 100', /stable-dist-rustc/build/src/libcollections/vec.rs:1362  
note: Run with `RUST_BACKTRACE=1` for a backtrace.  
error: Process didn't exit successfully: `target/debug/panic` (exit code: 101)
```

Esse erro aponta para um arquivo que não escrevemos, *libcollections/vec.rs*. Essa é a implementação de `Vec<T>` na biblioteca padrão. O código que roda quando usamos `[]` em nosso vetor `v` está em *libcollections/vec.rs*, e é aí que o `panic!` está de fato acontecendo.

A próxima linha nos diz que podemos definir a variável de ambiente `RUST_BACKTRACE` para ter um *backtrace* (rastro) do que aconteceu, exatamente, para causar o erro. Um *backtrace* é uma lista de todas as funções que foram chamadas para chegar a esse ponto. *Backtraces* em Rust funcionam como em outras linguagens: a chave para ler o *backtrace* é começar do topo e ler até você ver os arquivos que você escreveu. Esse é o ponto em que o problema se originou. As linhas acima das que mencionam seu código são funções que você chamou; as linhas abaixo são funções que chamaram seu código. Essas linhas podem incluir código do núcleo do Rust, código das bibliotecas padrão, ou *crates* que você está usando. Vamos tentar ver um backtrace: a Listagem 9-2 mostra uma saída semelhante a o que você verá:

```

$ RUST_BACKTRACE=1 cargo run
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0 secs
    Running `target/debug/panic`
thread 'main' panicked at 'index out of bounds: the len is 3 but the index is
100', /stable-dist-rustc/build/src/libcollections/vec.rs:1392
stack backtrace:
   1:     0x560ed90ec04c -
std::sys::imp::backtrace::tracing::imp::write::hf33ae72d0baa11ed
    at /stable-dist-rustc/build/src/libstd/sys/unix/
backtrace/tracing/gcc_s.rs:42
   2:     0x560ed90ee03e - std::panicking::default_hook::
{{closure}}::h59672b733cc6a455
    at /stable-dist-rustc/build/src/libstd/panicking.rs:351
   3:     0x560ed90edc44 - std::panicking::default_hook::h1670459d2f3f8843
    at /stable-dist-rustc/build/src/libstd/panicking.rs:367
   4:     0x560ed90ee41b -
std::panicking::rust_panic_with_hook::hcf0ddb069e7abcd7
    at /stable-dist-rustc/build/src/libstd/panicking.rs:555
   5:     0x560ed90ee2b4 - std::panicking::begin_panic::hd6eb68e27bdf6140
    at /stable-dist-rustc/build/src/libstd/panicking.rs:517
   6:     0x560ed90ee1d9 - std::panicking::begin_panic_fmt::abcd5965948b877f8
    at /stable-dist-rustc/build/src/libstd/panicking.rs:501
   7:     0x560ed90ee167 - rust_begin_unwind
    at /stable-dist-rustc/build/src/libstd/panicking.rs:477
   8:     0x560ed911401d - core::panicking::panic_fmt::hc0f6d7b2c300cdd9
    at /stable-dist-rustc/build/src/libcore/panicking.rs:69
   9:     0x560ed9113fc8 -
core::panicking::panic_bounds_check::h02a4af86d01b3e96
    at /stable-dist-rustc/build/src/libcore/panicking.rs:56
  10:     0x560ed90e71c5 - <collections::vec::Vec<T> as
core::ops::Index<usize>>::index::h98abcd4e2a74c41
    at /stable-dist-rustc/build/src/libcollections/vec.rs:
1392
  11:     0x560ed90e727a - panic::main::h5d6b77c20526bc35
    at /home/you/projects/panic/src/main.rs:4
  12:     0x560ed90f5d6a - __rust_maybe_catch_panic
    at /stable-dist-rustc/build/src/libpanic_unwind/lib.rs:
98
  13:     0x560ed90ee926 - std::rt::lang_start::hd7c880a37a646e81
    at /stable-dist-rustc/build/src/libstd/panicking.rs:436
    at /stable-dist-rustc/build/src/libstd/panic.rs:361
    at /stable-dist-rustc/build/src/libstd/rt.rs:57
  14:     0x560ed90e7302 - main
  15:     0x7f0d53f16400 - __libc_start_main
  16:     0x560ed90e6659 - _start
  17:                0x0 - <unknown>

```

Listagem 9-2: O *backtrace* gerado por uma chamada a `panic!` mostrado quando a variável de ambiente `RUST_BACKTRACE` está definida.

Isso é bastante saída! A saída exata que você recebe pode ser diferente dependendo do seu sistema operacional e versão de Rust. Para conseguir *backtraces* com essa informação, símbolos de debug devem estar ativados. Símbolos de debug estão ativados por padrão quando usamos `cargo build` ou `cargo run` sem a opção de `--release`, como temos aqui.

Na saída da Listagem 9-2, a linha 11 do *backtrace* aponta para a linha no nosso projeto que está causando o problema: `src/main.rs` na linha 4. Se não queremos que nosso programa entre em pânico, a localização apontada pela primeira linha mencionando um arquivo que escrevemos é onde deveríamos começar a investigar para entender como chegamos nesse ponto com valores que causaram o pânico. Na lista 9-1 onde nós deliberadamente escrevemos código que causaria pânico para demonstrar como usar *backtraces*, a forma de consertar o pânico é não requisitar um elemento no índice 100 de um vetor que contém apenas três itens. Quando seu código entrar em pânico no futuro, você precisará descobrir quais ações o seu código está tomando, e com quais valores, que estão causando o pânico, e o que deveria ser feito em vez disso.

Voltaremos ao `panic!` e veremos mais adiante no capítulo quando usá-lo, ou não, para lidar com erros. Em seguida, olharemos como se recuperar de um erro usando `Result`.

Erros recuperáveis com `Result`

A maior parte dos erros não são sérios o suficiente para precisar que o programa pare totalmente. Às vezes, quando uma função falha, é por uma razão que nós podemos facilmente interpretar e responder. Por exemplo, se tentamos abrir um arquivo e essa operação falhar porque o arquivo não existe, nós podemos querer criar o arquivo em vez de terminar o processo.

Lembre-se do Capítulo 2, na seção [“Tratando Potenciais Falhas com o Tipo `Result`”](#)

” que o enum `Result` é definido como tendo duas variantes,

`Ok` e `Err`, como mostrado a seguir:

```
enum Result<T, E> {  
    Ok(T),  
    Err(E),  
}
```

O `T` e `E` são parâmetros de tipos genéricos: nós os discutiremos em mais detalhe no Capítulo 10. O que você precisa saber agora é que `T` representa o tipo do valor que vai ser

retornado dentro da variante `Ok` em caso de sucesso, e `E` representa o tipo de erro que será retornado dentro da variante `Err` em caso de falha. Por `Result` ter esses parâmetros de tipo genéricos, nós podemos usar o tipo `Result` e as funções que a biblioteca padrão definiu sobre ele em diversas situações em que o valor de sucesso e o valor de erro que queremos retornar possam divergir.

Vamos chamar uma função que retorna um valor `Result` porque a função poderia falhar: na Listagem 9-3 tentamos abrir um arquivo:

Arquivo: `src/main.rs`

```
use std::fs::File;

fn main() {
    let f = File::open("hello.txt");
}
```

Listagem 9-3: Abrindo um arquivo

Como sabemos que `File::open` retorna um `Result`? Poderíamos olhar na documentação da API da biblioteca padrão, ou poderíamos perguntar para o compilador! Se damos à `f` uma anotação de tipo que sabemos *não* ser o tipo retornado pela função e tentamos compilar o código, o compilador nos dirá que os tipos não casam. A mensagem de erro vai então nos dizer qual é, *de fato*, o tipo de `f`. Vamos tentar isso: nós sabemos que o tipo retornado por `File::open` não é `u32`, então vamos mudar a declaração `let f` para isso:

```
let f: u32 = File::open("hello.txt");
```

Tentar compilar agora nos dá a seguinte saída:

```
error[E0308]: mismatched types
--> src/main.rs:4:18
   |
4 |     let f: u32 = File::open("hello.txt");
   |                  ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^ expected u32, found enum
   |
   = note: expected type `u32`
   = note: found type `std::result::Result<std::fs::File, std::io::Error>`
```

Isso nos diz que o valor de retorno de `File::open` é um `Result<T, E>`. O parâmetro genérico `T` foi preenchido aqui com o tipo do valor de sucesso, `std::fs::File`, que é um *handle* de arquivo. O tipo de `E` usado no valor de erro é `std::io::Error`.

Esse tipo de retorno significa que a chamada a `File::open` pode dar certo e retornar para

nós um *handle* de arquivo que podemos usar pra ler ou escrever nele. Essa chamada de função pode também falhar: por exemplo, o arquivo pode não existir ou talvez não tenhamos permissão para acessar o arquivo. A função `File::open` precisa ter uma maneira de nos dizer se ela teve sucesso ou falhou e ao mesmo tempo nos dar ou o *handle* de arquivo ou informação sobre o erro. Essa informação é exatamente o que o enum `Result` comunica.

No caso em que `File::open` tem sucesso, o valor na variável `f` será uma instância de `Ok` que contém um *handle* de arquivo. No caso em que ela falha, o valor em `f` será uma instância de `Err` que contém mais informação sobre o tipo de erro que aconteceu.

Devemos fazer com que o código na Listagem 9-3 faça diferentes ações dependendo do valor retornado por `File::open`. A Listagem 9-4 mostra uma maneira de lidar com o `Result` usando uma ferramenta básica: a expressão `match` que discutimos no Capítulo 6.

Arquivo: `src/main.rs`

```
use std::fs::File;

fn main() {
    let f = File::open("hello.txt");

    let f = match f {
        Ok(file) => file,
        Err(error) => {
            panic!("Houve um problema ao abrir o arquivo: {:?}", error)
        },
    };
}
```

Listagem 9-4: Usando uma expressão `match` para tratar as variantes de `Result` que podemos encontrar.

Note que, como no enum `Option`, o enum `Result` e suas variantes foram importadas no prelúdio, então não precisamos especificar `Result::` antes das variantes `Ok` e `Err` nas linhas de `match`.

Aqui dizemos ao Rust que quando o resultado é `Ok` ele deve retornar o valor interno `file` de dentro da variante `Ok` e nós então podemos atribuir este valor de *handle* de arquivo à variável `f`. Depois do `match`, nós podemos então usar o *handle* de arquivo para ler ou escrever.

A outra linha de `match` trata do caso em que recebemos um valor de `Err` de `File::open`. Nesse exemplo, nós escolhemos chamar a macro `panic!`. Se não há nenhum arquivo chamado `hello.txt` no diretório atual e rodarmos esse código, veremos a seguinte saída da

```
macro panic! :
```

```
thread 'main' panicked at 'Houve um problema ao abrir o arquivo: Error { repr:
Os { code: 2, message: "No such file or directory" } }', src/main.rs:9:12
```

Como sempre, essa saída nos diz exatamente o que aconteceu de errado.

Usando `match` com Diferentes Erros

O código na Listagem 9-4 chamará `panic!` não importa a razão pra `File::open` ter falhado. O que queremos fazer em vez disso é tomar diferentes ações para diferentes motivos de falha: se `File::open` falhou porque o arquivo não existe, nós queremos criar um arquivo e retornar o *handle* para ele. Se `File::open` falhou por qualquer outra razão, por exemplo porque não temos a permissão para abrir o arquivo, nós ainda queremos chamar `panic!` da mesma maneira que fizemos na Listagem 9-4. Veja a Listagem 9-5, que adiciona outra linha ao `match` :

Arquivo: `src/main.rs`

```

use std::fs::File;
use std::io::ErrorKind;

fn main() {
    let f = File::open("hello.txt");

    let f = match f {
        Ok(file) => file,
        Err(ref error) if error.kind() == ErrorKind::NotFound => {
            match File::create("hello.txt") {
                Ok(fc) => fc,
                Err(e) => {
                    panic!(
                        "Tentou criar um arquivo e houve um problema: {:?}",
                        e
                    )
                },
            }
        },
        Err(error) => {
            panic!(
                "Houve um problema ao abrir o arquivo: {:?}",
                error
            )
        },
    };
}

```

Listagem 9-5: Tratando diferentes tipos de erros de diversas maneiras.

O tipo do valor que `File::open` retorna dentro da variante `Err` é `io::Error`, que é uma struct fornecida pela biblioteca padrão. Essa struct tem o método `kind` que podemos chamar para receber um valor de `io::ErrorKind`. `io::ErrorKind` é um enum fornecido pela biblioteca padrão que tem variantes representando diversos tipos de erros que podem ocorrer em uma operação de `io`. A variante que queremos usar é `ErrorKind::NotFound`, que indica que o arquivo que queremos abrir não existe ainda.

A condição `if error.kind() == ErrorKind::NotFound` é chamada de um *match guard*: é uma condição extra dentro de uma linha de `match` que posteriormente refina o padrão da linha. Essa condição deve ser verdadeira para o código da linha ser executado; caso contrário a análise de padrões vai continuar considerando as próximas linhas no `match`. O `ref` no padrão é necessário para que o `error` não seja movido para a condição do *guard*, mas meramente referenciado por ele. A razão de `ref` ser utilizado em vez de `&` para pegar uma referência vai ser discutida em detalhe no Capítulo 18. Resumindo, no contexto de um padrão, `&` corresponde a uma referência e nos dá seu valor, enquanto `ref` corresponde a um valor e nos dá uma referência a ele.

A condição que queremos checar no *match guard* é se o valor retornado pelo `error.kind()` é a variante `NotFound` do enum `ErrorKind`. Se é, queremos tentar criar um arquivo com `File::create`. No entanto, como `File::create` pode também falhar, precisamos adicionar um *match* interno também. Quando o arquivo não pode ser aberto, outro tipo de mensagem de erro será mostrada. A última linha do *match* externo continua a mesma de forma que o programa entre em pânico pra qualquer erro além do de arquivo ausente.

Atalhos para Pânico em Erro: `unwrap` e `expect`

Usar *match* funciona bem o suficiente, mas pode ser um pouco verboso e nem sempre comunica tão bem a intenção. O tipo `Result<T, E>` tem vários métodos auxiliares definidos para fazer diversas tarefas. Um desses métodos, chamado `unwrap`, é um método de atalho que é implementado justamente como o *match* que escrevemos na Listagem 9-4. Se o valor de `Result` for da variante `Ok`, `unwrap` vai retornar o valor dentro de `Ok`. Se o `Result` for da variante `Err`, `unwrap` vai chamar a macro `panic!`. Aqui um exemplo de `unwrap` em ação:

Arquivo: `src/main.rs`

```
use std::fs::File;

fn main() {
    let f = File::open("hello.txt").unwrap();
}
```

Se rodarmos esse código sem um arquivo *hello.txt*, veremos uma mensagem de erro da chamada de `panic!` que o método `unwrap` faz:

```
thread 'main' panicked at 'called `Result::unwrap()` on an `Err` value: Error {
  repr: Os { code: 2, message: "No such file or directory" } }',
/stable-dist-rustc/build/src/libcore/result.rs:868
```

Outro método, `expect`, que é semelhante a `unwrap`, nos deixa também escolher a mensagem de erro do `panic!`. Usar `expect` em vez de `unwrap` e fornecer boas mensagens de erros podem transmitir sua intenção e tornar a procura pela fonte de pânico mais fácil. A sintaxe de `expect` é a seguinte:

Arquivo: `src/main.rs`

```
use std::fs::File;

fn main() {
    let f = File::open("hello.txt").expect("Falhou ao abrir hello.txt");
}
```

Nós usamos `expect` da mesma maneira que `unwrap`: para retornar o *handle* de arquivo ou chamar a macro de `panic!`. A mensagem de erro usada por `expect` na sua chamada de `panic!` será o parâmetro que passamos para `expect` em vez da mensagem padrão que o `unwrap` usa. Aqui está como ela aparece:

```
thread 'main' panicked at 'Falhou ao abrir hello.txt: Error { repr: Os { code:
2, message: "No such file or directory" } }',
/stable-dist-rustc/build/src/libcore/result.rs:868
```

Como essa mensagem de erro começa com o texto que especificamos, `Falhou ao abrir hello.txt`, será mais fácil encontrar o trecho do código de onde vem essa mensagem de erro. Se usamos `unwrap` em diversos lugares, pode tomar mais tempo encontrar exatamente qual dos `unwrap` está causando o pânico, dado que todas as chamadas a `unwrap` chamam o `print` de pânico com a mesma mensagem.

Propagando Erros

Quando você está escrevendo uma função cuja implementação chama algo que pode falhar, em vez de tratar o erro dentro dessa função, você pode retornar o erro ao código que a chamou de forma que ele possa decidir o que fazer. Isso é conhecido como *propagar* o erro e dá mais controle ao código que chamou sua função, onde talvez haja mais informação sobre como tratar o erro do que você tem disponível no contexto do seu código.

Por exemplo, a Listagem 9-6 mostra uma função que lê um nome de usuário de um arquivo. Se o arquivo não existe ou não pode ser lido, essa função vai retornar esses erros ao código que chamou essa função:

Arquivo: `src/main.rs`

```

use std::io;
use std::io::Read;
use std::fs::File;

fn read_username_from_file() -> Result<String, io::Error> {
    let f = File::open("hello.txt");

    let mut f = match f {
        Ok(file) => file,
        Err(e) => return Err(e),
    };

    let mut s = String::new();

    match f.read_to_string(&mut s) {
        Ok(_) => Ok(s),
        Err(e) => Err(e),
    }
}

```

Listagem 9-6: Uma função que retorna erros ao código que a chamou usando `match`

Vamos olhar primeiro ao tipo retornado pela função: `Result<String, io::Error>`. Isso significa que a função está retornando um valor do tipo `Result<T, E>` onde o parâmetro genérico `T` foi preenchido pelo tipo concreto `String` e o tipo genérico `E` foi preenchido pelo tipo concreto `io::Error`. Se essa função tem sucesso sem nenhum problema, o código que chama essa função vai receber um valor `Ok` que contém uma `String` - o nome de usuário que essa função leu do arquivo. Se essa função encontra qualquer problema, o código que a chama receberá um valor de `Err` que contém uma instância de `io::Error`, que contém mais informação sobre o que foi o problema. Escolhemos `io::Error` como o tipo de retorno dessa função porque é este o tipo de erro retornado pelas duas operações que estamos chamando no corpo dessa função que podem falhar: a função `File::open` e o método `read_to_string`.

O corpo da função começa chamando a função `File::open`. Nós então tratamos o valor de `Result` retornado usando um `match` semelhante ao da Listagem 9-4, só que em vez de chamar `panic!` no caso de `Err`, retornamos mais cedo dessa função e passamos o valor de erro de `File::open` de volta ao código que a chamou, como o valor de erro da nossa função. Se `File::open` tem sucesso, nós guardamos o *handle* de arquivo na variável `f` e continuamos.

Então, criamos uma nova `String` na variável `s` e chamamos o método `read_to_string` no *handle* de arquivo `f` para ler o conteúdo do arquivo e armazená-lo em `s`. O método `read_to_string` também retorna um `Result` porque ele pode falhar, mesmo que

`File::open` teve sucesso. Então precisamos de outro `match` para tratar esse `Result`: se `read_to_string` teve sucesso, então nossa função teve sucesso, e nós retornamos o nome de usuário lido do arquivo que está agora em `s`, encapsulado em um `Ok`. Se `read_to_string` falhou, retornamos o valor de erro da mesma maneira que retornamos o valor de erro no `match` que tratou o valor de retorno de `File::open`. No entanto, não precisamos explicitamente escrever `return`, porque essa já é a última expressão na função.

O código que chama nossa função vai então receber ou um valor `Ok` que contém um nome de usuário ou um valor de `Err` que contém um `io::Error`. Nós não sabemos o que o código que chamou nossa função fará com esses valores. Se o código que chamou recebe um valor de `Err`, ele poderia chamar `panic!` e causar um crash, usar um nome de usuário padrão, ou procurar o nome de usuário em outro lugar que não um arquivo, por exemplo. Nós não temos informação o suficiente sobre o que o código que chamou está de fato tentando fazer, então propagamos toda a informação de sucesso ou erro para cima para que ele a trate apropriadamente.

Esse padrão de propagação de erros é tão comum em Rust que a linguagem disponibiliza o operador de interrogação `?` para tornar isso mais fácil.

Um Atalho Para Propagar Erros: `?`

A Listagem 9-7 mostra uma implementação de `read_username_from_file` que tem a mesma funcionalidade que tinha na Listagem 9-6, mas esta implementação usa o operador de interrogação:

Arquivo: `src/main.rs`

```
use std::io;
use std::io::Read;
use std::fs::File;

fn read_username_from_file() -> Result<String, io::Error> {
    let mut f = File::open("hello.txt")?;
    let mut s = String::new();
    f.read_to_string(&mut s)?;
    Ok(s)
}
```

Listagem 9-7: Uma função que retorna erros para o código que a chamou usando `?`.

O `?` colocado após um valor de `Result` é definido para funcionar quase da mesma maneira que as expressões `match` que definimos para tratar o valor de `Result` na Listagem

9-6. Se o valor de `Result` é um `Ok`, o valor dentro dele vai ser retornado dessa expressão e o programa vai continuar. Se o valor é um `Err`, o valor dentro dele vai ser retornado da função inteira como se tivéssemos usado a palavra-chave `return` de modo que o valor de erro é propagado ao código que chamou a função.

A única diferença entre a expressão `match` da Listagem 9-6 e o que o operador de interrogação faz é que quando usamos o operador de interrogação, os valores de erro passam pela função `from` definida no *trait* `From` na biblioteca padrão. Vários tipos de erro implementam a função `from` para converter um erro de um tipo em outro. Quando usado pelo operador de interrogação, a chamada à função `from` converte o tipo de erro que o operador recebe no tipo de erro definido no tipo de retorno da função em que estamos usando `?`. Isso é útil quando partes de uma função podem falhar por várias razões diferentes, mas a função retorna um tipo de erro que representa todas as maneiras que a função pode falhar. Enquanto cada tipo de erro implementar a função `from` para definir como se converter ao tipo de erro retornado, o operador de interrogação lida com a conversão automaticamente.

No contexto da Listagem 9-7, o `?` no final da chamada de `File::open` vai retornar o valor dentro do `Ok` à variável `f`. Se um erro ocorrer, `?` vai retornar mais cedo a função inteira e dar um valor de `Err` ao código que a chamou. O mesmo se aplica ao `?` ao final da chamada de `read_to_string`.

O `?` elimina um monte de excesso e torna a implementação dessa função mais simples. Poderíamos até encurtar ainda mais esse código ao encadear chamadas de método imediatamente depois do `?`, como mostrado na Listagem 9-8:

Arquivo: `src/main.rs`

```
use std::io;
use std::io::Read;
use std::fs::File;

fn read_username_from_file() -> Result<String, io::Error> {
    let mut s = String::new();

    File::open("hello.txt")?.read_to_string(&mut s)?;

    Ok(s)
}
```

Listagem 9-8: Encadeando chamadas de método após o operador de interrogação.

Nós movemos a criação da nova `String` em `s` para o começo da função; essa parte não

mudou. Em vez de criar uma variável `f`, nós encadeamos a chamada para `read_to_string` diretamente ao resultado de `File::open("hello.txt")?`. Nós ainda temos um `?` ao fim da chamada a `read_to_string`, e ainda retornamos um valor de `Ok` contendo o nome de usuário em `s` quando ambos os métodos `File::open` e `read_to_string` tiveram sucesso ao invés de retornarem erros. Essa funcionalidade é novamente a mesma da Listagem 9-6 e Listagem 9-7; essa é só uma maneira diferente e mais ergonômica de escrevê-la.

? Somente Pode Ser Usado em Funções Que Retornam Result

O `?` só pode ser usado em funções que tem um tipo de retorno de `Result`, porque está definido a funcionar da mesma maneira que a expressão `match` que definimos na Listagem 9-6. A parte do `match` que requer um tipo de retorno de `Result` é `return Err(e)`, então o tipo de retorno da função deve ser um `Result` para ser compatível com esse `return`.

Vamos ver o que ocorre quando usamos `?` na função `main`, que como vimos, tem um tipo de retorno de `()`:

```
use std::fs::File;

fn main() {
    let f = File::open("hello.txt");
}
```

Quando compilamos esse código recebemos a seguinte mensagem de erro:

```
error[E0277]: the `?` operator can only be used in a function that returns
`Result` (or another type that implements `std::ops::Try`)
--> src/main.rs:4:13
4 |     let f = File::open("hello.txt");
  |               ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^
  |               |
  |               cannot use the `?` operator in a function that returns `()`
  |               in this macro invocation
  |
= help: the trait `std::ops::Try` is not implemented for `()`
= note: required by `std::ops::Try::from_error`
```

Esse erro aponta que só podemos usar o operador de interrogação em funções que retornam `Result`. Em funções que não retornam `Result`, quando você chama outras funções que retornam `Result`, você deve usar um `match` ou um dos métodos de `Result` para tratá-lo em vez de usar `?` para potencialmente propagar o erro ao código que a chamou.

Agora que discutimos os detalhes de chamar `panic!` ou retornar `Result`, vamos retornar ao tópico de como decidir qual é apropriado para utilizar em quais casos.

Entrar em `panic!` ou Não Entrar em `panic!`

Então como você decide quando entrar em `panic!` e quando você deveria retornar um `Result`? Quando o código entra em pânico, não há maneira de se recuperar. Você poderia chamar `panic!` para qualquer situação de erro, tendo uma maneira de se recuperar ou não, mas então você estaria decidindo no lugar do código que chama seu código que a situação é irre recuperável. Quando você decide retornar um valor de `Result`, você lhe dá opções em vez de tomar a decisão por ele. O código que chama seu código pode tentar se recuperar de uma maneira que é apropriada para a situação, ou ele pode decidir que um valor de `Err` nesse caso é irre recuperável, chamando `panic!` e transformando seu erro recuperável em um irre recuperável. Portanto, retornar `Result` é uma boa escolha padrão quando você está definindo uma função que pode falhar.

Em algumas situações é mais apropriado escrever código que entra em pânico em vez de retornar um `Result`, mas eles são menos comuns. Vamos explorar porque é apropriado entrar em pânico em alguns exemplos, protótipos de código e testes; depois situações em que você como humano pode saber que um método não vai falhar, mas que o compilador não tem como saber; e concluir com algumas diretrizes sobre como decidir entrar ou não em pânico em código de biblioteca.

Exemplos, Protótipos, e Testes São Todos Lugares em que É Perfeitamente Ok Entrar em Pânico

Quando você está escrevendo um exemplo para ilustrar algum conceito, ter código de tratamento de erro robusto junto do exemplo pode torná-lo menos claro. Em exemplos, é compreensível que uma chamada a um método como `unwrap` que poderia chamar `panic!` apenas substitua a maneira como você trataria erros na sua aplicação, que pode ser diferente baseado no que o resto do seu código está fazendo.

De forma semelhante, os métodos `unwrap` e `expect` são bem úteis ao fazer protótipos, antes de você estar pronto para decidir como tratar erros. Eles deixam marcadores claros no seu código para quando você estiver pronto para tornar seu programa mais robusto.

Se uma chamada de método falha em um teste, queremos que o teste inteiro falhe, mesmo se esse método não é a funcionalidade sendo testada. Como `panic!` é o modo que um

teste é marcado como falha, chamar `unwrap` ou `expect` é exatamente o que deveria acontecer.

Casos em que Você Tem Mais Informação Que o Compilador

Seria também apropriado chamar `unwrap` quando você tem outra lógica que assegura que o `Result` vai ter um valor `Ok`, mas essa lógica não é algo que o compilador entenda. Você ainda vai ter um valor de `Result` que precisa lidar: seja qual for a operação que você está chamando, ela ainda tem uma possibilidade de falhar em geral, mesmo que seja logicamente impossível que isso ocorra nessa situação particular. Se você consegue assegurar ao inspecionar manualmente o código que você nunca terá uma variante `Err`, é perfeitamente aceitável chamar `unwrap`. Aqui temos um exemplo:

```
use std::net::IpAddr;

let home = "127.0.0.1".parse::<IpAddr>().unwrap();
```

Nós estamos criando uma instância `IpAddr` ao analisar uma string *hardcoded*. Nós podemos ver que `127.0.0.1` é um endereço de IP válido, então é aceitável usar `unwrap` aqui. No entanto, ter uma string válida *hardcoded* não muda o tipo retornado pelo método `parse`: ainda teremos um valor de `Result`, e o compilador ainda vai nos fazer tratar o `Result` como se a variante `Err` fosse uma possibilidade, porque o compilador não é inteligente o bastante para ver que essa string é sempre um endereço IP válido. Se a string de endereço IP viesse de um usuário ao invés de ser *hardcoded* no programa, e portanto, de fato tivesse uma possibilidade de falha, nós definitivamente iríamos querer tratar o `Result` de uma forma mais robusta.

Diretrizes para Tratamento de Erro

É aconselhável fazer que seu código entre em `panic!` quando é possível que ele entre em um mau estado. Nesse contexto, mau estado é quando alguma hipótese, garantia, contrato ou invariante foi quebrada, tal como valores inválidos, valores contraditórios, ou valores faltando que são passados a seu código - além de um ou mais dos seguintes:

- O mau estado não é algo que é *esperado* que aconteça ocasionalmente.
- Seu código após certo ponto precisa confiar que ele não está nesse mau estado.
- Não há uma forma boa de codificar essa informação nos tipos que você usa.

Se alguém chama seu código e passa valores que não fazem sentido, a melhor escolha

talvez seja entrar em `panic!` e alertar a pessoa usando sua biblioteca do bug no código dela para que ela possa consertá-la durante o desenvolvimento. Similarmente, `panic!` é em geral apropriado se você está chamando código externo que está fora do seu controle e ele retorna um estado inválido que você não tem como consertar.

Quando se chega a um mau estado, mas isso é esperado que aconteça não importa quão bem você escreva seu código, ainda é mais apropriado retornar um `Result` a fazer uma chamada a `panic!`. Um exemplo disso é um *parser* recebendo dados malformados ou uma requisição HTTP retornando um status que indique que você atingiu um limite de taxa. Nesses casos, você deveria indicar que falha é uma possibilidade esperada ao retornar um `Result` para propagar esses estados ruins para cima, de forma que o código que chamou seu código pode decidir como tratar o problema. Entrar em `panic!` não seria a melhor maneira de lidar com esses casos.

Quando seu código realiza operações em valores, ele deveria verificar que os valores são válidos primeiro, e entrar em `panic!` caso não sejam. Isso é em boa parte por razões de segurança: tentar operar em dados inválidos pode expor seu código a vulnerabilidades. Essa é a principal razão para a biblioteca padrão entrar em `panic!` se você tentar um acesso de memória fora dos limites: tentar acessar memória que não pertence à estrutura de dados atual é um problema de segurança comum. Funções frequentemente tem *contratos*: seu comportamento somente é garantido se os inputs cumprem requerimentos específicos. Entrar em pânico quando o contrato é violado faz sentido porque uma violação de contrato sempre indica um bug da parte do chamador, e não é o tipo de erro que você quer que seja tratado explicitamente. De fato, não há nenhuma maneira razoável para o código chamador se recuperar: os *programadores* que precisam consertar o código. Contratos para uma função, especialmente quando uma violação leva a pânico, devem ser explicados na documentação da API da função.

No entanto, ter várias checagens de erro em todas suas funções pode ser verboso e irritante. Felizmente, você pode usar o sistema de tipos do Rust (e portanto a checagem que o compilador faz) para fazer várias dessas checagens para você. Se sua função tem um tipo particular como parâmetro, você pode continuar com a lógica do seu código sabendo que o compilador já assegurou que você tem um valor válido. Por exemplo, se você tem um tipo em vez de uma `Option`, seu programa espera ter *algo* ao invés de *nada*. Seu código não precisa tratar dois casos para as variantes `Some` e `None`: ele vai somente ter um caso para definitivamente ter um valor. Um código que tente passar nada para sua função não vai nem compilar, então sua função não precisa checar esse caso em tempo de execução. Outro exemplo é usar um tipo de inteiro sem sinal como `u32`, que assegura que o parâmetro nunca é negativo.

Criando Tipos Customizados para Validação

Vamos dar um passo além na ideia de usar o sistema de tipos de Rust para assegurar que temos um valor válido e ver como criar um tipo customizado para validação. Lembre do jogo de adivinhação no Capítulo 2 onde nosso código pedia ao usuário para adivinhar um número entre 1 e 100. Nós nunca validamos que o chute do usuário fosse entre esses números antes de compará-lo com o número secreto; nós somente validamos que o chute era positivo. Nesse caso, as consequências não foram tão drásticas: nosso output de "Muito alto" ou "Muito baixo" ainda estariam corretos. Seria uma melhoria útil guiar o usuário para chutes válidos, e ter um comportamento distinto quando um usuário chuta um número fora do limite e quando um usuário digita letras, por exemplo.

Uma maneira de fazer isso seria interpretar o chute como um `i32` em vez de somente um `u32` para permitir números potencialmente negativos, e então adicionar uma checagem se o número está dentro dos limites, conforme a seguir:

```
loop {
    // snip

    let palpite: i32 = match palpite.trim().parse() {
        Ok(num) => num,
        Err(_) => continue,
    };

    if palpite < 1 || palpite > 100 {
        println!("O número secreto vai estar entre 1 e 100.");
        continue;
    }

    match palpite.cmp(&numero_secreto) {
        // snip
    }
}
```

A expressão `if` checa se nosso valor está fora dos limites, informa o usuário sobre o problema, e chama `continue` para começar a próxima iteração do loop e pedir por outro chute. Depois da expressão `if` podemos proceder com as comparações entre `palpite` e o número secreto sabendo que `palpite` está entre 1 e 100.

No entanto, essa não é a solução ideal: se fosse absolutamente crítico que o programa somente operasse em valores entre 1 e 100, e ele tivesse várias funções com esse requisito, seria tedioso (e potencialmente impactante na performance) ter uma checagem dessa em cada função.

Em vez disso, podemos fazer um novo tipo e colocar as validações em uma função para criar uma instância do tipo em vez de repetir as validações em todo lugar. Dessa maneira, é

seguro para funções usarem o novo tipo nas suas assinaturas e confidentemente usar os valores que recebem. A Listagem 9-9 mostra uma maneira de definir um tipo `Palpite` que vai somente criar uma instância de `Palpite` se a função `new` receber um valor entre 1 e 100:

```
pub struct Palpite {
    valor: u32,
}

impl Palpite {
    pub fn new(valor: u32) -> Palpite {
        if valor < 1 || valor > 100 {
            panic!("Valor de chute deve ser entre 1 e 100, recebi {}", valor);
        }

        Palpite {
            valor
        }
    }

    pub fn valor(&self) -> u32 {
        self.valor
    }
}
```

Listagem 9-9: Um tipo `Palpite` que somente funciona com valores entre 1 e 100.

Primeiro, definimos uma struct chamada `Palpite` que tem um campo chamado `valor` que guarda um `u32`. Isso é onde o número vai ser guardado.

Então nós implementamos uma função associada chamada `new` em `Palpite` que cria instâncias de valores `Palpite`. A função `new` é definida a ter um parâmetro chamado `valor` de tipo `u32` e retornar um `Palpite`. O código no corpo da função `new` testa para ter certeza que `valor` está entre 1 e 100. Se `valor` não passa nesse teste, fazemos uma chamada a `panic!`, que vai alertar ao programador que está escrevendo o código chamando a função que ele tem um bug que precisa ser corrigido, porque criar um `Palpite` com um `valor` fora desses limites violaria o contrato em que `Palpite::new` se baseia. As condições em que `Palpite::new` pode entrar em pânico devem ser discutidas na sua documentação da API voltada ao público; no Capítulo 14 nós cobriremos convenções de documentação indicando a possibilidade de um `panic!` na documentação de API. Se `valor` de fato passa no teste, criamos um novo `Palpite` com o campo `valor` preenchido com o parâmetro `valor` e retornamos o `Palpite`.

Em seguida, implementamos um método chamado `valor` que pega `self` emprestado, não

tem nenhum outro parâmetro, e retorna um `u32`. Esse é o tipo de método às vezes chamado de *getter*, pois seu propósito é pegar um dado de um dos campos e o retornar. Esse método público é necessário porque o campo `valor` da struct `Palpite` é privado. É importante que o campo `valor` seja privado para que código usando a struct `Palpite` não tenha permissão de definir o valor de `valor` diretamente: código de fora do módulo *deve* usar a função `Palpite::new` para criar uma instância de `Palpite`, o que certifica que não há maneira de um `Palpite` ter um `valor` que não foi checado pelas condições definidas na função `Palpite::new`.

Uma função que tem um parâmetro ou retorna somente números entre 1 e 100 pode então declarar na sua assinatura que ela recebe ou retorna um `Palpite` em vez de um `u32` e não precisaria fazer nenhuma checagem adicional no seu corpo.

Resumo

As ferramentas de tratamento de erros de Rust são feitas para te ajudar a escrever código mais robusto. A macro `panic!` sinaliza que seu programa está num estado que não consegue lidar e deixa você parar o processo ao invés de tentar prosseguir com valores inválidos ou incorretos. O enum `Result` usa o sistema de tipos de Rust para indicar que operações podem falhar de uma maneira que seu código pode se recuperar. Você pode usar `Result` para dizer ao código que chama seu código que ele precisa tratar potenciais sucessos ou falhas também. Usar `panic!` e `Result` nas situações apropriadas fará seu código mais confiável em face aos problemas inevitáveis.

Agora que você viu as maneiras úteis em que a biblioteca padrão usa genéricos com os enums `Option` e `Result`, nós falaremos como genéricos funcionam e como você pode usá-los em seu código no próximo capítulo.

Tipos Genéricos, *Traits*, e Tempos de vida (*Lifetimes*)

Cada linguagem de programação tem ferramentas para lidar de forma efetiva com a duplicação de conceitos; em Rust, uma dessas ferramentas são os tipos genéricos. Tipos genéricos são substitutos abstratos para tipos concretos ou para outras propriedades. Quando estamos escrevendo e compilando o código podemos expressar propriedades de tipos genéricos, como seu comportamento ou como eles se relacionam com outros tipos genéricos, sem precisar saber o que realmente estará no lugar deles.

Do mesmo modo que uma função aceita parâmetros cujos valores não sabemos para escrever código que será processado em múltiplos valores concretos, nós podemos escrever funções que recebem parâmetros de alguns tipos genéricos ao invés de tipos concretos como `i32` ou `String`. Nós já usamos tipos genéricos no Capítulo 6 com `Option<T>`, no Capítulo 8 com `Vec<T>` e `HashMap<K, V>`, e no Capítulo 9 com `Result<T, E>`. Nesse capítulo, vamos explorar como definir nossos próprios tipos, funções e métodos usando tipos genéricos!

Primeiro, nós vamos revisar as mecânicas de extrair uma função que reduz duplicação de código. Então usaremos a mesma mecânica para fazer uma função genérica usando duas funções que só diferem uma da outra nos tipos dos seus parâmetros. Nós vamos usar tipos genéricos em definições de `struct` e `enum` também.

Depois disso, nós vamos discutir `traits`, que são um modo de definir comportamento de uma forma genérica. `Traits` podem ser combinados com tipos genéricos para restringir um tipo genérico aos tipos que tem um comportamento particular ao invés de qualquer tipo.

Finalmente, nós discutiremos *tempos de vida*, que são um tipo de generalização que nos permite dar ao compilador informações sobre como as referências são relacionadas umas com as outras. *Tempos de vida* são as características em Rust que nos permitem pegar valores emprestados em muitas situações e ainda ter a aprovação do compilador de que as referências serão válidas.

Removendo Duplicação por meio da Extração de uma Função

Antes de entrar na sintaxe de tipos genéricos, vamos primeiro revisar uma técnica para lidar com duplicatas que não usa tipos genéricos: extrair uma função. Uma vez que isso esteja fresco em nossas mentes, usaremos as mesmas mecânicas com tipos genéricos para extrair uma função genérica! Do mesmo modo que você reconhece código duplicado para extrair para uma função, você começará a reconhecer código duplicado que pode usar tipos genéricos.

Considere um pequeno programa que acha o maior número em uma lista, mostrado na Listagem 10-1:

Nome do arquivo: `src/main.rs`


```
fn main() {  
    let lista_numero = vec![34, 50, 25, 100, 65];  
  
    let mut maior = lista_numero[0];  
  
    for numero in lista_numero {  
        if numero > maior {  
            maior = numero;  
        }  
    }  
  
    println!("O maior número é {}", maior);  
}
```

Listagem 10-1: Código para achar o maior número em uma lista de números

Esse código recebe uma lista de inteiros, guardados aqui na variável `lista_numero`. Coloca o primeiro item da lista na variável chamada `maior`. Então ele itera por todos os números da lista, e se o valor atual é maior que o número guardado em `maior`, substitui o valor em `maior`. Se o valor atual é menor que o valor visto até então, `maior` não é mudado. Quando todos os itens da lista foram considerados, `maior` terá o maior valor, que nesse caso é 100.

Se nós precisássemos encontrar o maior número em duas listas diferentes de números, nós poderíamos duplicar o código da Listagem 10-1 e usar a mesma lógica nas duas partes do programa, como na Listagem 10-2:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let lista_numero = vec![34, 50, 25, 100, 65];  
  
    let mut maior = lista_numero[0];  
  
    for numero in lista_numero {  
        if numero > maior {  
            maior = numero;  
        }  
    }  
  
    println!("O maior número é {}", maior);  
  
    let lista_numero = vec![102, 34, 6000, 89, 54, 2, 43, 8];  
  
    let mut maior = lista_numero[0];  
  
    for numero in lista_numero {  
        if numero > maior {  
            maior = numero;  
        }  
    }  
  
    println!("O maior número é {}", maior);  
}
```

Listagem 10-2: Código para encontrar o maior número em duas listas de números

Ao passo que esse código funciona, duplicar código é tedioso e tende a causar erros, e significa que temos múltiplos lugares para atualizar a lógica se precisarmos mudá-lo.

Para eliminar essa duplicação, nós podemos criar uma abstração, que nesse caso será na forma de uma função que opera em uma lista de inteiros passadas à função como um parâmetro. Isso aumentará a clareza do nosso código e nos permitirá comunicar e pensar sobre o conceito de achar o maior número em uma lista independentemente do lugar no qual esse conceito é usado.

No programa na Listagem 10-3, nós extraímos o código que encontra o maior número para uma função chamada `maior`. Esse programa pode achar o maior número em duas listas de números diferentes, mas o código da lista 10-1 existe apenas em um lugar:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn maior(list: &[i32]) -> i32 {
    let mut maior = list[0];

    for &item in list.iter() {
        if item > maior {
            maior = item;
        }
    }

    maior
}

fn main() {
    let lista_numero = vec![34, 50, 25, 100, 65];

    let resultado = maior(&lista_numero);
    println!("O maior número é {}", resultado);

    let lista_numero = vec![102, 34, 6000, 89, 54, 2, 43, 8];

    let resultado = maior(&lista_numero);
    println!("O maior número é {}", resultado);
}
```

Listagem 10-3: Código abstraído para encontrar o maior número em duas listas

A função tem o parâmetro, `list`, que representa qualquer corte concreto de valores `i32` que podemos passar para uma função. O código na definição da função opera na representação da `list` de qualquer `&[i32]`. Quando nós passamos a função `maior`, o código é executado com os valores específicos que nós passamos.

As mecânicas que usamos da Listagem 10-2 para a Listagem 10-3 foram as seguintes:

1. Nós notamos que havia código duplicado.
2. Nós extraímos o código duplicado para o corpo da função, e especificamos as entradas e os valores de retorno daquele código na assinatura da função.
3. Nós substituímos os dois locais concretos que tinham código duplicado para chamar a função.

Nós podemos usar os mesmos passos usando tipos genéricos para reduzir a duplicação de código de diferentes modos em diferentes cenários. Do mesmo modo que o corpo da função agora é operado em uma `list` abstrata ao invés de valores concretos, códigos usando tipos genéricos operarão em tipos abstratos. Os conceitos empoderando tipos genéricos são os mesmos conceitos que você já conhece que empodera funções, só que aplicado de modos diferentes.

E se nós tivéssemos duas funções, uma que acha o maior item em um *slice* de valores `i32` e

um que acha o maior item em um corte de valores `char` ? Como nos livraríamos dessa duplicação? Vamos descobrir!

Tipos Genéricos de Dados

Usando tipos genéricos onde usualmente colocamos tipos, como em assinaturas de funções ou estruturas, vamos criar definições que podemos usar muitos tipos diferentes de tipos concretos de dados. Vamos dar uma olhada em como definir funções, structs, enums e métodos usando tipos genéricos, e ao final dessa seção discutiremos a performance do código usando tipos genéricos.

Usando Tipos Genéricos de Dados em Definições de Funções

Nós podemos definir funções que usam tipos genéricos na assinatura da função onde os tipos de dados dos parâmetros e os retornos vão. Desse modo, o código que escrevemos pode ser mais flexível e pode fornecer mais funcionalidades para os chamadores da nossa função, e ainda diminuir duplicação de código.

Continuando com nossa função `maior`, a Listagem 10-4 mostra duas funções que oferecem a mesma funcionalidade de encontrar o maior valor dado um corte. A primeira função é a que extraímos na Listagem 10-3 que encontra o maior `i32` em um corte. A segunda função encontra o maior `char` em um corte:

Nome do Arquivo: `src/main.rs`

```
fn maior_i32(lista: &[i32]) -> i32 {
    let mut maior = lista[0];

    for &item in lista.iter() {
        if item > maior {
            maior = item;
        }
    }

    maior
}

fn maior_char(lista: &[char]) -> char {
    let mut maior = lista[0];

    for &item in lista.iter() {
        if item > maior {
            maior = item;
        }
    }

    maior
}

fn main() {
    let lista_numero = vec![34, 50, 25, 100, 65];

    let resultado = maior_i32(&lista_numero);
    println!("O maior número {}", resultado);

    let lista_char = vec!['y', 'm', 'a', 'q'];

    let resultado = maior_char(&lista_char);
    println!("O maior char é {}", resultado);
}
```

Listing 10-4: Duas funções que diferem apenas em seus nomes e nos tipos de suas assinaturas

Aqui as funções `maior_i32` e `maior_char` tem exatamente o mesmo corpo, então seria bom se pudéssemos transformar essas duas funções em uma e nos livrar da duplicação. Por sorte, nós podemos fazer isso introduzindo um parâmetro de tipo genérico!

Para parametrizar os tipos na assinatura de uma função que vamos definir, precisamos criar um nome para o tipo parâmetro, assim como damos nomes para os valores dos parâmetros de uma função. Nós vamos escolher o nome `T`. Qualquer identificador pode ser usado como um nome de tipo de parâmetro, mas estamos escolhendo `T` porque a convenção de nomes de tipos de Rust é a CamelCase. Nomes de parâmetros de tipos genéricos também tendem a ser curtos por convenção, e frequentemente usam apenas uma letra. A

abreviatura de "tipo", τ é a escolha padrão feita por programadores Rust.

Quando usamos um parâmetro no corpo de uma função, nós temos que declarar o parâmetro na assinatura para que o compilador saiba o que aquele nome no corpo significa. Similarmente, quando usamos um tipo de nome de parâmetro em uma assinatura de função, temos que declarar o tipo de nome de parâmetro antes de usa-lo. Declarações de tipos de nomes vão em colchetes entre o nome da função e a lista de parâmetros.

A assinatura da função da função genérica `maior` que vamos definir se parecerá com isto:

```
fn maior<T>(lista: &[T]) -> T {
```

Nós leríamos isso como: a função `maior` é genérica sobre algum tipo τ . Ela tem um parâmetro chamado `lista`, e o tipo de `lista` é um corte dos valores do tipo τ . A função `maior` retornará um valor do mesmo tipo τ .

A listagem 10-5 mostra a definição da função unificada `maior` usando um tipo genérico de dado na sua assinatura, e mostra quando nós poderemos chamar a função `maior` com ou um corte de valores de `i32` ou de valores `char`. Note que esse código não compilará ainda!

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn maior<T>(lista: &[T]) -> T {
    let mut maior = lista[0];

    for &item in lista.iter() {
        if item > maior {
            maior = item;
        }
    }

    maior
}

fn main() {
    let lista_numero = vec![34, 50, 25, 100, 65];

    let resultado = maior(&lista_numero);
    println!("The maior number is {}", resultado);

    let lista_char = vec!['y', 'm', 'a', 'q'];

    let resultado = maior(&char_lista);
    println!("O maior char e {}", resultado);
}
```

Listagem 10-5: Uma definição para a função `maior` que usa um tipo genérico como

parâmetro mas não compila ainda

Se nós tentarmos compilar o código agora, nós receberemos esse erro:

```
error[E0369]: binary operation `>` cannot be applied to type `T`
  |
5 |         if item > maior {
  |               ^^^^^
note: an implementation of `std::cmp::PartialOrd` might be missing for `T`
```

A nota menciona `std::cmp::PartialOrd`, que é um *trait*. Nós vamos falar sobre *trait* na próxima sessão, mas de forma breve, o que esse erro está dizendo é que o corpo de `maior` não funcionará para todos os possíveis tipos que `T` poderia ser; já que queremos comparar valores do tipo `T` no corpo, nós podemos apenas usar tipos que sabem como ser ordenados. A biblioteca padrão definiu que o *trait* `std::cmp::PartialOrd` que tipos podem implementar para habilitar comparações. Vamos voltar a *traits* e em como especificar que um tipo genérico tenha um *trait* em particular na próxima sessão, mas vamos deixar isso de lado por um momento e explorar outros lugares que podemos usar parâmetros de tipos genéricos primeiro.

Usando Tipos de Dados Genéros em Definições de Structs

Nós podemos definir structs para usar um parâmetro de tipo genérico em um ou mais campos de um struct com a sintaxe `<>` também. A listagem 10-6 mostra a definição e faz uso do struct `Ponto` que contém as coordenadas `x` e `y` com valores de qualquer tipo:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
struct Ponto<T> {
    x: T,
    y: T,
}

fn main() {
    let inteiro = Ponto { x: 5, y: 10 };
    let float = Ponto { x: 1.0, y: 4.0 };
}
```

Listagem 10-6: Uma struct `Ponto` contém os valores `x` e `y` do tipo `T`

A sintaxe é similar a que se usa em definições de funções usando tipos genéricos. Primeiro, nós temos que declarar o nome do tipo de parâmetro dentro de colchetes angulares logo após o nome da struct. Então nós podemos usar tipos genéricos na definição da struct onde

nós especificaríamos tipos concretos de dados.

Note que porque só usamos um tipo genérico na definição de `Ponto`, o que estamos dizendo é que o struct `Ponto` é genérico sobre algum tipo `T`, e os campos `x` e `y` são *ambos* do mesmo tipo, qualquer que seja. Se nós tentarmos criar uma instância de um `Ponto` que possui valores de tipos diferentes, como na Listagem 10-7, nosso código não compilará:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
struct Ponto<T> {
    x: T,
    y: T,
}

fn main() {
    let nao_funciona = Ponto { x: 5, y: 4.0 };
}
```

Listagem 10-7: Os campos `x` e `y` precisam ser do mesmo tipo porque ambos tem o tipo genérico de dado `T`

Se nós tentarmos compilar isso, receberemos o seguinte erro:

```
error[E0308]: mismatched types
-->
|
7 |     let nao_funciona = Point { x: 5, y: 4.0 };
|                                     ^^^ expected integral variable,
found
    floating-point variable
|
= note: expected type `{integer}`
= note:   found type `{float}`
```

Quando atribuímos o valor de 5 para `x`, o compilador sabe que para essa instância de `Ponto` o tipo genérico `T` será um número inteiro. Então quando especificamos 4.0 para `y`, o qual é definido para ter o mesmo tipo de `x`, nós temos um tipo de erro de incompatibilidade.

Se nós quisermos definir um struct de `Ponto` onde `x` e `y` têm tipos diferentes e quisermos fazer com que esses tipos sejam genéricos, nós podemos usar parâmetros múltiplos de tipos genéricos. Na listagem 10-8, nós mudamos a definição do `Ponto` para os tipos genéricos `T` e `U`. O campo `x` é do tipo `T`, e o campo `y` do tipo `U`:

Nome do arquivo: `src/main.rs`


```
struct Ponto<T, U> {  
    x: T,  
    y: U,  
}  
  
fn main() {  
    let ambos_inteiros = Ponto { x: 5, y: 10 };  
    let ambos_floats = Ponto { x: 1.0, y: 4.0 };  
    let inteiro_e_float = Ponto { x: 5, y: 4.0 };  
}
```

Listagem 10-8: Um `Ponto` genérico sobre dois tipos `x` e `y` podem ser valores de tipos diferentes

Agora todas as instâncias de `Ponto` são permitidas! Você pode usar quantos parâmetros de tipos genéricos em uma definição quanto quiser, mas usar mais que alguns começa a tornar o código difícil de ler e entender. Se você chegar em um ponto que precisa usar muitos tipos genéricos, é provavelmente um sinal que seu código poderia ser reestruturado e separado em partes menores.

Usando Tipos de Dados Genéricos em Definições de Enum

Similar a structs, enums podem ser definidos para conter tipos genéricos de dados nas suas variantes. Nós usamos o enum `Option<T>` concedido pela biblioteca padrão no capítulo 6, e agora a definição deve fazer mais sentido. Vamos dar uma outra olhada:

```
enum Option<T> {  
    Some(T),  
    None,  
}
```

Em outras palavras, `Option<T>` é um enum genérico do tipo `T`. Ele tem duas variantes: `Some`, que contém o valor do tipo `T`, e uma variante `None` que não contém nenhum valor. A biblioteca padrão tem que ter apenas essa definição para suportar a criação de valores desse enum que pode conter qualquer tipo concreto. A ideia de um "um valor opcional" é um conceito mais abstrato que o de um tipo específico, e Rust nos deixa expressar esse conceito abstrato sem muitas duplicações.

Enums podem usar tipos múltiplos genéricos também. A definição do enum `Resultado` que usamos no Capítulo 9 é um exemplo:

```
enum Resultado<T, E> {  
    Ok(T),  
    Err(E),  
}
```

O enum `Resultado` é genérico sobre dois tipos, `T` e `E`. `Resultado` tem duas variantes: `Ok`, que contém um valor do tipo `T`, e `Err`, que contém um valor do tipo `E`. Essa definição faz com que seja conveniente usar o enum `Resultado` em qualquer lugar que tenhamos uma operação que possa ser bem sucedida (e retornar um valor de algum tipo `T`) ou falhar (e retornar um erro de algum tipo `E`). Lembre da Listagem 9-2 quando abrimos um arquivo: naquele caso, `T` tinha o tipo `std::fs::File` quando o arquivo era aberto com sucesso e `E` tinha o tipo `std::io::Error` quando havia problemas em abrir o arquivo.

Quando você reconhece situações no seu código com structs múltiplos ou definições de enum que diferem apenas nos tipos de valores que eles contém, você pode remover a duplicata usando o mesmo processo usado na definição de funções para introduzir tipos genéricos.

Usando Tipos Genéricos de Dados em Definições de Métodos

Como fizemos no Capítulo 5, nós podemos implementar métodos em estruturas e enums que têm tipos genéricos em suas definições. A Listagem 10-9 mostra o struct `Ponto<T>` que definimos na Listagem 10-6. Nós, então, definimos um método chamado `x` no `Ponto<T>` que retorna a referência para o dado no campo `x`:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
struct Ponto<T> {  
    x: T,  
    y: T,  
}  
  
impl<T> Ponto<T> {  
    fn x(&self) -> &T {  
        &self.x  
    }  
}  
  
fn main() {  
    let p = Ponto { x: 5, y: 10 };  
  
    println!("p.x = {}", p.x());  
}
```

Listagem 10-9: Implementando um método chamado `x` na struct `Ponto<T>` que retornará uma referência para o campo `x`, que é do tipo `T`.

Note que temos que declarar `T` logo após `impl` para usar `T` no tipo `Ponto<T>`. Declarar `T` como um tipo genérico depois e `impl` é como o Rust sabe se o tipo dentro das chaves angulares em `Ponto` é um tipo genérico ou um tipo concreto. Por exemplo, nós poderíamos escolher implementar métodos nas instâncias de `Ponto<f32>` ao invés nas de `Ponto` com qualquer tipo genérico. A listagem 10-10 mostra que não declaramos nada depois de `impl` nesse caso, já que estamos usando um tipo concreto, `f32`:

```
impl Ponto<f32> {
    fn distancia_da_origem(&self) -> f32 {
        (self.x.powi(2) + self.y.powi(2)).sqrt()
    }
}
```

Listagem 10-10: Construindo um bloco de `impl` que só se aplica a uma struct com o tipo específico usado pelo parâmetro de tipo genérico `T`

Esse código significa que o tipo `Ponto<f32>` terá um método chamado `distancia_da_origem`, e outras instâncias do `Ponto<T>` onde `T` não é do tipo `f32` não terá esse método definido. Esse método quão longe nosso ponto está das coordenadas (0.0, 0.0) e usa operações matemáticas que só estão disponíveis para tipos de ponto-flutuantes.

Parâmetros de tipos genéricos em uma definição de struct não são sempre os parâmetros de tipos genéricos que você quer usar na assinatura de método daquela struct. A Listagem 10-11 define um método `mistura` na estrutura `Ponto<T, U>` da Listagem 10-8. O método recebe outro `Ponto` como parâmetro, que pode ter tipos diferentes de `self Ponto` dos quais usamos no `mistura`. O método cria uma nova instância de `Ponto` que possui o valor `x` de `self Ponto` (que é um tipo de `T`) e o valor de `y` passado de `Ponto` (que é do tipo `W`):

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```

struct Ponto<T, U> {
    x: T,
    y: U,
}

impl<T, U> Ponto<T, U> {
    fn mistura<V, W>(self, other: Ponto<V, W>) -> Ponto<T, W> {
        Ponto {
            x: self.x,
            y: other.y,
        }
    }
}

fn main() {
    let p1 = Ponto { x: 5, y: 10.4 };
    let p2 = Ponto { x: "01a", y: 'c' };

    let p3 = p1.mistura(p2);

    println!("p3.x = {}, p3.y = {}", p3.x, p3.y);
}

```

Listagem 10-11: Métodos que usam diferentes tipos genéricos das suas definições de struct

No `main`, nós definimos um `Ponto` que tem um `i32` para o `x` (com o valor de `5`) e um `f64` para `y` (com o valor de `10.4`). `p2` é um `Ponto` que tem um pedaço de string `x` (com o valor `"01a"`) e um `char` para `y` (com o valor `c`). Chamando `mistura` no `p1` com o argumento `p2` nos dá `p3`, que terá um `i32` para `x`, já que `x` veio de `p1`. `p3` terá um `char` para `y`, já que `y` veio de `p2`. O `println!` irá imprimir `p3.x = 5`, `p3.y = c`.

Note que os parâmetro genéricos `T` e `U` são declarados depois de `impl`, já que eles vão com a definição do struct. Os parâmetros genéricos `V` e `W` são declarados depois de `fn mistura`, já que eles só são relevantes para esse método.

Desempenho do Código Usando Genéricos

Você pode estar lendo essa seção e imaginando se há um custo no tempo de execução para usar parâmetros de tipos genéricos. Boas notícias: o modo como Rust implementa tipos genéricos significa que seu código não vai ser executado mais devagar do que se você tivesse especificado tipos concretos ao invés de tipos genéricos como parâmetros!

Rust consegue fazer isso realizando *monomorfização* de código usando tipos genéricos em tempo de compilação. Monomorfização é o processo de transformar código genérico em código específico substituindo os tipos genéricos pelos tipos concretos que são realmente

utilizados.

O que o compilador faz é o oposto dos passos que fizemos para criar uma função de tipo genérico na Listagem 10-5. O compilador olha para todos os lugares que o código genérico é chamado e gera o código para os tipos concretos que o código genérico é chamado.

Vamos trabalhar sobre o exemplo que usa o padrão de enum `Option` da biblioteca:

```
let inteiro = Some(5);  
let float = Some(5.0);
```

Quando o Rust compilar esse código, ele vai fazer a monomorfização. O compilador lerá os valores que foram passados para `Option` e ver que temos dois tipos de `Option<T>`: um é `i32`, e o outro `f64`. Assim sendo, ele expandirá a definição genérica de `Option<T>` para `Option_i32` e `Option_f64`, substituindo a definição genérica por definições específicas.

A versão monomorfizada do nosso código que o compilador gera é a seguinte, com os usos da `Option` genérica substituídos pelas definições específicas criadas pelo compilador:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
enum Option_i32 {  
    Some(i32),  
    None,  
}  
  
enum Option_f64 {  
    Some(f64),  
    None,  
}  
  
fn main() {  
    let inteiro = Option_i32::Some(5);  
    let float = Option_f64::Some(5.0);  
}
```

Nós podemos escrever códigos não duplicados usando tipos genéricos, e Rust vai compila-lo em código que especifica o tipo em cada instância. Isso significa que não pagamos nenhum custo em tempo de processamento para usar tipos genéricos; quando o código roda, ele executa do mesmo modo como executaria se tivéssemos duplicado cada definição particular a mão. O processo de monomorfização é o que faz os tipos genéricos de Rust serem extremamente eficientes em tempo de processamento.

Traits: Definindo Comportamento Compartilhado

Traits nos permitem usar outro tipo de abstração: eles nos permitem abstrair sobre o comportamento que tipos têm em comum. Um *trait* diz ao compilador de Rust sobre uma funcionalidade que um tipo particular possui e pode compartilhar com outros tipos. Em situações onde nós usamos parâmetros de tipos genéricos, nós podemos usar *limites de trait* para especificar, em tempo de compilação, que o tipo genérico pode ser qualquer tipo que implementa um trait e por conseguinte tem o comportamento que queremos usar nessa situação.

Nota: *Traits* são similares a um recurso frequentemente chamado de 'interface' em outras linguagens, com algumas diferenças.

Definindo um Trait

O comportamento de um tipo consiste nos métodos que podemos chamar para aquele tipo. Tipos diferentes dividem o mesmo comportamento se podemos chamar os mesmos métodos em todos esses tipos. Definições de traits são um modo de agrupar métodos de assinaturas juntos a fim de definir um conjunto de comportamentos para atingir algum propósito.

Por exemplo, digamos que temos múltiplos structs que contém vários tipos e quantidades de texto: um struct `ArtigoDeNoticias` que contém uma notícia preenchida em um lugar do mundo, e um `Tweet` que pode ter no máximo 140 caracteres em seu conteúdo além dos metadados como se ele foi um retweet ou uma resposta a outro tweet.

Nós queremos fazer uma biblioteca agregadora de mídia que pode mostrar resumos de dados que podem estar guardados em uma instância de `ArtigoDeNoticia` ou `Tweet`. O comportamento que precisamos cada struct possua é que seja capaz de ser resumido, e que nós possamos pedir pelo resumo chamando um método `resumo` em uma instância. A Listagem 10-12 mostra a definição de um trait `Resumir` que expressa esse conceito:

Nome do arquivo: lib.rs

```
pub trait Resumir {  
    fn resumo(&self) -> String;  
}
```

Listagem 10-12: Definição de um trait `Resumir` que consiste no comportamento fornecido

pelo método `resumo`

Nós declaramos um `trait` com a palavra-chave `trait`, e então o nome do `trait`, nesse caso `Resumir`. Dentro de chaves declaramos a assinatura do método que descreve o comportamento que tipos que implementam esse `trait` precisarão ter, nesse caso `fn resumo(&self) -> String;`. Depois da assinatura do método ao invés de fornecer uma implementação dentro de chaves, nós colocamos um ponto e vírgula. Cada tipo que implementa esse `trait` precisa então fornecer seu próprio comportamento customizado para o corpo do método, mas o compilador vai reforçar que qualquer qualquer tipo que tenha o `trait Resumir` terá o método `resumo` definido para ele com esse exata assinatura.

Um `trait` pode ter vários métodos no seu corpo, com os métodos das assinaturas listados um por linha e cada linha terminando com um ponto e vírgula.

Implementando um Trait em um Tipo

Agora que definimos o `trait Resumir`, podemos implementá-lo nos tipos do nosso agregador de mídias que queremos que tenham esse comportamento. A Listagem 10-13 mostra uma implementação do `trait Resumir` no `struct ArtigoNotícia` que possui o título, o autor e a localização para criar e retornar o valor de `resumo`. Para o `struct Tweet`, nós escolhemos definir `resumo` como o nome de usuário seguido por todo o texto do tweet, assumindo que o conteúdo do tweet já está limitado a 140 caracteres.

Nome do arquivo: `lib.rs`

```
pub struct ArtigoDeNoticia {
    pub titulo: String,
    pub local: String,
    pub autor: String,
    pub conteudo: String,
}

impl Resumir for ArtigoDeNoticia {
    fn resumo(&self) -> String {
        format!("{}, by {} ({})", self.titulo, self.autor, self.local)
    }
}

pub struct Tweet {
    pub nomeusuario: String,
    pub conteudo: String,
    pub resposta: bool,
    pub retweet: bool,
}

impl Resumir for Tweet {
    fn resumo(&self) -> String {
        format!("{: {}]", self.nomeusuario, self.conteudo)
    }
}
```

Listagem 10-13: Implementando o trait `Resumir` nos tipos `ArtigoDeNoticia` e `Tweet`

Implementar um trait em um tipo é similar a implementar métodos que não estão relacionados com um trait. A diferença está depois de `impl`, nós colocamos o nome do trait que queremos implementar, então dizemos `for` e o nome do tipo que queremos implementar. Dentro do bloco `impl`, nós colocamos as assinaturas dos métodos que a definição do trait definiu, mas ao invés de colocar um ponto e vírgula depois de cada assinatura, nós colocamos chaves e preenchemos o corpo do método com o comportamento específico que queremos que os métodos dos traits tenham para um tipo particular.

Uma vez que implementamos o trait, nós podemos chamar os métodos nas instâncias de `ArtigoDeNoticia` e `Tweet` da mesma maneira que nós chamamos métodos que não são parte de um trait:


```
let tweet = Tweet {
    nomeUsuario: String::from("horse_ebooks"),
    conteudo: String::from("claro, como vocês provavelmente já sabem,
    pessoas"),
    resposta: false,
    retweet: false,
};

println!("1 novo tweet: {}", tweet.summary());
```

Isso irá imprimir 1 novo tweet: claro, como vocês provavelmente já sabem, pessoas

Note que porque nós definimos o trait `Resumir` e os tipos `ArtigoDeNoticia` e `Tweet` todos na mesma `lib.rs` na listagem 10-13, eles estão todos no mesmo escopo. Se essa `lib.rs` é para um crate nós chamamos `agregador`, e se outra pessoa quiser usar a funcionalidade do nosso crate e implementar o trait `Resumir` na sua struct `PrevisaoTempo`, o código deles precisaria importar o trait `Resumir` no escopo deles primeiro antes deles poderem implementá-lo, como na Listagem 10-14:

Nome do arquivo: `lib.rs`

```
extern crate aggregator;

use aggregator::Resumir;

struct PrevisaoTempo {
    alta_temp: f64,
    baixa_temp: f64,
    chance_de_chuva: f64,
}

impl Resumir for PrevisaoTempo {
    fn resumo(&self) -> String {
        format!("A alta será de {}, e a baixa de {}. A chance de precipitação é {}%.", self.alta_temp, self.baixa_temp, self.chance_de_chuva)
    }
}
```

Listagem 10-14: Trazendo o trait `Resumir` do nosso crate `agregador` para o escopo de outro crate

Esse código também assume que `Resumir` é um trait público, o que é verdade porque colocamos a palavra-chave `pub` antes de `trait` na Listagem 10-12.

Uma restrição para se prestar atenção na implementação de traits: nós podemos implementar um trait em um tipo desde que o trait ou o tipo forem locais para o nosso crate. Em outras palavras, nós não estamos autorizados a implementar traits externos em

tipos externos. Nós não podemos implementar o trait `Display` em `Vec`, por exemplo, já que ambos `Display` e `Vec` são definidos na biblioteca padrão. Nós temos a permissão de implementar traits da biblioteca padrão como `Display` em um tipo personalizado como `Tweet` como parte da funcionalidade do nosso crate `aggregator`, já que nós já havíamos definido `Resumir` lá. Essa restrição é parte do que é chamado de a *regra do órfão*, qual você pode procurar se estiver interessado nesse tipo de teoria. De forma curta, é chamada de a regra do órfão porque o tipo pai não está presente. Sem essa regra, dois crates poderiam implementar o mesmo trait para o mesmo tipo, e as duas implementações entrariam em conflito: o Rust não saberia qual implementação usar. Porque o Rust impõe a regra do órfão, os códigos de outras pessoas não podem quebrar seu código e vice e versa.

Implementações Padrão

As vezes é útil ter um comportamento padrão pra alguns ou todos os métodos em um trait, ao invés de fazer toda implementação em todo tipo e definir um comportamento personalizado. Quando implementamos o trait em um tipo particular, nós podemos escolher manter ou sobrescrever o comportamento padrão de cada método.

A Listagem 10-15 mostra como poderíamos ter escolhido especificar uma string padrão para o método `resumo` do trait `Resumir` ao invés de escolher de apenas definir a assinatura do método como fizemos na Listagem 10-12:

Nome do arquivo: `lib.rs`

```
pub trait Resumir {
    fn resumo(&self) -> String {
        String::from("(Leia mais...)")
    }
}
```

Listagem 10-15: Definição de um trait `Resumir` com a implementação padrão do método `resumo`

Se nós quiséssemos usar a implementação padrão para resumir as instâncias de `ArtigoDeNoticia` ao invés de definir uma implementação personalizada como fizemos na Listagem 10-13, nós especificaríamos um bloco `impl` vazio:

```
impl Resumir for ArtigoDeNoticia {}
```

Mesmo que não estejamos mais escolhendo definir o método `resumo` diretamente em `ArtigoDeNoticia`, já que o método `resumo` tem uma implementação padrão e nós

especificamos que `ArtigoDeNoticia` implementa o trait `Resumir`, nós ainda podemos chamar o método `resumo` em uma instância de `ArtigoDeNoticia`:

```
let artigo = ArtigoDeNoticia {
    titulo: String::from("Os Penguins ganham a copa do campeonato Stanley"),
    lugar: String::from("Pittsburgh, PA, USA"),
    autor: String::from("Iceburgh"),
    conteudo: String::from("Os Penguins de Pittsburgh são novamente o melhor
    time de hockey da NHL."),
};

println!("Novo artigo disponível! {}", artigo.summary());
```

Esse código imprime `Novo artigo disponível! (Leia mais...)`

Mudando o trait `Resumir` para ter uma implementação padrão para `resumo` não requer que nós mudemos nada na implementação de `Resumir` em `Tweet` na Listagem 10-13 ou em `PrevisaoTempo` na Listagem 10-14: a sintaxe para sobrepor uma implementação padrão é exatamente a mesma de uma sintaxe para implementar um método de trait que não tem uma implementação padrão.

Implementações padrões são autorizadas a chamar outros métodos no mesmo trait, mesmo se os outros métodos não tiverem uma implementação padrão. Desse modo, um trait pode prover muitas funcionalidades úteis e apenas requerir implementações para especificar uma pequena parte dele. Nós poderíamos escolher que o trait `Resumir` também tivesse o método `resumo_autor` qual a implementação é necessária, então um método `resumo` que tem a implementação padrão que chama pelo método `resumo_autor`:

```
pub trait Resumir {
    fn resumo_autor(&self) -> String;

    fn resumo(&self) -> String {
        format!("(Leia mais de {}...)", self.resumo_autor())
    }
}
```

Para usar essa versão de `Resumir`, nós só precisamos definir `resumo_autor` quando nós implementamos o trait em um tipo:

```
impl Resumir for Tweet {
    fn autor_resumo(&self) -> String {
        format!("@{}", self.nomeusuario)
    }
}
```

Uma vez que definimos `resumo_autor`, nós podemos chamar `resumo` em instâncias do struct `Tweet`, e a implementação padrão de `resumo` chamará a definição de `resumo_autor` que fornecemos.

```
let tweet = Tweet {
    nomeusuario: String::from("horse_ebooks"),
    conteudo: String::from("claro, como vocês provavelmente já sabem,
    pessoas"),
    resposta: false,
    retweet: false,
};

println!("1 novo tweet: {}", tweet.resumo());
```

Isso irá imprimir `1 novo tweet: (Leia mais de @horse_ebooks...)`.

Note que não é possível chamar a implementação padrão de uma implementação primordial.

Limites de traits

Agora que definimos traits e os implementamos em tipos, podemos usar traits com parâmetros de tipos genéricos. Podemos restringir tipos genéricos para que ao invés de serem qualquer tipo, o compilador tenha certeza que o tipo estará limitado a aqueles tipos que implementam um trait em particular e por consequência tenham o comportamento que precisamos que os tipos tenham. Isso é chamado de especificar os *limites dos traits* em um tipo genérico.

Por exemplo, na Listagem 10-13, nós implementamos o trait `Resumir` nos tipos `ArtigoDeNoticia` e `Tweet`. Nós podemos definir uma função `notificar` que chama o método `resumo` no seu parâmetro `item`, que é do tipo genérico `T`. Para ser possível chamar `resumo` em `item` sem receber um erro, podemos usar os limites de traits em `T` para especificar que `item` precisa ser de um tipo que implementa o trait `Resumir`:

```
pub fn notificar<T: Resumir>(item: T) {
    println!("Notícias de última hora! {}", item.resumo());
}
```

Limites de traits vão juntos com a declaração de um parâmetro de tipo genérico, depois de uma vírgula e entre colchetes angulares. Por causa do limite de trait em `T`, nós podemos chamar `notificar` e passar qualquer instância de `ArtigoDeNoticia` ou `Tweet`. O código externo da Listagem 10-14 que está usando nosso crate `aggregator` pode chamar nossa função `notificar` e passar uma instância de `PrevisaoTempo`, já que `Resumir` é

implementado para `PrevisaoTempo` também. O código que chama `notificar` com qualquer outro tipo, como uma `String` ou um `i32`, não compilará, já que esses tipos não implementam `Resumir`.

Nós podemos especificar múltiplos limites de traits em um tipo genérico usando `+`. Se nós precisássemos ser capazes de usar mostrar formatação no tipo `T` em uma função assim como no método `resumo`, nós podemos usar os limites de trait `T: Resumir + Mostrar`. Isso significa que `T` pode ser qualquer tipo que implemente ambos `Resumir` e `Mostrar`.

Para funções que têm múltiplos parâmetros de tipos genéricos, cada tipo genérico tem seu próprio limite de trait. Especificar muitas informações de limites de trait dentro de chaves angulares entre o nome de uma função e sua lista de parâmetros pode tornar o código difícil de ler, então há uma sintaxe alternativa para especificar limites de traits que nos permite movê-los para uma cláusula depois da assinatura da função. Então ao invés de:

```
fn alguma_funcao<T: Mostrar + Clone, U: Clone + Debug>(t: T, u: U) -> i32 {
```

Nós podemos escrever isso com uma cláusula de `where`:

```
fn alguma_funcao<T, U>(t: T, u: U) -> i32
    where T: Display + Clone,
          U: Clone + Debug
{
```

Isso é menos confuso e faz a assinatura da função ficar mais parecida à uma função sem ter vários limites de trait, nela o nome da função, a lista de parâmetros, e o tipo de retorno estão mais próximos.

Consertando a Função maior com Limites de Traits

Então qualquer hora que você queira usar um comportamento definido por um trait em um tipo genérico, você precisa especificar aquele trait nos limites dos parâmetros dos tipos genéricos. Agora podemos consertar a definição da função `maior` que usa um parâmetro de tipo genérico da Listagem 10-5! Quando deixamos esse código de lado, nós recebemos esse erro:

```
error[E0369]: binary operation `>` cannot be applied to type `T`
 5 |         if item > maior {
   |               ^^^^^
note: an implementation of `std::cmp::PartialOrd` might be missing for `T`
```

No corpo de `maior` nós queríamos ser capazes de comparar dois valores de tipo `T` usando o operador maior-que. Esse operador é definido com o método padrão na biblioteca padrão de `trait std::cmp::PartialOrd`. Então para que possamos usar o operador maior-que, precisamos especificar `PartialOrd` nos limites do `trait` para `T` para que a função `maior` funcione em partes de qualquer tipo que possa ser comparada. Não precisamos trazer `PartialOrd` para o escopo porque está no prelúdio.

```
fn maior<T: PartialOrd>(list: &[T]) -> T {
```

Se tentarmos compilar isso, receberemos diferentes erros:

```
error[E0508]: cannot move out of type `[T]`, a non-copy array
--> src/main.rs:4:23
 4 |         let mut maior = list[0];
  |           ----- ^^^^^^^^ cannot move out of here
  |           |
  |           hint: to prevent move, use `ref maior` or `ref mut maior`

error[E0507]: cannot move out of borrowed content
--> src/main.rs:6:9
 6 |         for &item in list.iter() {
  |           ^----
  |           ||
  |           |hint: to prevent move, use `ref item` or `ref mut item`
  |           cannot move out of borrowed content
```

A chave para esse erro é `cannot move out of type [T], a non-copy array`. Com nossas versões não genéricas da função `maior`, nós estávamos apenas tentando encontrar o maior `i32` ou `char`. Como discutimos no Capítulo 4, tipos como o `i32` e `char` que têm um tamanho conhecido podem ser armazenados na pilha, então eles implementam o `trait Copia`. Quando mudamos a função `maior` para ser genérica, agora é possível que o parâmetro `list` poderia ter tipos nele que não implementam o `trait Copia`, o que significa que não seríamos capazes de mover o valor para fora de `list[0]` para a variável `maior`.

Se quisermos ser capazes de chamar esse código com tipos que são `Copia`, nós podemos adicionar `Copia` para os limites de `trait` de `T`! A Listagem 10-16 mostra o código completo de uma função `maior` genérica que compilará desde que os tipos dos valores nessa parte que passamos para `maior` implementem ambos os `traits PartialOrd` e `Copia`, como `i32` e `char`:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```

fn maior<T: PartialOrd + Copy>(list: &[T]) -> T {
    let mut maior = list[0];

    for &item in list.iter() {
        if item > maior {
            maior = item;
        }
    }

    maior
}

fn main() {
    let lista_numero = vec![34, 50, 25, 100, 65];

    let result = maior(&lista_numero);
    println!("O maior número é {}", result);

    let lista_char = vec!['y', 'm', 'a', 'q'];

    let result = maior(&lista_char);
    println!("O maior char é {}", result);
}

```

Listagem 10-16: Uma definição funcional da função `maior` que funciona em qualquer tipo genérico que implementa os traits `PartialOrd` e `Copia`

Se não quisermos restringir nossa função `maior` para apenas tipos que implementam o trait `Copia`, podemos especificar que `T` tem o limite de trait `Clone` ao invés de `Copia` e clonar cada valor na parte quando quisermos que a função `maior` tenha domínio. Usando a função `clone` significa que potencialmente estamos fazendo mais alocações no heap, porém, e alocações no heap podem ser vagarosas se estivermos trabalhando com grande quantidade de dados. Outro jeito que podemos implementar `maior` é para a função retornar uma referência ao valor de `T` em uma parte. Se retornarmos o tipo de retorno para ser `&T` ao invés de `T` e mudar o corpo da função para retornar uma referência, não precisaríamos usar os limites de traits `Clone` ou `Copia` e nós não estaríamos fazendo nenhuma alocação de heap. Tente implementar essas soluções alternativas você mesmo!

Usando Limites de Trait para Implementar Métodos Condicionalmente

Usando um limite de trait com um bloco `impl` que usa parâmetros de tipos genéricos podemos implementar métodos condicionalmente apenas para tipos que implementam os traits específicos. Por exemplo, o tipo `Par<T>` na listagem 10-17 sempre implementa o método `novo`, mas `Par<T>` implementa apenas o `cmp_display` se seu tipo interno `T`

implementa o trait `PartialOrd` que permite a comparação e do trait `Display` que permite a impressão:

```
use std::fmt::Display;

struct Par<T> {
    x: T,
    y: T,
}

impl<T> Par<T> {
    fn novo(x: T, y: T) -> Self {
        Self {
            x,
            y,
        }
    }
}

impl<T: Display + PartialOrd> Par<T> {
    fn cmp_display(&self) {
        if self.x >= self.y {
            println!("O maior membro é x = {}", self.x);
        } else {
            println!("O maior membro é y = {}", self.y);
        }
    }
}
```

Listagem 10-17: Implementa métodos condicionalmente em um tipo genérico dependendo dos limites de trait

Podemos também condicionalmente implementar um trait para qualquer tipo que implementa um trait. Implementações de trait de qualquer tipo que satisfazem os limites de trait são chamadas de *implementações cobertores*, e são extensivamente utilizadas na biblioteca padrão de Rust. Por exemplo, a biblioteca padrão implementa o trait `Display`. Esse bloco `impl` se parece com este código:

```
impl<T: Display> ToString for T {
    // --snip--
}
```

Porque a biblioteca padrão tem essa implementação cobertor, podemos chamar o método `to_string` definido pelo tipo `ToString` em qualquer tipo que implemente o trait `Display`. Por exemplo, nós podemos transformar inteiros em seus correspondentes valores de `String` do seguinte modo, já que inteiros implementam `Display`:


```
let s = 3.to_string();
```

Implementações cobertor aparecem na documentação para traits na seção "Implementadores".

Traits e limites de traits nos deixam escrever código que usam parâmetros de tipos genéricos para reduzir a duplicação, mas ainda sim especificam para o compilador exatamente qual o comportamento que nosso código precisa que o tipo genérico tenha. Porque demos a informação do limite de trait para o compilador, ele pode checar que todos os tipos concretos usados no nosso código proporcionam o comportamento correto. Em linguagens dinamicamente tipadas, se nós tentássemos chamar um método em um tipo que não implementamos, nós receberíamos um erro em tempo de execução. O Rust move esses erros para o temp de compilação para que possamos ser forçados a resolver os problemas antes que nosso código seja capaz de rodar. Além disso, nós não temos que escrever código que checa o comportamento em tempo de execução já que já checamos em tempo de compilação, o que melhora o desempenho comparado com outras linguagens sem ter que abrir mão da flexibilidade de tipos genéricos.

Há outro tipo de tipos genéricos que estamos usando sem nem ao menos perceber chamados *lifetimes*. Em vez de nos ajudar a garantir que um tipo tenha o comportamento que precisamos, lifetimes nos ajudam a garantir que as referências são válidas tanto quanto precisam ser. Vamos aprender como lifetimes fazem isso.

Validating References with Lifetimes

Quandos falamos sobre referências no Capítulo 4, nós deixamos de fora um detalhe importante: toda referência em Rust tem um *lifetime*, que é o escopo no qual aquela referência é válida. A maior parte das vezes tempos de vida são implícitos e inferidos, assim como a maior parte do tempo tipos são inferidos. Similarmente quando temos que anotar tipos porque múltiplos tipos são possíveis, há casos em que os tempos de vida das referências poderiam estar relacionados de alguns modos diferentes, então Rust precisa que nós anotemos as relações usando parâmetros genéricos de tempo de vida para que ele tenha certeza que as referenciais reais usadas em tempo de execução serão definitivamente válidas.

Sim, é um pouco incomum, e será diferente de ferramentas que você usou em outras linguagens de programação. Tempos de vida são, de alguns jeitos, a característica mais distinta de Rust.

Tempos de vida são um tópico grande que não poderão ser cobertos inteiramente nesse capítulo, então nós vamos cobrir algumas formas comuns que você pode encontrar a sintaxe de tempo de vida nesse capítulo para que você se familiarize com os conceitos. O Capítulo 19 conterá informações mais avançadas sobre tudo que tempos de vida podem fazer.

Tempos de Vida Previnem Referências Soltas

O principal alvo de lifetimes é prevenir referências soltas, quais fazem com que o programa referencie dados quais nós não estamos querendo referenciar. Considere o programa na Listagem 10-18, com um escopo exterior e um interior. O escopo exterior declara uma variável chamada `r` com nenhum valor inicial, e o escopo interior declara uma variável chamada `x` com o valor inicial de 5. Dentro do escopo interior, nós tentamos estabelecer o valor de `r` como uma referência para `x`. Então, o escopo interior acaba, e nós tentamos imprimir o valor de `r`:

```
{
    let r;

    {
        let x = 5;
        r = &x;
    }

    println!("r: {}", r);
}
```

Listagem 10-18: Uma tentativa de usar uma referência cujo valor saiu de escopo

Variáveis Não Inicializadas Não Podem Ser Usadas

Os próximos exemplos declaram variáveis sem darem a elas um valor inicial, então o nome da variável existe no escopo exterior. Isso pode parecer um conflito com Rust não ter null. No entanto, se tentarmos usar uma variável antes de atribuir um valor a ela, nós teremos um erro em tempo de compilação. Tente!

Quando compilarmos esse código, nós teremos um erro:

```

error: `x` does not live long enough
  |
6  |         r = &x;
  |         - borrow occurs here
7  |     }
  |     ^ `x` dropped here while still borrowed
...
10 | }
   | - borrowed value needs to live until here

```

A variável `x` não "vive o suficiente". Por que não? Bem, `x` vai sair de escopo quando passarmos pela chave na linha 7, terminando o escopo interior. Mas `r` é válida para o escopo exterior; seu escopo é maior e dizemos que ela "vive mais tempo". Se Rust permitisse que esse código funcionasse, `r` estaria fazendo uma referência à memória que foi desalocada quando `x` saiu de escopo, e qualquer coisa que tentássemos fazer com `r` não funcionaria corretamente. Então como o Rust determina que esse código não deve ser permitido?

O Verificador de Empréstimos

A parte do compilador chamada de *verificador de empréstimos* compara escopos para determinar que todos os empréstimos são válidos. A Listagem 10-19 mostra o mesmo exemplo da Listagem 10-18 com anotações mostrando os tempos de vida das variáveis.

```

{
    let r;           // -----+--- 'a
                    //          |
    {
        let x = 5;   // -+-----+--- 'b
        r = &x;      //  |       |
    }               // -+       |
                    //          |
    println!("r: {}", r); // |
                    //          |
                    // -----+
}

```

Listagem 10-19: Anotações de tempos de vida de `r` e `x`, chamadas de `a` e `b` respectivamente

Nós anotamos o tempo de vida de `r` com `a` e o tempo de vida de `x` com `b`. Como você pode ver, o bloco interior de `'b` é bem menor que o bloco de tempo de vida do exterior `'a`. Em tempo de compilação, o Rust compara o tamanho dos dois tempos de vida e vê que `r` tem um tempo de vida de `'a`, mas que ele se refere a um objeto com um tempo de vida `'b`. O programa é rejeitado porque o tempo de vida de `'b` é mais curto que o tempo

de vida de 'a': o sujeito da referência não vive tanto quanto a referência.

Vamos olhar para o exemplo na Listagem 10-20 que não tenta fazer uma referência solta e compila sem nenhum erro:

```
{
    let x = 5;           // -----+-- 'b
                        //          |
    let r = &x;          // --+---+-- 'a
                        //          | |
    println!("r: {}", r); //          | |
                        // --+      |
}                        // -----+
```

Listagem 10-20: Uma referência válida porque os dados têm um tempo de vida maior do que o da referência

Aqui, `x` tem o tempo de vida de 'b', que nesse caso tem um tempo de vida maior que o de 'a'. Isso quer dizer que `r` pode referenciar `x`: o Rust sabe que a referência em `r` será sempre válida enquanto `x` for válido.

Agora que mostramos onde os tempos de vida de referências estão em um exemplo concreto e discutimos como Rust analisa tempos de vida para garantir que referências sempre serão válidas, vamos falar sobre tempos de vidas genéricos de parâmetros e retornar valores no contexto das funções.

Tempos de Vida Genéricos em Funções

Vamos escrever uma função que retornará a mais longa de dois cortes de string. Nós queremos ser capazes de chamar essa função passando para ela dois cortes de strings, e queremos que retorne uma string. O código na Listagem 10-21 deve imprimir `A string mais longa é abcd` uma vez que tivermos implementado a função `maior`:

Nome do Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let string1 = String::from("abcd");
    let string2 = "xyz";

    let resultado = maior(string1.as_str(), string2);
    println!("A string mais longa é {}", resultado);
}
```

Listagem 10-21: Uma função `main` que chama pela função `maior` para achar a mais longa entre duas strings

Note que queremos que a função pegue cortes de string (que são referências, como falamos no Capítulo 4) já que não queremos que a função `maior` tome posse de seus argumentos. Nós queremos que uma função seja capaz de aceitar cortes de uma `String` (que é o tipo de variável `string1`) assim como literais de string (que é o que a variável `string2` contém).

Recorra à seção do Capítulo 4 "Cortes de Strings como Parâmetros" para mais discussões sobre porque esses são os argumentos que queremos.

Se tentarmos implementar a função `maior` como mostrado na Listagem 10-22 ela não vai compilar:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn maior(x: &str, y: &str) -> &str {
    if x.len() > y.len() {
        x
    } else {
        y
    }
}
```

Listagem 10-22: Uma implementação da função `maior` que retorna o mais longo de dois cortes de string, mas ele não compila ainda

Ao invés disso recebemos o seguinte erro que fala sobre tempos de vida:

```
error[E0106]: missing lifetime specifier
  1 | fn maior(x: &str, y: &str) -> &str {
    |                                ^ expected lifetime parameter
= help: this function's return type contains a borrowed value, but the
signature does not say whether it is borrowed from `x` or `y`
```

O texto de ajuda está nos dizendo que o tipo de retorno precisa de um parâmetro de tempo de vida genérico nele porque o Rust não pode dizer se a referência que está sendo retornada se refere a `x` ou `y`. Atualmente, nós também não sabemos, já que o bloco `if` no corpo dessa função retorna uma referência para `x` e o bloco `else` retorna uma referência para `y`!

Enquanto estamos definindo essa função, não sabemos os valores concretos que serão passados para essa função, então não sabemos se o caso `if` ou o caso `else` será

executado. Nós também não sabemos os tempos de vida concretos das referências que serão passadas, então não podemos olhar para esses escopos como fizemos nas Listagem 10-19 e 10-20 afim de determinar que a referência que retornaremos sempre será válida. O verificador de empréstimos não consegue determinar isso também porque não sabe como os tempos de vida de `x` e `y` se relacionam com o tempo de vida do valor de retorno. Nós vamos adicionar parâmetros genéricos de tempo de vida que definirão a relação entre as referências para que o verificador de empréstimos possa fazer sua análise.

Sintaxe de Anotação de Tempo de Vida

Anotações de tempo de vida não mudam quanto tempo qualquer uma das referências envolvidas viverão. Do mesmo modo que funções podem aceitar qualquer tipo de assinatura que especifica um parâmetro de tipo genérico, funções podem aceitar referências com qualquer tempo de vida quando a assinatura especificar um parâmetro genérico de tempo de vida. O que anotações de tempo de vida fazem é relacionar os tempos de vida de múltiplas referências uns com os outros.

Anotações de tempo de vida tem uma sintaxe levemente incomum: os nomes dos parâmetros de tempos de vida precisam começar com uma apóstrofe `'`. Os nomes dos parâmetros dos tempos de vida são usualmente todos em caixa baixa, e como tipos genéricos, seu nome usualmente são bem curtos. `'a` é o nome que a maior parte das pessoas usam por padrão. Parâmetros de anotações de tempos de vida vão depois do `&` de uma referência, e um espaço separa a anotação de tempo de vida do tipo da referência.

Aqui vão alguns exemplos: nós temos uma referência para um `i32` sem um parâmetro tempo de vida, uma referência para um `i32` que tem um parâmetro de tempo de vida chamado `'a`:

```
&i32           // uma referência
&'a i32        // uma referência com um tempo de vida explícito
&'a mut i32    // uma referência mutável com um tempo de vida explícito
```

Uma anotação de tempo de vida por si só não tem muito significado: anotações de tempos de vida dizem ao Rust como os parâmetros genéricos de tempos de vida de múltiplas referências se relacionam uns com os outros. Se tivermos uma função com o parâmetro `primeiro` que é uma referência para um `i32` que tem um tempo de vida de `'a`, e a função tem outro parâmetro chamado `segundo` que é outra referência para um `i32` que também possui um tempo de vida `'a`, essas duas anotações de tempo de vida com o mesmo nome indicam que as referências `primeiro` e `segundo` precisam ambas viver tanto quanto o mesmo tempo de vida genérico.

Anotações de Tempo de Vida em Assinaturas de Funções

Vamos olhar para anotações de tempo de vida no contexto da função `maior` que estamos trabalhando. Assim como parâmetros de tipos genéricos, parâmetros de tempos de vida genéricos precisam ser declarados dentro de colchetes angulares entre o nome da função e a lista de parâmetros. A limitação que queremos dar ao Rust é que para as referências nos parâmetros e o valor de retorno devem ter o mesmo tempo de vida, o qual nomearemos `'a` e adicionaremos para cada uma das referências como mostrado na Listagem 10-23:

Nome do Arquivo: `src/main.rs`

```
fn maior<'a>(x: &'a str, y: &'a str) -> &'a str {  
    if x.len() > y.len() {  
        x  
    } else {  
        y  
    }  
}
```

Listagem 10-23: A definição da função `maior` especifica todas as referências na assinatura como tendo o mesmo tempo de vida, `'a`

Isso compilará e produzirá o resultado que queremos quando usada com a função `main` na Listagem 10-21.

A assinatura de função agora diz que pra algum tempo de vida `'a`, a função receberá dois parâmetros, ambos serão cortes de string que vivem pelo menos tanto quanto o tempo de vida `'a`. A função retornará um corte de string que também vai durar tanto quanto o tempo de vida `'a`. Esse é o contrato que estamos dizendo ao Rust que queremos garantir.

Especificando os parâmetros de tempo de vida nessa assinatura de função, não estamos modificando os tempos de vida de quaisquer valores passados ou retornados, mas estamos dizendo que quaisquer valores que não concordem com esse contrato devem ser rejeitados pelo verificador de empréstimos. Essa função não sabe (ou não precisa saber) exatamente quanto tempo `x` e `y` vão viver, apenas precisa saber que existe algum escopo que pode ser substituído por `'a` que irá satisfazer essa assinatura.

Quando estiver anotando tempos de vidas em funções, as anotações vão na assinatura da função, e não no código no corpo da função. Isso acontece porque o Rust consegue analisar o código dentro da função sem nenhuma ajuda, mas quando uma função tem referências para ou de códigos de fora daquela função, os tempos de vida dos argumentos ou os valores de retorno poderão ser diferentes cada vez que a função é chamada. Isso seria incrivelmente custoso e frequentemente impossível para o Rust descobrir. Nesse caso,

precisamos anotar os tempos de vida nós mesmos.

Quando referências concretas são passadas para `maior`, o tempo de vida concreto que é substituído por `'a` é a parte do escopo de `x` que sobrepõe o escopo de `y`. Já que escopos sempre se aninham, outra maneira de dizer isso é que o tempo de vida genérico `'a` terá um tempo de vida concreto igual ao menor dos tempos de vida de `x` e `y`. Porque nós anotamos a referência retornada com o mesmo parâmetro `'a`, a referência retornada será portanto garantida de ser válida tanto quanto for o tempo de vida mais curto de `x` e `y`.

Vamos ver como isso restringe o uso da função `maior` passando referências que tem diferentes tempos de vida concretos. A Listagem 10-25 é um exemplo direto que deve corresponder suas intuições de qualquer linguagem: `string1` é válida até o final do escopo exterior, `string2` é válida até o final do escopo, a `string2` é válida até o final do escopo interior. Com o verificador de empréstimos aprovando esse código; ele vai compilar e imprimir `A string mais longa é`:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let string1 = String::from("a string longa é longa");  
  
    {  
        let string2 = String::from("xyz");  
        let resultado = maior(string1.as_str(), string2.as_str());  
        println!("A string mais longa é {}", resultado);  
    }  
}
```

Listagem 10-24: Usando a função `maior` com referências para valores de `String` que tem tempos de vida concretos diferentes

Em seguida, vamos tentar um exemplo que vai mostrar que o tempo de vida da referência em `resultado` precisa ser o menor dos tempos de vida dos dois argumentos. Nós vamos mover a declaração da variável `resultado` para fora do escopo interior, mas deixar a atribuição do valor para a variável `resultado` dentro do escopo com `string2`. Em seguida, vamos mover o `println!` que usa o `resultado` fora do escopo interior, depois que ele terminou. O código na Listagem 10-25 não compilará:

Nome do arquivo: `src/main.rs`


```
fn main() {
    let string1 = String::from("a string longa é longa");
    let resultado;
    {
        let string2 = String::from("xyz");
        resultado = longest(string1.as_str(), string2.as_str());
    }
    println!("A string mais longa é {}", resultado);
}
```

Listagem 10-25: A tentativa de usar `resultado` depois que `string2` saiu de escopo não compilará

Se tentarmos compilar isso, receberemos esse erro:

```
error: `string2` does not live long enough
  |
6 |         resultado = longest(string1.as_str(), string2.as_str());
  |                                     ----- borrow occurs here
7 |     }
  |     ^ `string2` dropped here while still borrowed
8 |     println!("The longest string is {}", result);
9 | }
  | - borrowed value needs to live until here
```

O erro está dizendo que para `resultado` ser válido para `println!`, a `string2` teria que ser válida até o final do escopo exterior. Rust sabe disso porque nós anotamos os tempos de vida dos parâmetros da função e retornamos valores com o mesmo parâmetro do tempo de vida, `'a`.

Nós podemos olhar para esse código como humanos e ver que a `string1` é mais longa, e portanto `resultado` conterá a referência para a `string1`. Porque a `string1` não saiu de escopo ainda, a referência para `string1` ainda será válida para o `println!`. No entanto, o que dissemos ao Rust com os parâmetros de tempo de vida é que o tempo de vida da referência retornado pela função `maior` é o mesmo que o menor dos tempos de vida das referências passadas. Portanto, o verificador de empréstimos não permite o código da Listagem 10-25 como possível já que tem um referência inválida.

Tente fazer mais alguns experimentos que variam os valores e os tempos de vidas das referências passadas para a função `maior` e como a referência retornada é usada. Crie hipóteses sobre seus experimentos se eles vão passar pelo verificador de empréstimos ou não antes de você compilar, e então cheque para ver se você está certo!

Pensando em Termos de Tempos de Vida

O modo exato de especificar parâmetros de tempos de vida depende do que sua função está fazendo. Por exemplo, se mudarmos a implementação da função `maior` para sempre retornar o primeiro argumento ao invés do corte de string mais longo, não precisaríamos especificar um tempo de vida no parâmetro `y`. Este código compila:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn longest<'a>(x: &'a str, y: &str) -> &'a str {  
    x  
}
```

Nesse exemplo, especificamos o tempo de vida do parâmetro `'a` para o parâmetro `x` e o tipo de retorno, mas, não para o parâmetro `y`, já que o tempo de vida de `y` não tem qualquer relação com o tempo de vida `x` ou o valor retornado.

Quando retornarmos uma referência de uma função, o parâmetro de tempo de vida para o tipo de retorno precisa combinar o parâmetro do tempo de vida de um dos argumentos. Se a referência retornada *não* refere a nenhum dos argumentos, a única outra possibilidade é que refira a um valor criado dentro da função, o que seria uma referência solta já que o valor sairá de escopo no fim da função. Considere essa tentativa da função `maior` que não compilará:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```
fn maior<'a>(x: &str, y: &str) -> &'a str {  
    let resultado = String::from("string muito longa");  
    resultado.as_str()  
}
```

Mesmo especificando um parâmetro de tempo de vida `'a` para o tipo de retorno, essa implementação falha em compilar porque o valor de retorno do tempo de vida não é relacionado com o tempo de vida dos parâmetros de forma alguma. Esta é a mensagem de erro que recebemos:

```

error: `resultado` does not live long enough
  |
3 |     resultado.as_str()
  |     ^^^^^^^ does not live long enough
4 | }
  | - borrowed value only lives until here
  |
note: borrowed value must be valid for the lifetime 'a as defined on the block
at 1:44...
1 | fn maior<'a>(x: &str, y: &str) -> &'a str {
  |                                     ^

```

O problema é que `resultado` sairá de escopo e será limpo no final da função `maior`, e estamos tentando retornar uma referência para `resultado` da função. Não há nenhum modo que possamos especificar parâmetros de tempo de vida que mudariam uma referência solta, e o Rust não nos deixará criar uma referência solta. Nesse caso, a melhor solução seria retornar um tipo de dado com posse ao invés de uma referência de modo que a função chamadora é então responsável por limpar o valor.

Em última análise, a sintaxe de tempo de vida é sobre conectar tempos de vida de vários argumentos e retornar valores de funções. Uma vez que estão conectados, o Rust tem informação o suficiente para permitir operações seguras de memória e não permitir operações que criariam ponteiros soltos ou outro tipo de violação à segurança da memória.

Anotações de Tempo de Vida em Definições de Struct

Até agora, nós só definimos structs para conter tipos com posse. É possível para structs manter referências, mas precisamos adicionar anotações de tempo de vida em todas as referências na definição do struct. A Listagem 10-26 tem a struct chamada `ExcertoImportante` que contém um corte de string:

Nome do arquivo: `src/main.rs`

```

struct ExcertoImportante<'a> {
    parte: &'a str,
}

fn main() {
    let romance = String::from("Chame-me Ishmael. Há alguns anos...");
    let primeira_sentenca = romance.split('.')
        .next()
        .expect("Não pôde achar um '.');
    let i = ExcertoImportante { parte: primeira_sentenca };
}

```

Listagem 10-26: Um struct que contém uma referência, então sua definição precisa de uma anotação de tempo de vida

Esse struct tem um campo, `parte`, que contém um corte de string, que é uma referência. Assim como tipos genéricos de dados, temos que declarar o nome do parâmetro genérico de tempo de vida dentro de colchetes angulares depois do nome do struct para que possamos usar o parâmetro de tempo de vida no corpo da definição do struct.

A função `main` cria uma instância da struct `ExcertoImportante` que contém uma referência pra a primeira sentença da `string` com posse da variável `romance`.

Elisão de Tempo de Vida

Nessa seção, nós aprendemos que toda referência tem um tempo de vida, e nós precisamos especificar os parâmetros dos tempos de vida para funções ou estruturas que usam referências. No entanto, no Capítulo 4 nós tínhamos a função na seção "Cortes de Strings", mostradas novamente na Listagem 10-27, que compilam sem anotações de tempo de vida:

Nome do arquivo: `src/lib.rs`

```
fn primeira_palavra(s: &str) -> &str {  
    let bytes = s.as_bytes();  
  
    for (i, &item) in bytes.iter().enumerate() {  
        if item == b' ' {  
            return &s[0..i];  
        }  
    }  
  
    &s[..]  
}
```

Listagem 10-27: Uma função definida no Capítulo 4 que compila sem anotações de tempo de vida, mesmo o parâmetro e o tipo de retorno sendo referências

A razão pela qual essa função compila sem anotações de tempo de vida é histórica: em versões mais antigas de pre Rust-1.0, isso não teria compilado. Toda referência precisava de um tempo de vida explícito. Naquele tempo, a assinatura da função teria sido escrita da seguinte forma:

```
fn primeira_palavra<'a>(s: &'a str) -> &'a str {
```

Depois de escrever muito código em Rust, o time de Rust descobriu que os programadores

de Rust estavam digitando as mesmas anotações de tempo de vida de novo e de novo. Essas situações eram previsíveis e seguiam alguns padrões determinísticos. O time de Rust programou esses padrões no compilador de código de Rust para que o verificador de empréstimos pode inferir os tempos de vida dessas situações sem forçar o programador adicionar essas anotações explicitamente.

Nós mencionamos essa parte da história de Rust porque é inteiramente possível que mais padrões determinísticos surgirão e serão adicionado ao compilador. No futuro, até menos anotações de tempo de vida serão necessárias.

Os padrões programados nas análises de referência de Rust são chamados de *regras de elisão de tempo de vida*. Essas não são regras para o programador seguir; as regras são um conjunto de casos particular que o compilador irá considerar, e se seu código se encaixa nesses casos, você não precisa escrever os tempos de vida explicitamente.

As regras de elisão não fornecem total inferência: se o Rust aplicar as regras de forma determinística ainda podem haver ambiguidades como quais tempos de vida as referências restantes deveriam ter. Nesse caso, o compilador dará um erro que pode ser solucionado adicionando anotações de tempo de vida que correspondem com as suas intenções para como as referências se relacionam umas com as outras.

Primeiro, algumas definições: Tempos de vida em parâmetros de funções ou métodos são chamadas *tempos de vida de entrada*, e tempos de vida em valores de retorno são chamados de *tempos de vida de saída*.

Agora, as regras que o compilador usa para descobrir quais referências de tempos de vidas têm quando não há anotações explícitas. A primeira regra se aplica a tempos de vida de entrada, e a segunda regra se aplica a tempos de vida de saída. Se o compilador chega no fim das três regras e ainda há referências que ele não consegue descobrir tempos de vida, o compilador irá parar com um erro.

1. Cada parâmetro que é uma referência tem seu próprio parâmetro de tempo de vida. Em outras palavras, uma função com um parâmetro tem um parâmetro de tempo de vida: `fn foo<'a>(x: &'a i32)`, uma função com dois argumentos recebe dois parâmetros de tempo de vida separados: `fn foo<'a, 'b>(x: &'a i32, y: &'b i32)`, e assim por diante.
2. Se há exatamente uma entrada de parâmetro de tempo de vida, aquele tempo de vida é atribuído para todos os parâmetros de saída do tempo de vida: `fn foo<'a>(x: &'a i32) -> &'a i32`.
3. Se há múltiplas entradas de parâmetros de tempo de vida, mas uma delas é `&self` ou `&mut self` porque é um método, então o tempo de vida de `self` é atribuído para

todos os parâmetro de tempo de vida de saída. Isso melhora a escrita de métodos

Vamos fingir que somos o compilador e aplicamos essas regras para descobrir quais os tempos de vida das referências na assinatura da função `primeira_palavra` na Listagem 10-27. A assinatura começa sem nenhum tempo de vida associado com as referências:

```
fn primeira_palavra(s: &str) -> &str {
```

Então nós (como o compilador) aplicamos a primeira regra, que diz que cada parâmetro tem sem próprio tempo de vida. Nós vamos chama-lo de `'a` como é usual, então agora a assinatura é:

```
fn primeira_palavra<'a>(s: &'a str) -> &str {
```

À segunda regra, que se aplica porque existe apenas um tempo de vida. A segunda regra diz que o tempo de vida de um parâmetro de entrada é atribuído a um tempo de vida de saída, então agora a assinatura é:

```
fn primeira_palavra<'a>(s: &'a str) -> &'a str {
```

Agora todas as referências nessa assinatura de função possuem tempos de vida, e o compilador pode continuar sua análise sem precisar que o programador anote os tempos de vida na assinatura dessa função.

Vamos fazer outro exemplo, dessa vez com a função `maior` que não tinha parâmetros de tempo de vida quando começamos a trabalhar com ela na Listagem 10-22:

```
fn maior(x: &str, y: &str) -> &str {
```

Fingindo que somos o compilador novamente, vamos aplicar a primeira regra: cada parâmetro tem seu próprio tempo de vida. Dessa vez temos dois parâmetros, então temos dois tempos de vida:

```
fn maior<'a, 'b>(x: &'a str, y: &'b str) -> &str {
```

Olhando para a segunda regra, ela não se aplica já que há mais de uma entrada de tempo de vida. Olhando para a terceira regra, ela também não se aplica porque isso é uma função e não um método, então nenhum dos parâmetros são `self`. Então, acabaram as regras, mas não descobrimos qual é o tempo de vida do tipo de retorno. É por isso que recebemos um erro quando tentamos compilar o código da Listagem 10-22: o compilador usou as regras de elisão de tempo de vida que sabia, mas ainda sim não conseguiu descobrir todos os tempos de vida das referências na assinatura.

Porque a terceira regra só se aplica em assinaturas de métodos, vamos olhar tempos de vida nesse contexto agora, e ver porque a terceira regra significa que não temos que anotar tempos de vida em assinaturas de métodos muito frequentemente.

Anotações de Tempo de Vida em Definições de Métodos

Quando implementamos métodos em uma struct com tempos de vida, a sintaxe é novamente a mesma da de parâmetros de tipos genéricos que mostramos na Listagem 10-11: o lugar que parâmetros de tempos de vida são declarados e usados depende se o parâmetro de tempo de vida é relacionado aos campos do struct ou aos argumentos dos métodos e dos valores de retorno.

Nomes de tempos de vida para campos de estruturas sempre precisam ser declarados após a palavra-chave `impl` e então usadas após o nome da struct, já que esses tempos de vida são partes do tipo da struct.

Em assinaturas de métodos dentro do bloco `impl`, as referências podem estar amarradas às referências de tempo de vida nos campos de struct, ou elas podem ser independentes. Além disso, as regras de elisão de tempo de vida constantemente fazem com que anotações não sejam necessárias em assinaturas de métodos. Vamos ver alguns exemplos usando a struct chamada `ExcertoImportante` que definimos na Listagem 10-26.

Primeiro, aqui há um método chamado `level`. O único parâmetro é uma referência para `self`, e o valor de retorno é apenas um `i32`, não uma referência para nada:

```
impl<'a> ExcertoImportante<'a> {  
    fn level(&self) -> i32 {  
        3  
    }  
}
```

A declaração do parâmetro de tempo de vida depois de `impl` e uso depois do tipo de nome é obrigatório, mas nós não necessariamente precisamos de anotar o tempo de vida da referência `self` por causa da primeira regra da elisão.

Aqui vai um exemplo onde a terceira regra da elisão de tempo de vida se aplica:

```
impl<'a> ExcertoImportante<'a> {  
    fn anuncio_e_parte_de_retorno(&self, anuncio: &str) -> &str {  
        println!("Atenção por favor: {}", anuncio);  
        self.part  
    }  
}
```

Há dois tempos de vida de entrada, então o Rust aplica a primeira regra de elisão de tempos de vida e dá ambos ao `&self` e ao `anuncio` seus próprios tempos de vida. Então, porque um dos parâmetros é `self`, o tipo de retorno tem o tempo de vida de `&self` e todos os tempos de vida foram contabilizados.

O Tempo de Vida Estático

Há *um* tipo especial de tempo de vida que precisamos discutir: `'static`. O tempo de vida `static` é a duração completa do programa. Todos os literais de string têm um tempo de vida `static`, o qual podemos escolher anotar como o seguinte:

```
let s: &'static str = "Eu tenho um tempo de vida estático.";
```

O texto dessa string é guardado diretamente no binário do seu programa e o binário do seu programa está sempre disponível. Logo, o tempo de vida de todas as literais de string é `'static`.

Você pode ver sugestões de usar o tempo de vida `'static` em uma mensagem de ajuda de erro, mas antes de especificar `'static` como o tempo de vida para uma referência, pense sobre se a referência que você tem é uma que vive todo o tempo de vida do seu programa ou não (ou mesmo se você quer que ele viva tanto, se poderia). Na maior parte do tempo, o problema no código é uma tentativa de criar uma referência solta ou uma incompatibilidade dos tempos de vida disponíveis, e a solução é consertar esses problemas, não especificar um tempo de vida `'static`.

Parâmetros de Tipos Genéricos, Limites de Traits e Tempos de Vida Juntos

Vamos rapidamente olhar para a sintaxe de especificar parâmetros de tipos genéricos, limites de traits e tempos de vida todos em uma função!


```
use std::fmt::Display;

fn maior_com_um_anuncio<'a, T>(x: &'a str, y: &'a str, ann: T) -> &'a str
    where T: Display
{
    println!("Anúncio! {}", ann);
    if x.len() > y.len() {
        x
    } else {
        y
    }
}
```

Essa é a função `maior` da Listagem 10-23 que retorna a maior de dois cortes de string, mas com um argumento extra chamado `ann`. O tipo de `ann` é o tipo genérico `T`, que pode ser preenchido por qualquer tipo que implemente o trait `Display` como está especificado na cláusula `where`. Esse argumento extra será impresso antes da função comparar os comprimentos dos cortes de string, que é porque o trait de `Display` possui um limite. Porque tempos de vida são um tipo genérico, a declaração de ambos os parâmetros de tempo de vida `'a` e o tipo genérico `T` vão na mesma lista com chaves angulares depois do nome da função.

Sumário

Nós cobrimos várias coisas nesse capítulo! Agora que você sabe sobre parâmetros de tipos genéricos, traits e limites de traits, e parâmetros genéricos de tempo de vida, você está pronto para escrever código que não é duplicado mas pode ser usado em muitas situações. Parâmetros de tipos genéricos significam que o código pode ser aplicado a diferentes tipos. Traits e limites de traits garantem que mesmo que os tipos sejam genéricos, esses tipos terão o comportamento que o código precisa. Relações entre tempos de vida de referências especificadas por anotações de tempo de vida garantem que esse código flexível não terá referências soltas. E tudo isso acontece em tempo de compilação para que a performance em tempo de execução não seja afetada!

Acredite ou não, há ainda mais para aprender nessas áreas: Capítulo 17 discutirá objetos de trait, que são outro modo de usar traits. O Capítulo 19 vai cobrir cenários mais complexos envolvendo anotações de tempo de vida. O Capítulo 20 vai tratar de alguns tipos avançados de características do sistema. Em seguida, porém, vamos falar sobre como escrever testes em Rust para que possamos ter certeza que nosso código usando todas essas características está funcionando do jeito que queremos!

Testing

Writing tests

Running tests

Test Organization

Um projeto de E/S: Criando um Programa de Linha de Comando

Este capítulo é um recapitulação de muitas habilidades que você aprendeu até agora e uma exploração de mais alguns recursos da biblioteca padrão. Vamos construir uma ferramenta que interage com arquivo de entrada/saída em linha de comando para praticar alguns dos conceitos de Rust que você tem a disposição.

A velocidade, a segurança, a saída *binary-único* e o suporte multi-plataforma de Rust fazem dela uma linguagem ideal para a criação de ferramentas de linha de comando. Assim, para nosso projeto, criaremos nossa própria versão da ferramenta clássica de linha de comando `grep` (**g**lobally search a **r**egular **e**xpression and **p**rint). No caso de uso mais simples, o `grep` procura um arquivo especificado para uma string especificada. Para fazer isso, o `grep` toma como argumento um nome de arquivo e uma string, e então lê o arquivo e localiza linhas naquele arquivo que contém o argumento string. Em seguida, imprime essas linhas.

Ao longo do caminho, mostraremos como fazer com que nossa ferramenta de linha de comando use recursos do terminal que muitas ferramentas de linha de comando usam. Leremos o valor de uma variável de ambiente para permitir ao usuário configurar o comportamento de nossa ferramenta. Também imprimiremos na saída de console de erro padrão (`stderr`) em vez da saída padrão (`stdout`), por exemplo, o usuário pode redirecionar saída de sucesso para um arquivo enquanto ainda está vendo mensagens de erro na tela.

Um membro da comunidade One Rust, Andrew Gallant, já criou uma versão completa , e muito rápida do `grep` , chamada `ripgrep` . Em comparação, nossa versão do `grep` será bastante simples, mas este capítulo lhe dará alguns dos conhecimento básicos que você precisa para entender um projeto real como `ripgrep` .

Nosso projeto `grep` combinará uma série de conceitos que você aprendeu até agora:

- Organizar código (usando o que aprendeu em módulos, Capítulo 7)
- Usando vetores e strings (coleções, Capítulo 8)
- Erros de manipulação (Capítulo 9)
- Usando traits e lifetimes, quando apropriado (Capítulo 10)
- Escrevendo testes (Capítulo 11)

Também apresentamos brevemente closures, iterações e trait objects, que os capítulos 13 e 17 abordarão em detalhes.

Aceitando Argumentos em Linha de Comando

Vamos criar um novo projeto usando, como sempre, `cargo new`. Chamaremos o nosso projeto `minigrep` para distingui-lo da ferramenta `grep` que você já pode ter no seu sistema.

```
$ cargo new --bin minigrep
   Created binary (application) `minigrep` project
$ cd minigrep
```

A primeira tarefa é fazer que `minigrep` aceite seus dois argumentos de linha de comando: o nome de arquivo e uma string para procurar. Ou seja, queremos ser capazes de administrar o nosso programa com `cargo run`, uma string para procurar e um caminho para um arquivo onde será feita a procura, dessa forma:

```
$ cargo run searchstring example-filename.txt
```

Neste momento, o programa gerado por `cargo new` não pode processar os argumentos que nós passamos. No entanto, algumas bibliotecas existentes no [Crates.io](https://crates.io) que podem nos ajudar a escrever um programa que aceite argumentos na linha de comando, mas como você está aprendendo esses conceitos, vamos implementar essa capacidade nós mesmos.

Lendo os Valores do Argumento

Para garantir que `minigrep` seja capaz de ler os valores dos argumentos da linha de comando, nós precisamos de uma função fornecida na biblioteca padrão do Rust, que é `std::env::args`. Esta função retorna um *iterador* da linha de comando com os argumentos que foram passados à `minigrep`. Ainda não discutimos iteradores (nós os cobrimos

totalmente no Capítulo 13), mas por enquanto você só precisa saber dois detalhes sobre iteradores: os iteradores produzem uma série de valores, e podemos chamar a função `collect` em um iterador para transformá-lo em uma coleção, como um vetor, contendo todos os elementos que o iterador produz.

Use o código na Listagem 12-1 para permitir que seu programa `minigrep` leia qualquer argumento da linha de comando passados para ele e depois colete os valores em um vetor:

Arquivo: `src/main.rs`

```
use std::env;

fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();
    println!("{:?}", args);
}
```

Listagem 12-1: Coletando os argumentos da linha de comando um vetor e imprimindo-os

Primeiro, trazemos o módulo `std::env` para o escopo com uma declaração `use`, então nós podemos usar a função `args`. Observe que a função `std::env::args` é aninhada em dois níveis de módulos. Como discutimos no Capítulo 7, nos casos em que a função desejada está aninhada em mais de um módulo, é convenção trazer o módulo pai para o escopo em vez da função. Como resultado, nós podemos facilmente usar outras funções de `std::env`. Também é menos ambíguo que adicionar `use std::env::args` e depois chamando a função com apenas `args` porque `args` pode ser facilmente confundido com uma função definida no módulo atual.

A Função `args` e Unicode Inválido

Note que `std::env::args` emitirá pânico se algum argumento contiver código Unicode inválido. Se o seu programa precisar aceitar argumentos que sejam Unicode inválidos, use `std::env::args_os` em vez disso. Essa função retorna valores `OsString` em vez de valores `String`. Nós escolhemos usar `std::env::args` aqui por simplicidade, porque os valores de `OsString` diferem por plataforma e são mais complexo para trabalhar do que os valores de `String`.

Na primeira linha do `main`, chamamos `env::args`, e usamos `collect` imediatamente para transformar o iterador em um vetor contendo todos os valores produzidos pelo iterador. Podemos usar a função `collect` para criar muitos tipos de coleções, então nós

explicitamente anotamos o tipo de `args` para especificar que nós queremos um vetor de strings. Embora raramente precisemos anotar tipos em Rust, `collect` é uma função que muitas vezes você precisa anotar, porque Rust não é capaz de inferir o tipo de coleção que deseja.

Finalmente, imprimimos o vetor usando o formatador de debug, `:?`. Vamos tentar executar o código sem argumentos e depois com dois argumentos:

```
$ cargo run
--snip--
["target/debug/minigrep"]

$ cargo run needle haystack
--snip--
["target/debug/minigrep", "needle", "haystack"]
```

Observe que o primeiro valor no vetor é `"target/debug/minigrep"`, que é o nome do nosso binário. Isso corresponde ao comportamento da lista de argumentos em C, permitindo que os programas usem o nome pelo qual eles foram invocados em sua execução. Geralmente, é conveniente ter acesso ao nome do programa, caso desejemos imprimi-lo em mensagens ou alterar o comportamento do programa com base no alias da linha de comando que foi usado para chamar o programa. Mas, para os fins deste capítulo, vamos ignorá-lo e salvar apenas os dois argumentos que precisamos.

Salvando os Valores do Argumento em Variáveis

Imprimir o valor do vetor de argumentos ilustra que o programa é capaz de acessar os valores especificados como argumentos da linha de comando. Agora precisamos salvar os valores dos dois argumentos nas variáveis para que possamos usar esses valores durante o resto do programa. Fazemos isso na Listagem 12-2:

Arquivo: `src/main.rs`

```
use std::env;

fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let query = &args[1];
    let filename = &args[2];

    println!("Searching for {}", query);
    println!("In file {}", filename);
}
```

Listagem 12-2: Criando variáveis para guardar o argumento de consulta e argumento do nome do arquivo

Como vimos quando imprimimos o vetor, o nome do programa ocupa o primeiro valor no vetor em `args[0]`, então estamos começando no índice `1`. O primeiro argumento `minigrep` é a string que estamos procurando, então colocamos uma referência ao primeiro argumento na variável `query`. O segundo argumento será o nome do arquivo, então colocamos uma referência ao segundo argumento no variável `filename`.

Imprimimos temporariamente os valores dessas variáveis para provar que o código funciona como pretendemos. Vamos executar este programa novamente com os argumentos `test` e `sample.txt`:

```
$ cargo run test sample.txt
  Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0 secs
    Running `target/debug/minigrep test sample.txt`
Searching for test
In file sample.txt
```

Ótimo, o programa está funcionando! Os valores dos argumentos que precisamos estão sendo salvos nas variáveis certas. Mais tarde, adicionaremos algum tratamento de erro para lidar com certas situações errôneas potenciais, como quando o usuário não fornece argumentos; por enquanto, ignoraremos essa situação, e trabalharemos na adição das funcionalidades de leitura dos arquivos.

Lendo um Arquivo

Agora vamos adicionar funcionalidades para ler o arquivo que é especificado no argumento `filename` da linha de comando. Primeiro, precisamos de um arquivo de amostra para testá-lo: o melhor tipo de arquivo a ser usado para garantir que o `minigrep` esteja funcionando é um ,com uma pequena quantidade de texto, em várias linhas com algumas palavras repetidas. Listagem 12-3 tem um poema de Emily Dickinson que funcionará bem! Crie um arquivo chamado *poem.txt* no diretório raiz do seu projeto e entre com o poema “I’m Nobody! Who are you?”

Arquivo: poem.txt

I'm nobody! Who are you?
 Are you nobody, too?
 Then there's a pair of us – don't tell!
 They'd banish us, you know.

How dreary to be somebody!
 How public, like a frog
 To tell your name the livelong day
 To an admiring bog!

Listagem 12-3: Um poema de Emily Dickinson fará um bom caso de teste.

Com o texto no lugar, edite *src/main.rs* e adicione o código para abrir o arquivo, como mostrado na Listagem 12-4:

Arquivo: *src/main.rs*

```
use std::env;
use std::fs::File;
use std::io::prelude::*;

fn main() {
    // --snip--
    println!("In file {}", filename);

    let mut f = File::open(filename).expect("file not found");

    let mut contents = String::new();
    f.read_to_string(&mut contents)
        .expect("something went wrong reading the file");

    println!("With text:\n{}", contents);
}
```

Listagem 12-4: Leitura do conteúdo do arquivo especificado pelo segundo argumento

Primeiro, adicionamos mais instruções `use` para trazer partes relevantes da biblioteca padrão: precisamos de `std::fs::File` para lidar com arquivos, e `std::io::prelude::*` contém vários traits úteis para fazer E/S, incluindo arquivo de E/S. Da mesma forma que Rust tem um prelúdio geral que traz certos tipos e funções no escopo automaticamente, o módulo `std::io` possui o seu próprio prelúdio de tipos e funções comuns que você precisará ao trabalhar com E/S. Ao contrário do prelúdio padrão, devemos adicionar explicitamente uma instrução `use` para o prelúdio de `std::io`.

Em `main`, adicionamos três declarações: primeiro, recebemos um identificador mutável para o arquivo chamando a função `File::open` e transmitindo o valor da variável `filename`. Em segundo lugar, criamos uma variável chamada `contents` e configuramos

para uma `String` mutável e vazia. Isso manterá o conteúdo do arquivo depois que nós lê-lo. Terceiro, chamamos `read_to_string` no nosso arquivo e passamos um referência mutável para `contents` como argumento.

Após essas linhas, adicionamos novamente uma declaração temporária `println!` que imprime o valor do `contents` depois que o arquivo é lido, para que possamos verificar que o o programa está funcionando até o momento.

Vamos executar este código com qualquer string como o primeiro argumento da linha de comando (porque ainda não implementamos a parte de pesquisa) e o arquivo *poem.txt* como o segundo argumento:

```
$ cargo run the poem.txt
  Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0 secs
    Running `target/debug/minigrep the poem.txt`
Searching for the
In file poem.txt
With text:
I'm nobody! Who are you?
Are you nobody, too?
Then there's a pair of us – don't tell!
They'd banish us, you know.

How dreary to be somebody!
How public, like a frog
To tell your name the livelong day
To an admiring bog!
```

Ótimo! O código lê e, em seguida, imprime o conteúdo do arquivo. Mas o código tem algumas falhas. A função `main` tem múltiplas responsabilidades: geralmente, as funções são mais claras e fáceis de manter se cada função for responsável por apenas uma idéia. O outro problema é que também não estamos lidando com erros, como poderiam ser. O programa ainda é pequeno, então essas falhas não são um grande problema, mas à medida que o programa cresce, será mais difícil consertá-los de forma elegante. É uma boa pratica começar a refatoração no início do desenvolvimento de um programa, porque são muito mais fáceis de refatorar quantidades menores de código. Vamos fazer isso depois.

Refatoração para Melhorar a Modularidade e o Tratamento de Erros

Para melhorar o nosso programa, repararemos quatro problemas que têm a ver com a

estrutura do programa e como ele está tratando possíveis erros.

Primeiro, a nossa função `main` agora executa duas tarefas: analisa argumentos e abre arquivos. Para uma função tão pequena, este não é um grande problema. No entanto, se continuamos a desenvolver o nosso programa dentro de `main`, o número de tarefas separadas que a função `main` manipula aumentarão. Com uma função ganhando responsabilidades, torna-se mais difícil de raciocinar, mais difícil de testar e mais difícil de mudar sem quebrar uma das suas partes. É melhor separar a funcionalidade para que cada função seja responsável por uma tarefa.

Esta questão também se liga ao segundo problema: embora `query` e `filename` sejam variáveis de configuração para o nosso programa, variáveis como `f` e `contents` são usadas para executar a lógica do programa. Quanto maior o `main` se torna, mais variáveis precisamos trazer no escopo; quanto mais variáveis temos no escopo, mais difícil será acompanhar o objetivo de cada uma. É melhor agrupar as variáveis de configuração em uma estrutura para tornar claro seu objetivo.

O terceiro problema é que usamos `expect` para imprimir uma mensagem de erro, ao abrir um arquivo, falha, mas a mensagem de erro apenas imprime `file not found`. Abrir um arquivo pode falhar de várias maneiras, além do arquivo faltando: como exemplo, o arquivo pode existir, mas talvez não possamos ter permissão para abri-lo. Agora, se estivermos nessa situação, imprimiríamos a mensagem de erro `file not found` que daria ao usuário a informação errada!

O quarto problema, usamos `expect` repetidamente para lidar com diferentes erros, e se o usuário executa o nosso programa sem especificar argumentos suficientes, eles terão erros `index out of bounds` do Rust, que não explica claramente o problema. Seria melhor se todo o código de tratamento de erros estiver em um só lugar para futuros mantenedores terem apenas um lugar para consultar, no código, se a lógica de tratamento de erros precisar de mudança. Ter todo o código de tratamento de erros em um só lugar também assegurará que estamos imprimindo mensagens que serão significativas para nossos usuários finais.

Vamos abordar esses quatro problemas refatorando nosso projeto.

Separação de Responsabilidades para Projetos Binários

O problema organizacional da atribuição de responsabilidade por múltiplas tarefas para a função `main` é comum a muitos projetos binários. Como resultado, a comunidade Rust desenvolveu um tipo de processo de orientação para dividir as responsabilidades de um programa binário quando `main` começa a ficar grande. O processo tem as seguintes etapas:

- Divida seu programa em um *main.rs* e um *lib.rs*, e mova a lógica do seu programa para *lib.rs*.
- Enquanto sua lógica de análise de linha de comando é pequena, ela pode permanecer em *main.rs*.
- Quando a lógica de análise de linha de comando começa a ficar complicada, extraia de *main.rs* e mova para *lib.rs*.
- As responsabilidades que permanecem na função `main` depois desse processo deve estar limitado a:
 - Chamar a lógica de análise de linha de comando com os valores do argumento
 - Ajustar qualquer outra configuração
 - Chamando uma função `run` em *lib.rs*
 - Manipulação do erro se `run` retornar um erro

Esse padrão é sobre separar responsabilidades: *main.rs* lida com a execução do programa e *lib.rs* lida com toda a lógica da tarefa em questão. Porque nós não podemos testar diretamente a função `main`, esta estrutura nos permite testar toda lógica do programa, movendo-a para funções em *lib.rs*. O único código que permanece em *main.rs* será pequeno o suficiente para verificar se está correto com uma leitura rápida. Vamos retrabalhar o nosso programa seguindo este processo.

Extraindo o Parseador de Argumento

Vamos extrair a funcionalidade de análise de argumentos de `main` para *src/lib.rs*. A listagem 12-5 mostra o novo início do `main` que chama uma nova função `parse_config`, que iremos definir em *src/main.rs* por enquanto.

Arquivo: *src/main.rs*

```
fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let (query, filename) = parse_config(&args);

    // --snip--
}

fn parse_config(args: &[String]) -> (&str, &str) {
    let query = &args[1];
    let filename = &args[2];

    (query, filename)
}
```

Listagem 12-5: Extraindo uma função `parse_config` de `main`

Ainda estamos coletando os argumentos da linha de comando em um vetor, mas em vez de atribuir o valor do argumento no índice `1` para a variável `query` e o valor do argumento no índice `2` para a variável `filename` dentro da função `main`, passamos todo o vetor para a função `parse_config`. A função `parse_config` mantém a lógica que determina qual argumento vai em qual variável e passa os valores de volta para `main`. Ainda criamos as variáveis `query` e `filename` no `main`, mas `main` não tem mais a responsabilidade de determinar como os argumentos e as variáveis da linha de comando correspondem.

Essa retrabalho pode parecer um exagero para o nosso pequeno programa, mas estamos refatorando em pequenos passos incrementais. Depois de fazer essa alteração, execute o programa novamente para verificar se a análise do argumento ainda funciona. É bom verificar seu progresso constantemente, porque isso irá ajudá-lo a identificar a causa dos problemas quando eles ocorrerem.

Agrupando Valores de Configuração

Podemos dar outro pequeno passo para melhorar ainda mais a função `parse_config`. No momento, estamos retornando uma tupla, mas depois quebramos imediatamente a tupla em partes individuais novamente. Este é um sinal de que talvez não tenhamos a abstração certa ainda.

Outro indicador que mostra que há espaço para melhoria é a parte `config` de `parse_config`, o que implica que os dois valores que retornamos estão relacionados e ambos são parte de um valor de configuração. Atualmente, não estamos transmitindo esse significado na estrutura dos dados, que não sejam o agrupamento dos dois valores em um tupla: podemos colocar os dois valores em uma estrutura e dar a cada uma das estruturas um nome significativo. Isso facilitará os futuros mantenedores deste código para entender

como os diferentes valores se relacionam entre si e qual é o propósito deles.

Nota: algumas pessoas chamam este anti-padrão de usar valores primitivos quando um tipo complexo seria mais apropriado *primitive obsession* (obsessão primitiva).

A Listagem 12-6 mostra a adição de uma estrutura chamada `Config` definida para ter campos chamados `query` e `filename`. Também mudamos a função `parse_config` para retornar uma instância da estrutura `Config` e atualizamos `main` para usar os campos `struct` em vez de ter variáveis separadas:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let config = parse_config(&args);

    println!("Searching for {}", config.query);
    println!("In file {}", config.filename);

    let mut f = File::open(config.filename).expect("file not found");

    // --snip--
}

struct Config {
    query: String,
    filename: String,
}

fn parse_config(args: &[String]) -> Config {
    let query = args[1].clone();
    let filename = args[2].clone();

    Config { query, filename }
}
```

Listagem 12-6: Refatorando `parse_config` para retornar uma instância de uma struct `Config`

A assinatura do `parse_config` agora indica que ele retorna um valor `Config`. No corpo de `parse_config`, onde costumávamos retornar trechos de strings com referência a valores `String` em `args`, agora definimos `Config` para conter valores `String` owned. A variável `args` em `main` é o owner do argumento de valores e está apenas permitindo que a função `parse_config` os empreste (borrow), o que significa que violaremos as regras de borrow do

Rust se o `Config` tentasse se apropriar (ownership) dos valores em `args`.

Podemos gerenciar os dados `string` de várias maneiras diferentes, mas o mais fácil, embora ineficiente, o caminho é chamar o método `clone` nos valores. Isso fará uma cópia completa dos dados para a instância `Config`, que leva mais tempo e memória do que armazenar uma referência à string de dados. No entanto, a clonagem dos dados também torna nosso código muito direto porque não precisamos administrar as vidas das referências; nessa circunstância, desistir de um pouco de desempenho para ganhar simplicidade é uma coisa que vale a pena a troca.

Os Prós e Contras de Usar `clone`

Existe uma tendência entre muitos Rustaceos para evitar o uso de `clone` para consertar problemas de ownership devido ao seu custo de tempo de execução. No Capítulo 13, você aprenderá como usar métodos mais eficientes neste tipo de situação. Mas por agora, é bom copiar algumas strings para continuar a fazer progresso porque iremos fazer essas cópias apenas uma vez, e nosso nome de arquivo e seqüência de consulta são muito pequenos. É melhor ter um programa de trabalho que seja um pouco ineficiente do que tentar hiper-otimizar o código na sua primeira passagem. À medida que você se torna mais experiente com Rust, será mais fácil começar com a solução mais eficiente, mas para agora, é perfeitamente aceitável chamar `clone`.

Atualizamos `main` para que ele coloque a instância de `Config` retornada por `parse_config` em uma variável chamada `config`, e atualizamos o código anteriormente usado para as variáveis separadas `query` e `filename` para que ele agora, em vez disso, use os campos na estrutura `Config`.

Agora, nosso código transmite mais claramente que `query` e `filename` estão relacionados, e seu objetivo é configurar como o programa funcionará. Qualquer código que use esses valores sabem encontrá-los na instância `config` nos campos nomeados para esse propósito.

Criando um Construtor para `Config`

Até agora, nós extraímos a lógica responsável por analisar os argumentos da linha de comando de `main` e colocá-los na função `parse_config`, o que nos ajudou a ver que os valores `query` e `filename` estavam relacionados e essa relação deve ser transmitida em nosso código. Nós então adicionamos uma estrutura `Config` para nomear o propósito

relacionado de `query` e `filename`, e para poder retornar os nomes dos valores como nomes de campos struct a partir da função `parse_config`.

Então, agora que a finalidade da função `parse_config` é criar uma instância `Config`, podemos alterar `parse_config` de ser uma função simples para um função denominada `new` que está associada à estrutura `Config`. Fazendo essa mudança tornará o código mais idiomático: podemos criar instâncias de tipos na biblioteca padrão, como `String`, chamando `String::new`, e mudando `parse_config` para uma função `new` associada a `Config`, iremos ser capazes de criar instâncias de `Config` chamando `Config::new`. Listagem 12-7 mostra as mudanças que precisamos fazer:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let config = Config::new(&args);

    // --snip--
}

// --snip--

impl Config {
    fn new(args: &[String]) -> Config {
        let query = args[1].clone();
        let filename = args[2].clone();

        Config { query, filename }
    }
}
```

Listagem 12-7: Alterar `parse_config` para `Config::new`

Atualizamos `main` onde estávamos chamando `parse_config` para, em vez disso, chamar `Config::new`. Alteramos o nome de `parse_config` para `new` e movemos para dentro de um bloco `impl`, que associa a função `new` a `Config`. Experimente compilar este código novamente para garantir que ele funciona.

Consertando o Tratamento de Erros

Agora vamos trabalhar em consertar o nosso tratamento de erros. Lembre-se de que tentar acessar os valores no vetor `args` no índice 1 ou no índice 2 causará pânico no programa se o vetor contiver menos de três itens. Tente executar o programa sem argumentos; Isso

parecerá assim:

```
$ cargo run
  Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0 secs
  Running `target/debug/minigrep`
thread 'main' panicked at 'index out of bounds: the len is 1
but the index is 1', src/main.rs:29:21
note: Run with `RUST_BACKTRACE=1` for a backtrace.
```

A linha `index out of bounds: the len is 1 but the index is 1` é uma mensagem de erro destinada aos programadores. Isso não ajudará os usuários finais a entender o que aconteceu e o que eles deveriam fazer a respeito disso. Vamos consertar isso agora.

Melhorando a Mensagem de Erro

Na Listagem 12-8, adicionamos uma verificação na função `new` que verificará que o pedaço é longo o suficiente antes de acessar os índices `1` e `2`. Se o pedaço não for suficientemente longo, o programa gera um pânico e exibe uma mensagem de erro melhor do que a mensagem `index out of bounds`:

Arquivo: `src/main.rs`

```
// --snip--
fn new(args: &[String]) -> Config {
    if args.len() < 3 {
        panic!("not enough arguments");
    }
    // --snip--
```

Listagem 12-8: Adicionando uma verificação para o número de argumentos

Este código é semelhante à função `Guess::new` que escrevemos na Listagem 9-9 onde chamamos `panic!` quando o argumento `value` estava fora do alcance válido de valores. Em vez de verificar uma variedade de valores aqui, estamos checando que o comprimento de `args` é pelo menos `3` e o resto da função pode operar sob o pressuposto de que essa condição foi cumprida. Se `args` tiver menos de três itens, essa condição será verdadeira, e chamamos a macro `panic!` para terminar o programa imediatamente.

Com estas poucas linhas de código adicionais em `new`, vamos executar o programa sem nenhum argumento novamente para ver como o erro parece agora:

```
$ cargo run
  Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0 secs
  Running `target/debug/minigrep`
thread 'main' panicked at 'not enough arguments', src/main.rs:30:12
note: Run with `RUST_BACKTRACE=1` for a backtrace.
```

Este resultado é melhor: agora temos uma mensagem de erro razoável. No entanto, nós também temos informações estranhas que não queremos dar aos nossos usuários. Talvez usando a técnica que usamos na Lista 9-9 não é a melhor para usar aqui: uma chamada para `panic!` é mais apropriado para um problema de programação e não um problema de uso, conforme discutido no Capítulo 9. Em vez disso, podemos usar outra técnica que você aprendeu no Capítulo 9 - retornando um `Result` que indica sucesso ou um erro.

Retornando um `Result` de um `new` Em vez de Chamar `panic!`

Em vez disso, podemos retornar um valor `Result` que conterá uma instância `Config` em caso bem-sucedido e descreverá o problema no caso de erro. Quando `Config::new` está se comunicando com `main`, podemos usar o tipo `Result` para sinalizar que não houve problema. Então podemos mudar `main` para converter uma variante `Err` em um erro mais prático para os nossos usuários sem os demais textos sobre `thread 'main'` e `RUST_BACKTRACE` que uma chamada para `panic!` causa.

A Listagem 12-9 mostra as mudanças que precisamos fazer para o valor de retorno de `Config::new` e o corpo da função necessária para retornar um `Result`. Note que isso não compilará até que atualizemos `main` também, o que faremos na próxima listagem:

Arquivo: `src/main.rs`

```
impl Config {
    fn new(args: &[String]) -> Result<Config, &'static str> {
        if args.len() < 3 {
            return Err("not enough arguments");
        }

        let query = args[1].clone();
        let filename = args[2].clone();

        Ok(Config { query, filename })
    }
}
```

Listagem 12-9: Retornando um `Result` de `Config::new`

Nossa função `new` agora retorna um `Result` com uma instância `Config` no caso de

sucesso e um `&'static str` no caso de erro. Lembre-se da seção “The Static Lifetime” no capítulo 10 que `&'static str` é o tipo de string literal, que é o nosso tipo de mensagem de erro por enquanto.

Fizemos duas mudanças no corpo da função `new`: em vez de chamar `panic!` quando o usuário não passa argumentos suficientes, agora devolvemos um valor `Err`, e nós `wrapped` (embalamos) o valor de retorno `Config` em um `Ok`. Estas alterações fazem com que a função esteja conforme a sua nova assinatura de tipo.

Retornar um valor `Err` de `Config::new` permite que a função `main` lide com o valor `Result` retornado da função `new` e saia do processo de forma mais limpa no caso de erro.

Chamando `Config::new` e Manipulação de Erros

Para lidar com o caso de erro e imprimir uma mensagem amigável, precisamos atualizar `main` para lidar com o `Result` sendo retornado por `Config::new`, conforme mostrado na Listagem 12-10. Também assumiremos a responsabilidade de sair da linha de comando com um código de erro diferente de zero do `panic!` e implementá-lo manualmente. O status de saída diferente de zero, é uma convenção para sinalizar o processo que chamou nosso programa que, o programa saiu com um estado de erro.

Arquivo: `src/main.rs`

```
use std::process;

fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let config = Config::new(&args).unwrap_or_else(|err| {
        println!("Problem parsing arguments: {}", err);
        process::exit(1);
    });

    // --snip--
```

Listagem 12-10: Se ao criar um `Config` falha, saímos com um código de erro

Nesta lista, usamos um método que não abordamos antes: `unwrap_or_else`, que está definido em `Result <T, E>` pela biblioteca padrão. Usar `unwrap_or_else` nos permite definir algum erro personalizado, não-`panic!` de manipulação. Se o `Result` for um valor `Ok`, o comportamento deste método é semelhante a `unwrap`: ele retorna o valor interno `Ok`. No entanto, se o valor é um valor `Err`, este método chama o código na *closure*, que é uma função anônima que definimos e passamos como um argumento para

`unwrap_or_else`. Nós entraremos em detalhes sobre closures no Capítulo 13. Por enquanto, você precisa apenas saber que `unwrap_or_else` passará o valor interno do `Err`, que neste caso é a string estática `not enough arguments` que adicionamos na Listagem 12-9, para o nosso closure no argumento `err` que aparece entre os pipes verticais. O código no closure pode então usar o valor `err` quando ele é executado.

Adicionamos uma nova linha de `use` para importar `process` da biblioteca padrão. O código na closure que será executado no caso de erro são apenas duas linhas: nós imprimimos o valor de `err` e depois chamamos `process::exit`. A função `process::exit` interromperá o programa imediatamente e retornará o número que foi passado como o código de status de saída. Isso é semelhante ao manuseio baseado no `panic!` que usamos na Listagem 12-8, mas já não obtemos todos os resultados extras. Vamos tentar isto:

```
$ cargo run
  Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
    Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.48 secs
    Running `target/debug/minigrep`
Problem parsing arguments: not enough arguments
```

Ótimo! Este resultado é muito mais amigável para os nossos usuários.

Extraindo a Lógica do `main`

Agora que terminamos de refatorar a análise da configuração, voltemos a lógica do programa. Como afirmamos em “Separação de Responsabilidades para Projetos Binários”, vamos extrair uma função chamada `run` que irá armazenar toda a lógica atualmente na função `main` que não está envolvida com a configuração ou manipulação de erros. Quando terminarmos, `main` será conciso e fácil de verificar por inspeção, e poderemos fazer testes para todas as outras lógicas.

Listagem 12-11 mostra a função extraída `run`. Por enquanto, estamos apenas fazendo a pequena melhoria incremental da extração da função. Ainda estamos definindo a função em `src/main.rs`:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    // --snip--

    println!("Searching for {}", config.query);
    println!("In file {}", config.filename);

    run(config);
}

fn run(config: Config) {
    let mut f = File::open(config.filename).expect("file not found");

    let mut contents = String::new();
    f.read_to_string(&mut contents)
        .expect("something went wrong reading the file");

    println!("With text:\n{}", contents);
}

// --snip--
```

Listagem 12-11: Extraindo uma função `run` contendo o resto da lógica do programa

A função `run` agora contém toda a lógica restante de `main`, começando por ler o arquivo. A função `run` pega a instância `Config` como um argumento.

Retornando Erros da Função `run`

Com a lógica do programa restante separada na função `run`, podemos melhorar o tratamento de erros, como fizemos com `Config::new` na Listagem 12-9. Em vez de permitir que o programa entre em pânico ao chamar `expect`, a função `run` retornará um `Result<T, E>` quando algo der errado. Isso permitirá nos permitirá consolidar ainda mais na lógica principal a manipulação de erros em uma maneira fácil de usar. A Listagem 12-12 mostra as mudanças que precisamos fazer para a assinatura e corpo de `run`:

Arquivo: `src/main.rs`

```
use std::error::Error;

// --snip--

fn run(config: Config) -> Result<(), Box<Error>> {
    let mut f = File::open(config.filename)?;

    let mut contents = String::new();
    f.read_to_string(&mut contents)?;

    println!("With text:\n{}", contents);

    Ok(())
}
```

Listagem 12-12: Alterar a função `run` para retornar `Result`

Nós fizemos três mudanças significativas aqui. Primeiro, mudamos o tipo de retorno da função `run` para `Result<(), Box<Error>>`. Esta função anteriormente devolveu o tipo de unidade, `()`, e nós mantemos isso como o valor retornado `Ok` no caso.

Para o tipo de erro, usamos o *trait object* `Box<Error>` (e nós trouxemos `std::error::Error` no escopo com uma instrução `use` na parte superior). Vamos cobrir objetos *trait* no Capítulo 17. Por enquanto, apenas saiba que `Box<Error>` significa que a função retornará um tipo que implemente o *trait* `Error`, mas não temos que especificar qual tipo em particular o valor de retorno será. Isso nos dá flexibilidade para retornar valores de erro que podem ser de diferentes tipos em diferentes casos de erro.

Em segundo lugar, removemos as chamadas para `expect` em favor de `?`, como falamos sobre isso no Capítulo 9. Ao invés de `panic!` em um erro, `?` retornará o valor do erro a partir da função atual para que o chamador lide com ele.

Em terceiro lugar, a função `run` agora retorna um valor `Ok` no caso de sucesso. Nós declaramos o tipo de sucesso da função `run` como `()` na assinatura, que significa que precisamos *wrap* (envolver) o valor do tipo de unidade no valor `Ok`. Esta sintaxe `Ok(())` pode parecer um pouco estranha no início, mas usar `()` como este é o maneira idiomática de indicar que chamamos `run` para seus efeitos colaterais somente; ele não retorna o valor que precisamos.

Quando você executa este código, ele compilará, mas exibirá um aviso:

```
warning: unused `std::result::Result` which must be used
--> src/main.rs:18:5
   |
18 |     run(config);
   |     ^^^^^^^^^^^^^
= note: #[warn(unused_must_use)] on by default
```

Rust nos diz que nosso código ignorou o valor `Result` e o valor de `Result` pode indicar que ocorreu um erro. Mas não estamos checando para ver se ocorreu ou não o erro, e o compilador nos lembra que provavelmente queríamos tratar algum código de erros aqui! Vamos corrigir esse problema agora.

Manipulação de Erros Retornados de `run` em `main`

Verificamos erros e lidaremos com eles usando uma técnica semelhante à nossa manipulação de erros com `Config::new` na Listagem 12-10, mas com umas diferenças:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    // --snip--

    println!("Searching for {}", config.query);
    println!("In file {}", config.filename);

    if let Err(e) = run(config) {
        println!("Application error: {}", e);

        process::exit(1);
    }
}
```

Usamos `if let` em vez de `unwrap_or_else` para verificar se `run` retorna um valor `Err` e chama `process::exit(1)` se o fizer. A função `run` não retorna um valor que queremos `unwrap` da mesma forma que `Config::new` retorna a instância `Config`. Porque `run` retorna `()` no caso de sucesso, nós só nos preocupamos em detectar um erro, por isso não precisamos de `unwrap_or_else` para devolver o valor `unwrapped` porque seria apenas `()`.

Os corpos das funções `if let` e `unwrap_or_else` são os mesmos em ambos os casos: imprimimos o erro e saímos.

Dividindo o Código em uma Crate de Biblioteca

O nosso projeto `minigrep` parece estar bem até agora! Agora vamos dividir o `src/main.rs` e

colocar algum código no arquivo *src/lib.rs* para que possamos testá-lo em um arquivo *src/main.rs* com menos responsabilidades.

Vamos mover todo o código que não é da função `main` de *src/main.rs* para *src/lib.rs*:

- A definição de função `run`
- As instruções relevantes `use`
- A definição de `Config`
- A definição da função `Config::new`

O conteúdo de *src/lib.rs* deve ter as assinaturas mostradas na Listagem 12-13 (omitimos o corpo das funções por brevidade). Observe que isso não irá compilar até modificar o *src/main.rs* na listagem depois desta:

Arquivo: *src/lib.rs*

```
use std::error::Error;
use std::fs::File;
use std::io::prelude::*;

pub struct Config {
    pub query: String,
    pub filename: String,
}

impl Config {
    pub fn new(args: &[String]) -> Result<Config, &'static str> {
        // --snip--
    }
}

pub fn run(config: Config) -> Result<(), Box<Error>> {
    // --snip--
}
```

Listagem 12-13: movendo `Config` e `run` para *src/lib.rs*

Nós fizemos um uso liberal do `pub` aqui: no `Config`, seus campos e seu método `new`, e na função `run`. Agora temos uma crate de biblioteca que tem uma API pública que podemos testar!

Agora, precisamos trazer o código que nós movemos para *src/lib.rs* no escopo da crate binária em *src/main.rs*, conforme mostrado na Listagem 12-14:

Arquivo: *src/main.rs*

```
extern crate minigrep;

use std::env;
use std::process;

use minigrep::Config;

fn main() {
    // --snip--
    if let Err(e) = minigrep::run(config) {
        // --snip--
    }
}
```

Listagem 12-14: Trazendo a `crate minigrep` para o escopo de `src/main.rs`

Para colocar a crate de biblioteca na crate binária, usamos `extern crate minigrep`. Em seguida, adicionaremos uma linha `use minigrep::Config` para trazer para o escopo o tipo `Config`, e iremos prefixar a função `run` com o nome da nossa crate. Agora todas as funcionalidades devem estar conectadas e devem funcionar. Execute o programa com `cargo run` e verifique se tudo funciona corretamente.

Ufa! Isso foi trabalhoso, mas nós nos preparamos para o sucesso no futuro. Agora é muito mais fácil lidar com erros, e nós fizemos o código mais modular. Quase todo o nosso trabalho será feito em `src/lib.rs` a partir daqui.

Vamos aproveitar desta nova recém-descoberta modularidade para fazer algo que seria difícil com o código antigo, mas é fácil com o novo código: nós iremos escrever alguns testes!

Desenvolvendo a Biblioteca de Funcionalidades com Desenvolvimento Guiado por Testes

Agora que extraímos a lógica em `src/lib.rs` e deixamos o argumento de coleta e tratamento de erros em `src/main.rs`, é muito mais fácil escrever testes para nosso código da funcionalidade principal. Podemos chamar funções diretamente com vários argumentos e verificar valores de retorno sem ter que chamar o nosso binário da linha de comando. Sinta-se livre para escrever alguns testes para as funções `Config::new` e `run` por sua conta.

Nesta seção, adicionaremos a lógica de busca ao programa `minigrep` usando o processo Desenvolvimento Guiado por Testes (Test Driven Development (TDD)). Nessa técnica de desenvolvimento de software, segue estas etapas:

1. Escreva um teste que falha e execute-o, para certificar-se de que ele falha pelo motivo esperado por você.
2. Escreva ou modifique o código apenas o suficiente para fazer passar no teste.
3. Refatore o código que você acabou de adicionar ou alterou e certifique-se de que os testes continuam a passar.
4. Repita a partir do passo 1!

Este processo é apenas uma das muitas maneiras de escrever software, mas o TDD pode ajudar a conduzir design de código também. Escrevendo o teste antes de escrever o código que faz o teste passar, ajuda a manter uma alta cobertura de teste ao longo do processo.

Testaremos a implementação da funcionalidade que realmente fará a busca da string de consulta no conteúdo do arquivo, e produzir uma lista de linhas que correspondem à consulta. Vamos adicionar essa funcionalidade em uma função chamada `search`.

Escrevendo um Teste de Falha

Porque não precisamos mais deles, vamos remover as instruções `println!` de *src/lib.rs* e *src/main.rs* que costumávamos verificar o comportamento do programa. Então, em *src/lib.rs*, adicionaremos um módulo `test` com uma função de teste, como nós fizemos no Capítulo 11. A função de teste especifica o comportamento que queremos para a função `search` tenha: receberá os parâmetros da consulta e o texto para realizar a consulta, e retornará apenas as linhas do texto que contém a consulta. A Listagem 12-15 mostra esse teste, que ainda não compilará:

Arquivo: *src/lib.rs*


```
#[cfg(test)]
mod test {
    use super::*;

    #[test]
    fn one_result() {
        let query = "duct";
        let contents = "\
Rust:
safe, fast, productive.
Pick three.";

        assert_eq!(
            vec!["safe, fast, productive."],
            search(query, contents)
        );
    }
}
```

Listagem 12-15: Criando um teste de falha para a função `search` que desejamos ter

Este teste procura a string “duct”. O texto que estamos procurando contém três linhas, apenas uma das quais contém “duct.” Afirmamos que o valor retornado a partir da função `search` contém apenas a linha que esperamos.

Não somos capazes de executar este teste e vê-lo falhar porque o teste nem mesmo compila: a função `search` ainda não existe! Então, agora vamos adicionar código apenas o suficiente para obter a compilação do teste, e executar, adicionando uma definição da função `search` que sempre retorna um vetor vazio, como mostrado na Listagem 12-16. Então o teste deve compilar e falhar porque um vetor vazio não corresponde a um vetor contendo a linha “safe, fast, productive.”.

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub fn search<'a>(query: &str, contents: &'a str) -> Vec<&'a str> {
    vec![]
}
```

Listagem 12-16: Definindo apenas o suficiente da função `search` para que nosso teste compile

Observe que precisamos de uma lifetime explícita `'a` definida na assinatura do `search` e usada com o argumento `contents` e o valor de retorno. Lembre-se no Capítulo 10 que os parâmetros de lifetime especificam qual o lifetime do argumento conectado ao lifetime do valor de retorno. Neste caso, indicamos que o vetor retornado deve conter pedaços de

string que fazem referência a pedaços do argumento `contents` (em vez do argumento `query`).

Em outras palavras, dizemos ao Rust que os dados retornados pela função `search` irá viver enquanto os dados passarem para a função `search` no argumento de `contents`. Isso é importante! Os dados referenciados *por* um pedaço precisa ser válido para que a referência seja válida; se o compilador assume que estamos fazendo pedaços de string de `query` em vez de `contents`, ele fará sua verificação de segurança incorretamente.

Se esquecermos as anotações de lifetime e tentarmos compilar esta função, iremos obter este erro:

```
error[E0106]: missing lifetime specifier
  --> src/lib.rs:5:51
   |
5  | pub fn search(query: &str, contents: &str) -> Vec<&str> {
   |                                           ^ expected lifetime
parameter
   |
   = help: this function's return type contains a borrowed value, but the
signature does not say whether it is borrowed from `query` or `contents`
```

Rust não consegue saber qual dos dois argumentos que precisamos, então precisamos informar isto. Porque `contents` é o argumento que contém todo o nosso texto e nós queremos retornar as partes desse texto que combinam, sabemos que o `contents` é o argumento que deve ser conectado ao valor de retorno usando a sintaxe de lifetime.

Outras linguagens de programação não exigem que você conecte argumentos para retornar valores na assinatura, por isso, embora isso possa parecer estranho, ele ficará mais fácil ao longo do tempo. Você pode querer comparar este exemplo com a seção “Validando Referências com Lifetimes” no Capítulo 10.

Agora vamos executar o teste:

```

$ cargo test
  Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
--warnings--
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.43 secs
  Running target/debug/deps/minigrep-abcabcabc

running 1 test
test test::one_result ... FAILED

failures:

---- test::one_result stdout ----
    thread 'test::one_result' panicked at 'assertion failed: `(left ==
right)`
left: `["safe, fast, productive."`,
right: `[]`)', src/lib.rs:48:8
note: Run with `RUST_BACKTRACE=1` for a backtrace.

failures:
  test::one_result

test result: FAILED. 0 passed; 1 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out
error: test failed, to rerun pass '--lib'

```

Ótimo, o teste falha, exatamente como esperávamos. Vamos fazer o teste passar!

Escrevendo Código para Passar no Teste

Atualmente, nosso teste está falhando porque sempre devolvemos um vetor vazio. Para consertar isso é preciso implementar `search`, nosso programa precisa seguir essas etapas:

- Iterar através de cada linha do conteúdo.
- Verificar se a linha contém nossa string de consulta.
- Se a tiver, adicione-a à lista de valores que estamos retornando.
- Se não, não faça nada.
- Retorna a lista de resultados que correspondem.

Vamos trabalhar em cada passo, começando por iterar através de linhas.

Iterar Através de Linhas com o Método `lines`

Rust tem um método útil para lidar com a iteração linha-a-linha de strings, convenientemente chamado `lines`, que funciona como mostrado na Listagem 12-17.

Observe que isso ainda não compilará:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub fn search<'a>(query: &str, contents: &'a str) -> Vec<'a str> {  
    for line in contents.lines() {  
        // faça algo com line  
    }  
}
```

Listagem 12-17: Iterando para cada linha em `contents`

O método `lines` retorna um iterador. Vamos falar sobre iteradores em profundidade no Capítulo 13, mas lembre-se de que você viu essa maneira de usar um iterador na Listagem 3-4, onde usamos um loop `for` com um iterador para executar algum código em cada item de uma coleção.

Pesquisando Cada Linha para a Consulta

Em seguida, verificamos se a linha atual contém nossa string de consulta. Felizmente, as strings possuem um método útil chamado `contains` que faz isso para nós! Adicione uma chamada ao método `contains` na função `search`, conforme mostrado na Listagem 12-18. Observe que isso ainda não compilará ainda:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub fn search<'a>(query: &str, contents: &'a str) -> Vec<'a str> {  
    for line in contents.lines() {  
        if line.contains(query) {  
            // do something with line  
        }  
    }  
}
```

Listagem 12-18: Adicionando funcionalidade para ver se a linha contém a string na `query`

Armazenamento de Linhas Correspondentes

Nós também precisamos de uma maneira de armazenar as linhas que contêm nossa string de consulta. Por isso, podemos fazer um vetor mutável antes do loop `for` e chamar o método `push` para armazenar uma `line` no vetor. Após o loop `for`, devolvemos o vetor, como mostrado na Listagem 12-19:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub fn search<'a>(query: &'a str, contents: &'a str) -> Vec<'a str> {
    let mut results = Vec::new();

    for line in contents.lines() {
        if line.contains(query) {
            results.push(line);
        }
    }

    results
}
```

Listagem 12-19: Armazenando as linhas que combinam para que possamos devolvê-las

Agora, a função `search` deve retornar apenas as linhas que contêm `query`, e nosso teste deve passar. Vamos executar o teste:

```
$ cargo test
--snip--
running 1 test
test test::one_result ... ok

test result: ok. 1 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out
```

Nosso teste passou, então sabemos que funciona!

Neste ponto, poderíamos considerar oportunidades de refatorar a implementação da função de pesquisa, mantendo os testes passando para a mesma funcionalidade. O código na função de pesquisa não é muito ruim, mas não tira proveito de algumas características úteis dos iteradores. Iremos voltar para este exemplo no Capítulo 13, onde exploraremos iteradores em detalhes e veremos como melhorá-lo.

Usando a Função `search` na Função `run`

Agora que a função `search` está funcionando e testada, precisamos chamar `search` da nossa função `run`. Precisamos passar o valor `config.query` e o `contents` que `run` lê do arquivo para a função `search`. Então, `run` irá imprimir cada linha retornada de `search`:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub fn run(config: Config) -> Result<(), Box<Error>> {
    let mut f = File::open(config.filename)?;

    let mut contents = String::new();
    f.read_to_string(&mut contents)?;

    for line in search(&config.query, &contents) {
        println!("{}", line);
    }

    Ok(())
}
```

Ainda estamos usando um loop `for` para retornar cada linha de `search` e imprimi-lo.

Agora, todo o programa deve funcionar! Vamos tentar, primeiro, com uma palavra que deve retornar exatamente uma linha do poema de Emily Dickinson, “frog”:

```
$ cargo run frog poem.txt
Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.38 secs
Running `target/debug/minigrep frog poem.txt`
How public, like a frog
```

Legal! Agora vamos tentar uma palavra que combine várias linhas, como “body”:

```
$ cargo run body poem.txt
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0 secs
Running `target/debug/minigrep body poem.txt`
I'm nobody! Who are you?
Are you nobody, too?
How dreary to be somebody!
```

E, finalmente, vamos nos certificar de que não recebemos nenhuma linha quando buscamos uma palavra que não está em qualquer lugar no poema, como “monomorphization”:

```
$ cargo run monomorphization poem.txt
Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0 secs
Running `target/debug/minigrep monomorphization poem.txt`
```

Excelente! Nós construímos nossa própria mini versão de uma ferramenta clássica e aprendemos muito sobre como estruturar aplicativos. Também aprendemos um pouco sobre a entrada de arquivos e saída, lifetimes, teste e análise de linha de comando.

Para completar este projeto, brevemente demonstraremos como trabalhar com variáveis de ambiente e como imprimir em erro padrão, ambos úteis quando você está escrevendo programas de linha de comando.

Trabalhando com Variáveis de Ambiente

Melhoraremos `minigrep` adicionando um recurso extra: uma opção para pesquisa insensível às letras maiúsculas ou minúsculas, que o usuário poderá ativar através de variável de ambiente. Poderíamos fazer deste recurso uma opção de linha de comando e exigir que os usuários entrem cada vez que eles querem que ele se aplique, mas, em vez disso, usaremos um variável de ambiente. Isso permite que nossos usuários estabeleçam a variável de ambiente uma vez e todas as suas buscas são insensíveis às maiúsculas e minúsculas naquela sessão do terminal.

Escrevendo um Teste de Falha para a Função `search` insensível a Maiúsculas e Minúsculas

Queremos adicionar uma nova função `search_case_insensitive` que chamaremos quando a variável de ambiente estiver ativada. Seguiremos com o processo TDD, então o primeiro passo é novamente escrever um teste de falha. Vamos adicionar um novo teste para a nova função `search_case_insensitive` e renomear nosso antigo teste de `one_result` para `case_sensitive` de forma a esclarecer as diferenças entre os dois testes, conforme mostrado na Listagem 12-20:

Arquivo: `src/lib.rs`

```

#[cfg(test)]
mod test {
    use super::*;

    #[test]
    fn case_sensitive() {
        let query = "duct";
        let contents = "\
Rust:
safe, fast, productive.
Pick three.
Duct tape.";

        assert_eq!(
            vec!["safe, fast, productive."],
            search(query, contents)
        );
    }

    #[test]
    fn case_insensitive() {
        let query = "rUsT";
        let contents = "\
Rust:
safe, fast, productive.
Pick three.
Trust me.";

        assert_eq!(
            vec!["Rust:", "Trust me."],
            search_case_insensitive(query, contents)
        );
    }
}

```

Listagem 12-20: Adicionando um novo teste de falha para a função insensível à maiúsculas e minúsculas que estamos prestes a adicionar

Note que também editamos o `contents` do antigo teste. Adicionamos uma nova linha com o texto “Duct tape” usando um D maiúsculo que não deve corresponder à consulta “duct” quando procuramos de forma sensível à maiúsculas e minúsculas. Alterando o teste antigo desta forma, ajuda a garantir que não quebramos acidentalmente a diferenciação de maiúsculas e minúsculas na funcionalidade de pesquisa que já implementamos. Este teste deve passar agora e deve continuar a passar enquanto trabalhamos na pesquisa insensível à maiúsculas e minúsculas.

O novo teste para a pesquisa insensível usa “rUsT” para sua consulta. Na função `search_case_insensitive` que estamos prestes a adicionar, a consulta “rUsT” deve

combinar a linha que contém “Rust:” com um R maiúsculo e também a linha “Trust me.”, embora ambos tenham uma caixa (maiúsculas e minúsculas) diferente da consulta. Este é o nosso teste de falha, e ele não compilará porque ainda não definimos a função `search_case_insensitive`. Sinta-se livre para adicionar uma implementação que sempre retorna um vetor vazio, semelhante à forma como fizemos para a função `search` na Listagem 12-16 para ver a compilação e o teste falhar.

Implementando a Função `search_case_insensitive`

A função `search_case_insensitive`, mostrada na Listagem 12-21, será quase o mesmo que a função `search`. A única diferença é que vamos forçar minúsculas para `query` e para cada `line`, qualquer que seja o caso dos argumentos de entrada, eles serão sempre minúsculos quando verificamos se a linha contém a consulta:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
fn search_case_insensitive<'a>(query: &str, contents: &'a str) -> Vec<&'a str> {
    let query = query.to_lowercase();
    let mut results = Vec::new();

    for line in contents.lines() {
        if line.to_lowercase().contains(&query) {
            results.push(line);
        }
    }

    results
}
```

Listagem 12-21: Definindo a função `search_case_insensitive` para forçar caixa baixa na consulta antes de compará-las

Primeiro, caixa baixa na string `query` e a armazenamos em uma variável sombreada com o mesmo nome. Chamar `to_lowercase` na consulta é necessário, portanto, não importa se a consulta do usuário é “rust”, “RUST”, “Rust”, ou “rUsT”, trataremos a consulta como se fosse “rust” sendo insensível ao caso.

Note que `query` é agora uma `String` ao invés de um fatia de string, porque chamar `to_lowercase` cria novos dados em vez de referenciar dados existentes. Suponha que a consulta é “rUsT”, por exemplo: essa fatia de string não contém minúsculas “u” ou “t” para nós usarmos, então temos que alocar uma nova `String` contendo “rust”. Quando passamos `query` como um argumento para o método `contains` agora, nós precisamos

adicionar um ampersand (&) porque a assinatura de `contains` é definida para uma fatia de string.

Em seguida, adicionamos uma chamada a `to_lowercase` em cada `line` antes de verificarmos se contém `query` para passar para caixa baixa em todos os caracteres. Agora que convertemos `line` e `query` para letras minúsculas, encontraremos correspondências, não importa qual seja o caso da consulta.

Vamos ver se esta implementação passa nos testes:

```
running 2 tests
test test::case_insensitive ... ok
test test::case_sensitive ... ok

test result: ok. 2 passed; 0 failed; 0 ignored; 0 measured; 0 filtered out
```

Ótimo! Eles passaram. Agora, vamos chamar a nova função `search_case_insensitive` da função `run`. Primeiro, adicionaremos uma opção de configuração ao `Config` struct para alternar entre pesquisa sensível a maiúsculas e minúsculas. Adicionar esse campo causará erros no compilador, já que não estamos inicializando o campo em nenhum lugar:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub struct Config {
    pub query: String,
    pub filename: String,
    pub case_sensitive: bool,
}
```

Note que nós adicionamos o campo `case_sensitive` que contém um Booleano. Em seguida nós precisamos da função `run` para verificar o valor do campo `case_sensitive` e usá-la para decidir se devemos chamar a função `search` ou a função `search_case_insensitive`, conforme mostrado na Listagem 12-22. Note que isso ainda não irá compilar ainda:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub fn run(config: Config) -> Result<(), Box<Error>> {
    let mut f = File::open(config.filename)?;

    let mut contents = String::new();
    f.read_to_string(&mut contents)?;

    let results = if config.case_sensitive {
        search(&config.query, &contents)
    } else {
        search_case_insensitive(&config.query, &contents)
    };

    for line in results {
        println!("{}", line);
    }

    Ok(())
}
```

Listagem 12-22: Chamando `search` ou `search_case_insensitive` baseado no valor em `config.case_sensitive`

Finalmente, precisamos verificar a variável de ambiente. As funções para trabalhar com variáveis de ambiente estão no módulo `env` na biblioteca padrão, por isso queremos trazer esse módulo para o escopo com uma linha `use std::env;` no topo de `src/lib.rs`. Então vamos usar o método `var` do módulo `env` para verificar uma variável de ambiente chamada `CASE_INSENSITIVE`, conforme na Listagem 12-23:

Arquivo: `src/lib.rs`

```

use std::env;

// --snip--

impl Config {
    pub fn new(args: &[String]) -> Result<Config, &'static str> {
        if args.len() < 3 {
            return Err("not enough arguments");
        }

        let query = args[1].clone();
        let filename = args[2].clone();

        let case_sensitive = env::var("CASE_INSENSITIVE").is_err();

        Ok(Config { query, filename, case_sensitive })
    }
}

```

Listagem 12-23: Checando por uma variável de ambiente chamada `CASE_INSENSITIVE`

Aqui, criamos uma nova variável `case_sensitive`. Para definir seu valor, chamamos a função `env::var` e passamos o nome da variável de ambiente `CASE_INSENSITIVE`. O método `env::var` retorna um `Result` que será o sucesso variante `Ok` que contém o valor da variável de ambiente se a variável de ambiente está definida. Ele retornará a variante `Err` se a variável de ambiente não está definida.

Estamos usando o método `is_err` no `Result` para verificar se é um erro e, portanto, não definido, o que significa que *deveria* fazer uma pesquisa sensível a maiúsculas e minúsculas. Se a variável de ambiente `CASE_INSENSITIVE` está configurada para qualquer coisa, `is_err` irá retornar `false` e realizará uma pesquisa sem distinção entre maiúsculas e minúsculas. Nós não nos importamos com o *valor* da variável de ambiente, apenas se está definido ou não, estamos verificando `is_err` em vez de `unwrap`, `expect` ou qualquer um dos outros métodos que vimos em `Result`.

Nós passamos o valor na variável `case_sensitive` para a instância `Config` na função `run` pode ler esse valor e decidir se deve chamar `search` ou `search_case_insensitive` conforme implementamos na Listagem 12-22.

Vamos tentar! Primeiro, executaremos nosso programa sem o conjunto de variáveis de ambiente e com a consulta “to”, que deve corresponder a qualquer linha que contenha a palavra “to” em todas as letras minúsculas:

```
$ cargo run to poem.txt
  Compiling minigrep v0.1.0 (file:///projects/minigrep)
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0 secs
  Running `target/debug/minigrep to poem.txt`
Are you nobody, too?
How dreary to be somebody!
```

Parece que isso ainda funciona! Agora, vamos executar o programa com `CASE_INSENSITIVE` definido como `1` mas com a mesma consulta “to”; devemos pegar linhas que contenham “to” que possam ter letras maiúsculas:

```
$ CASE_INSENSITIVE=1 cargo run to poem.txt
  Finished dev [unoptimized + debuginfo] target(s) in 0.0 secs
  Running `target/debug/minigrep to poem.txt`
Are you nobody, too?
How dreary to be somebody!
To tell your name the livelong day
To an admiring bog!
```

Se você estiver usando o PowerShell, precisará definir a variável de ambiente e executar o programa em dois comandos em vez de um:

```
$ $env:CASE_INSENSITIVE=1
$ cargo run to poem.txt
```

Excelente, também temos linhas contendo “To”! Nosso programa `minigrep` agora pode fazer busca insensível a maiúsculas e minúsculas controlada por uma variável de ambiente. Agora você sabe como gerenciar as opções definidas usando argumentos de linha de comando ou variáveis de ambiente!

Alguns programas permitem argumentos *and* variáveis de ambiente para a mesma configuração. Nesses casos, os programas decidem que um ou outro tenham precedência. Para outro exercício por conta própria, tente controlar o caso insensibilidade através de um argumento de linha de comando ou uma variável de ambiente. Decida se o argumento da linha de comando ou a variável de ambiente deve ter precedência se o programa for executado com um conjunto para diferenciação de maiúsculas e minúsculas ou um conjunto para maiúsculas e minúsculas insensível.

O módulo `std::env` contém muitos mais recursos úteis para lidar com variáveis de ambiente: confira sua documentação para ver o que está disponível.

Escrevendo Mensagens de Erro para Erro Padrão em Vez de Saída Padrão

No momento, estamos escrevendo toda a nossa saída para o terminal usando a função `println!`. A maioria dos terminais fornece dois tipos de saída: *saída padrão* (`stdout`) para informações gerais e *erro padrão* (`stderr`) para mensagens de erro. Essa distinção permite que os usuários escolham direcionar a saída bem-sucedida de um programa para um arquivo, mas ainda imprimir mensagens de erro na tela.

A função `println!` só é capaz de imprimir na saída padrão, então temos que usar outra coisa para imprimir em erro padrão.

Verificando Onde os Erros são Escritos

Primeiro, vamos observar como o conteúdo impresso por `minigrep` está sendo gravado na saída padrão, incluindo as mensagens de erro que desejamos gravar no erro padrão. Faremos isso redirecionando o fluxo de saída padrão para um arquivo e, ao mesmo tempo, causando um erro intencionalmente. Não redirecionamos o fluxo de erros padrão, portanto, qualquer conteúdo enviado ao erro padrão continuará sendo exibido na tela.

Espera-se que os programas de linha de comando enviem mensagens de erro para o fluxo erro padrão, para que ainda possamos ver mensagens de erro na tela, mesmo se redirecionarmos o fluxo de saída padrão para um arquivo. Nosso programa não está bem comportado: estamos prestes a ver que ele salva a saída da mensagem de erro em um arquivo!

A maneira de demonstrar este comportamento é rodando o programa com `>` e o nome do arquivo, `output.txt`, para o qual queremos redirecionar o fluxo de saída padrão. Não passamos nenhum argumento, o que deve causar um erro:

```
$ cargo run > output.txt
```

A sintaxe `>` diz ao shell para gravar o conteúdo da saída padrão para `output.txt` em vez da tela. Nós não vimos a mensagem de erro que estávamos esperando impresso na tela, o que significa que deve ter acabado no arquivo. Isto é o que o `output.txt` contém:

```
Problem parsing arguments: not enough arguments
```

Sim, nossa mensagem de erro está sendo impressa na saída padrão. É muito mais útil que mensagens de erro como essa sejam impressas no erro padrão e que somente os dados de

uma execução bem-sucedida acabem no arquivo quando redirecionamos a saída padrão dessa maneira. Nós vamos mudar isso.

Imprimindo Erros em Padrão de Erros

Usaremos o código da Listagem 12-24 para alterar a forma como as mensagens de erro são impressas. Por causa da refatoração que fizemos anteriormente neste capítulo, todo o código que imprime mensagens de erro está em uma função, `main`. A biblioteca padrão fornece a macro `eprintln!` que imprime no fluxo de erro padrão, então vamos alterar os dois locais que estávamos chamando `println!` para imprimir erros para usar `eprintln!`:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let args: Vec<String> = env::args().collect();

    let config = Config::new(&args).unwrap_or_else(|err| {
        eprintln!("Problem parsing arguments: {}", err);
        process::exit(1);
    });

    if let Err(e) = minigrep::run(config) {
        eprintln!("Application error: {}", e);

        process::exit(1);
    }
}
```

Listagem 12-24: Escrevendo mensagens de erro para o erro padrão em vez da saída padrão usando o `eprintln!`

Depois de alterar `println!` para `eprintln!`, vamos executar o programa novamente da mesma forma, sem argumentos e redirecionando a saída padrão com `> :`

```
$ cargo run > output.txt
Problem parsing arguments: not enough arguments
```

Agora vemos o erro na tela e o `output.txt` não contém nada, que é o comportamento esperado dos programas de linha de comando.

Vamos executar o programa novamente com argumentos que não causam erro, mas ainda redirecionamos a saída padrão para um arquivo, da seguinte forma:

```
$ cargo run to poem.txt > output.txt
```

Não veremos nenhuma saída para o terminal e *output.txt* conterá nossos resultados:

Arquivo: output.txt

```
Are you nobody, too?  
How dreary to be somebody!
```

Isso demonstra que agora estamos usando a saída padrão para saída bem-sucedida e erro padrão para saída de erro, apropriadamente.

Resumo

Neste capítulo, recapitulamos alguns dos principais conceitos que você aprendeu até agora e abordamos como realizar operações de E/S comuns em um contexto Rust. Usando argumentos de linha de comando, arquivos, variáveis de ambiente e a macro `eprintln!` para erros de impressão, você está preparado para escrever aplicativos de linha de comando. Usando os conceitos dos capítulos anteriores, seu código será bem organizado, armazenará dados de forma eficaz nas estruturas de dados apropriadas, tratará erros com precisão e será bem testado.

Em seguida, exploraremos alguns recursos do Rust que foram influenciados por linguagens funcionais: closures e iteradores.

Functional Language Features in Rust

Closures

Iterators

Improving our I/O Project

Performance

More about Cargo and Crates.io

Release Profiles

Publishing a Crate to Crates.io

Cargo Workspaces

Installing Binaries from Crates.io with `cargo install`

Extending Cargo with Custom Commands

Ponteiros Inteligentes (Smart Pointers)

Um *ponteiro* é um conceito geral para uma variável que contém um endereço de memória. Esse endereço se refere a, ou "aponta para", algum outro dado. O tipo mais comum de ponteiro em Rust é a referência, sobre a qual você aprendeu no Capítulo 4. Referências são indicadas pelo símbolo `&`, e pegam emprestado o valor para o qual apontam. Elas não têm nenhuma outra habilidade senão referir-se a dados. Além disso, elas não têm nenhum custo adicional e são o tipo de ponteiro que usamos com maior frequência.

Ponteiros inteligentes (smart pointers), por outro lado, são estruturas de dados que agem como um ponteiro mas também têm metadados e habilidades adicionais. O conceito de ponteiros inteligentes não é exclusivo do Rust: ele teve origem no C++ e também existe em outras linguagens. No Rust, os diferentes ponteiros inteligentes definidos na biblioteca padrão proveem funcionalidades além daquelas providas pelas referências. Um exemplo que vamos explorar neste capítulo é o tipo de ponteiro inteligente de *contagem de referências (reference counting)*. Esse ponteiro lhe permite ter múltiplos possuidores de um dado. Ele mantém registro do número de possuidores e, quando não resta nenhum, cuida de limpar o dado.

Em Rust, onde temos os conceitos de posse (*ownership*) e empréstimo (*borrowing*), uma diferença adicional entre referências e ponteiros inteligentes é que referências são ponteiros que apenas *pegam emprestados* os dados; em contraste, em muitos casos, ponteiros inteligentes *têm posse* dos dados aos quais apontam.

Nós já encontramos alguns ponteiros inteligentes neste livro, como `String` e `Vec<T>` no

Capítulo 8, apesar de não os termos chamado de ponteiros inteligentes naquele momento. Ambos esses tipos contam como ponteiros inteligentes porque eles têm posse de uma parte da memória e permitem que você a manipule. Eles também têm metadados (como sua capacidade) e habilidades extras ou garantias (como a garantia que `String` dá de que seus dados serão sempre UTF-8 válido).

Ponteiros inteligentes normalmente são implementados usando structs. A característica que distingue um ponteiro inteligente de uma struct qualquer é que ele implementa as traits `Deref` e `Drop`. A trait `Deref` permite que uma instância da struct do ponteiro inteligente se comporte como uma referência. Assim podemos escrever código que funcione tanto com referências quanto com ponteiros inteligentes. A trait `Drop` nos permite personalizar o código que é executado quando uma instância do smart pointer sai de escopo. Neste capítulo, discutiremos ambas as traits e demonstraremos porque são importantes para ponteiros inteligentes.

Dado que os ponteiros inteligentes são um padrão de projeto (*design pattern*) usado com frequência em Rust, este capítulo não irá cobrir todo ponteiro inteligente que existe. Muitas bibliotecas têm seus próprios ponteiros inteligentes, e você pode até mesmo criar seus próprios. Nós vamos cobrir os ponteiros inteligentes mais comuns na biblioteca padrão:

- `Box<T>`, para alocar valores no heap
- `Rc<T>`, um tipo com contagem de referências que permite posse múltipla
- `Ref<T>` e `RefMut<T>`, acessados através de `RefCell<T>`, um tipo que aplica as regras de empréstimo em tempo de execução em vez de em tempo de compilação

Além disso, vamos cobrir a pattern de *mutabilidade interior* (*interior mutability*), onde um tipo imutável expõe uma API para modificar um valor interno. Também vamos discutir *ciclos de referências*: como eles podem vazar memória e como evitá-los.

Mergulhemos!

`Box<T>` Aponta para Dados no Heap e Tem Tamanho Conhecido

O ponteiro inteligente mais simples é um *box* (literalmente, "caixa"), cujo tipo é escrito `Box<T>`. *Boxes* (plural de *box*) lhe permitem armazenar dados no heap em vez de na pilha. O que fica na pilha é o ponteiro para o dado no heap. Confira o Capítulo 4 para rever a diferença entre pilha e heap.

Boxes não têm custo adicional de desempenho além de armazenar dados no heap em vez

de na pilha. Mas eles também não têm muitas habilidades a mais. Você irá usá-los mais comumente nestas situações:

- Quando você tem um tipo cujo tamanho não é possível saber em tempo de compilação, e você quer usar um valor desse tipo em um contexto que precisa saber um tamanho exato;
- Quando você tem uma quantidade grande de dados e você quer transferir a posse mas garantir que os dados não serão copiados quando você o fizer;
- Quando você quer possuir um valor e só se importa se é um tipo que implementa uma *trait* específica, em vez de saber o tipo concreto.

Vamos demonstrar a primeira situação nesta seção. Mas antes disso, vamos falar um pouco mais sobre as outras duas situações: no segundo caso, transferir posse de uma quantidade grande de dados pode levar muito tempo porque os dados são copiados de um lado para o outro na pilha. Para melhorar o desempenho nessa situação, podemos armazenar essa quantidade grande de dados no heap em um *box*. Assim, apenas uma quantidade pequena de dados referentes ao ponteiro é copiada na pilha, e os dados em si ficam em um lugar só no heap. O terceiro caso é conhecido como um *objeto de trait* (*trait object*), e o Capítulo 17 dedica uma seção inteira somente a esse tópico. Então o que você aprender aqui você irá aplicar de novo no Capítulo 17!

Usando um `Box<T>` para Armazenar Dados no Heap

Antes de discutirmos esse caso de uso para o `Box<T>`, vamos cobrir a sintaxe e como interagir com valores armazenados dentro de um `Box<T>`.

A Listagem 15-1 mostra como usar um *box* para armazenar um valor `i32` no heap:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let b = Box::new(5);  
    println!("b = {}", b);  
}
```

Listagem 15-1: Armazenando um valor `i32` no heap usando um *box*

Nós definimos a variável `b` como tendo o valor de um `Box` que aponta para o valor `5`, que está alocado no heap. Esse programa irá imprimir `b = 5`; nesse caso, podemos acessar o dado no *box* de um jeito similar ao que usaríamos se esse dado estivesse na pilha. Da mesma forma que com qualquer valor possuído, quando um *box* sai de escopo, como o `b` no fim da `main`, ele é desalocado. A desalocação acontece para o *box* (armazenado na

pilha) e para os dados aos quais ele aponta (armazenados no heap).

Colocar um único valor no heap não é muito útil, então você normalmente não vai usar boxes sozinhos desse jeito. Ter valores como um único `i32` na pilha, onde são armazenados por padrão, é mais apropriado para a maioria das situações. Vamos dar uma olhada em um caso onde o box nos possibilita definir tipos que não poderíamos definir sem ele.

Boxes Possibilitam Tipos Recursivos

Em tempo de compilação, o Rust precisa saber quanto espaço um tipo ocupa. Um *tipo recursivo* (*recursive type*), onde um valor pode ter como parte de si mesmo outro valor do mesmo tipo, é um tipo cujo tamanho não se pode saber em tempo de compilação. Como esse aninhamento de valores poderia em teoria continuar infinitamente, o Rust não sabe quanto espaço um valor de um tipo recursivo precisa. Porém, boxes têm um tamanho conhecido, então podemos ter tipos recursivos inserindo um box em sua definição.

Vamos explorar a *lista ligada* (*cons list*), que é um tipo de dados comum em linguagens de programação funcional, como um exemplo de tipo recursivo. O tipo para lista ligada que vamos definir é bem básico exceto pela recursão; portanto, os conceitos no exemplo que vamos trabalhar vão ser úteis sempre que você se encontrar em situações mais complexas envolvendo tipos recursivos.

Mais Informações sobre a Cons List

A *cons list* é uma estrutura de dados que vem da linguagem de programação Lisp e seus dialetos. Em Lisp, a função `cons` (abreviação de "construction function", função de construção) constrói um novo par a partir de seus dois argumentos, que geralmente são um valor único e um outro par. Esses pares contendo pares formam uma lista.

O conceito da função `cons` acabou se tornando parte do jargão mais geral de programação funcional: "to cons x onto y" ("consar" x em y, grosso modo) em inglês informalmente significa construir uma nova instância de um par, colocando o elemento x no começo desse novo par, seguido pelo par y.

Cada item em uma *cons list* contém dois elementos: o valor do item atual e o próximo item. O último item na lista contém apenas um valor chamado de `Nil`, sem um próximo item. Uma *cons list* é produzida chamando-se recursivamente a função `cons`. O nome canônico que denota o caso base da recursão é `Nil`. Note que isso não é o mesmo que o conceito de "null" ou "nil" visto no Capítulo 6, que é um valor inválido ou ausente.

Apesar de linguagens de programação funcionais usarem *cons lists* frequentemente, essa não é uma estrutura de dados muito usada em Rust. Na maioria das vezes em que você tem uma lista de itens em Rust, `Vec<T>` é uma escolha melhor. Outros tipos recursivos *são* úteis em diversas situações. Mas começando com a *cons list*, podemos explorar como boxes nos permitem definir um tipo recursivo sem muita distração.

A Listagem 15-2 contém uma definição de um `enum` para a *cons list*. Note que este código não compila ainda porque o tipo `List` não tem um tamanho conhecido, como demonstraremos:

Arquivo: `src/main.rs`

```
enum List {  
    Cons(i32, List),  
    Nil,  
}
```

Listagem 15-2: A primeira tentativa de definir um `enum` para representar uma estrutura de dados *cons list* de valores `i32`

Nota: estamos implementando uma *cons list* que guarda apenas valores `i32` para os propósitos deste exemplo. Poderíamos tê-la implementado usando tipos genéricos, conforme discutimos no Capítulo 10, para definir um tipo *cons list* que poderia armazenar valores de qualquer tipo.

A listagem 15-3 mostra como fica o uso do tipo `List` para armazenar a lista `1, 2, 3`.

Arquivo: `src/main.rs`

```
use List::{Cons, Nil};  
  
fn main() {  
    let list = Cons(1, Cons(2, Cons(3, Nil)));  
}
```

Listagem 15-3: Usando o `enum List` para armazenar a lista `1, 2, 3`

O primeiro valor `Cons` contém `1` e outro valor `List`. Esse valor `List` é outro `Cons` que contém `2` e outro valor `List`. Esse valor `List` é mais um `Cons` que contém `3` e um valor `List`, que finalmente é `Nil`, a variante não recursiva que sinaliza o final da lista.

Se tentarmos compilar o código na listagem 15-3, receberemos o erro mostrado na listagem 15-4:

```

erro[E0072]: tipo recursivo `List` tem tamanho infinito
--> src/main.rs:1:1
1 |
2 | enum List {
  | ^^^^^^^^^ tipo recursivo tem tamanho infinito
  |   Cons(i32, List),
  |               ----- recursivo sem indireção
  |
  = ajuda: insira indireção (ex.: um `Box`, `Rc` ou `&`) em algum lugar para
    tornar `List` representável

```

Listagem 15-4: O erro que recebemos quando tentamos definir um enum recursivo

O erro diz que esse tipo "tem tamanho infinito". A razão é que nós definimos `List` com uma variante que é recursiva: ela contém um outro valor de si mesma diretamente. Como resultado, o Rust não consegue determinar quanto espaço ele precisa para armazenar um valor `List`. Vamos analisar por partes por que recebemos esse erro: primeiro, vamos ver como o Rust decide quanto espaço precisa para armazenar o valor de um tipo *não* recursivo.

Computando o Tamanho de um Tipo Não Recursivo

Recorde o enum `Mensagem` que definimos na Listagem 6-2 quando discutimos definições de enums no Capítulo 6:

```

enum Mensagem {
    Sair,
    Mover { x: i32, y: i32 },
    Escrever(String),
    MudarCor(i32, i32, i32),
}

```

Para determinar quanto espaço alocar para um valor `Mensagem`, o Rust percorre cada variante para ver qual precisa de mais espaço. O Rust vê que `Mensagem::Sair` não precisa de nenhum espaço, `Mensagem::Mover` precisa de espaço suficiente para armazenar dois valores `i32`, e assim por diante. Como apenas uma variante será usada, o máximo de espaço de que um valor `Mensagem` vai precisar é o espaço que levaria para armazenar a maior de suas variantes.

Contraste isso com o que acontece quando o Rust tenta determinar quanto espaço é necessário para um tipo recursivo como o enum `List` na Listagem 15-2. O compilador começa olhando a variante `Cons`, que contém um valor do tipo `i32` e um valor do tipo `List`. Portanto, `Cons` precisa de uma quantidade de espaço igual ao tamanho de um `i32`

mais o tamanho de um `List`. Para determinar de quanta memória o tipo `List` precisa, o compilador olha para suas variantes, começando com a `Cons`. A variante `Cons` contém um valor do tipo `i32` e um valor do tipo `List`, e esse processo continua infinitamente, conforme mostra a Figura 15-1:

Uma cons list infinita

Figura 15-1: Uma `List` infinita feita de infinitas variantes `Cons`

Usando `Box<T>` para Conseguir um Tipo Recursivo de Tamanho Conhecido

Como o Rust não consegue descobrir quanto espaço alocar para tipos definidos recursivamente, o compilador dá o erro na Listagem 15-4. Mas o erro inclui esta útil sugestão:

```
= ajuda: insira indireção (ex.: um `Box`, `Rc` ou `&`) em algum lugar para
tornar `List` representável
```

Nessa sugestão, "indireção" significa que, em vez de armazenar um valor diretamente, devemos mudar a estrutura de dados para armazenar um ponteiro para o valor.

Como um `Box<T>` é um ponteiro, o Rust sempre sabe de quanto espaço ele precisa: o tamanho de um ponteiro não muda dependendo da quantidade de dados para a qual ele aponta. Isso significa que podemos colocar um `Box<T>` dentro da variante `Cons` em vez de outro valor `List` diretamente. O `Box<T>` vai apontar para o próximo valor `List`, que vai estar no heap em vez de dentro da variante `Cons`. Conceitualmente, ainda temos uma lista, criada de listas "contendo" outras listas, mas essa implementação agora é mais como os itens estando um do lado do outro do que um dentro do outro.

Podemos mudar a definição do enum `List` na Listagem 15-2 e o uso de `List` na Listagem 15-3 para o código na Listagem 15-5, que compila:

Arquivo: `src/main.rs`

```
enum List {
    Cons(i32, Box<List>),
    Nil,
}

use List::{Cons, Nil};

fn main() {
    let list = Cons(1,
        Box::new(Cons(2,
            Box::new(Cons(3,
                Box::new(Nil))))));
}
```

Listagem 15-5: Definição de `List` que usa `Box<T>` para ter um tamanho conhecido

A variante `Cons` vai precisar do tamanho de um `i32` mais o espaço para armazenar os dados do ponteiro `box`. A variante `Nil` não armazena nenhum valor, então ela precisa de menos espaço que a variante `Cons`. Agora sabemos que qualquer valor `List` irá ocupar o tamanho de um `i32` mais o tamanho dos dados de um ponteiro `box`. Usando um `box`, nós quebramos a cadeia recursiva, infinita, para que o compilador pudesse determinar o espaço que ele precisa para armazenar um valor `List`. A Figura 15-2 mostra como ficou a variante `Cons` agora:

Uma lista de `Cons` infinita

Figura 15-2: Um `List` que não tem tamanho infinito porque `Cons` contém um `Box`

Boxes apenas proveem a indireção e a alocação no heap; eles não têm nenhuma outra habilidade especial, como as que vamos ver nos outros tipos de ponteiros inteligentes. Eles também não têm nenhum dos custos adicionais de desempenho que essas habilidades demandam, então eles podem ser úteis em casos como o da `cons list` onde a indireção é a única funcionalidade de que precisamos. No Capítulo 17 também vamos ver mais casos de uso para as boxes.

O tipo `Box<T>` é um ponteiro inteligente porque ele implementa a trait `Deref`, o que permite que valores `Box<T>` sejam usados como referências. Quando um valor `Box<T>` sai de escopo, os dados do heap para os quais o `box` aponta também são liberados porque o tipo implementa a trait `Drop`. Vamos explorar essas duas traits em mais detalhe. Elas serão ainda mais importantes para a funcionalidade provida pelos outros ponteiros inteligentes que vamos discutir no resto deste capítulo.

Tratando Ponteiros Inteligentes como Referências Normais com a Trait Deref

Implementar a trait `Deref` nos permite personalizar o comportamento do *operador de desreferência* (*dereference operator*), `*` (que é diferente do operador de multiplicação ou de `glob`). Implementando a `Deref` de tal modo que o ponteiro inteligente possa ser tratado como uma referência normal, podemos escrever código que opere sobre referências e usar esse código com ponteiros inteligentes também.

Primeiro vamos ver como o `*` funciona com referências normais, e então vamos tentar definir nosso próprio tipo a la `Box<T>` e ver por que o `*` não funciona como uma referência no nosso tipo recém-criado. Vamos explorar como a trait `Deref` torna possível aos ponteiros inteligentes funcionarem de um jeito similar a referências. E então iremos dar uma olhada na funcionalidade de *coerção de desreferência* (*deref coercion*) e como ela nos permite trabalhar tanto com referências quanto com ponteiros inteligentes.

Seguindo o Ponteiro até o Valor com `*`

Uma referência normal é um tipo de ponteiro, e um jeito de pensar sobre um ponteiro é como uma seta até um valor armazenado em outro lugar. Na Listagem 15-6, nós criamos uma referência a um valor `i32` e em seguida usamos o operador de desreferência para seguir a referência até o dado:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let x = 5;  
    let y = &x;  
  
    assert_eq!(5, x);  
    assert_eq!(5, *y);  
}
```

Listagem 15-6: Usando o operador de desreferência para seguir uma referência a um valor `i32`

A variável `x` contém um valor `i32`, `5`. Nós setamos `y` igual a uma referência a `x`. Podemos conferir (coloquialmente, "assertar") que `x` é igual a `5`. Contudo, se queremos fazer uma asserção sobre o valor em `y`, temos que usar `*y` para seguir a referência até o valor ao qual `y` aponta (por isso "desreferência"). Uma vez que desreferenciamos `y`, temos acesso ao valor inteiro ao qual `y` aponta para podermos compará-lo com `5`.

Se em vez disso tentássemos escrever `assert_eq!(5, y);`, receberíamos este erro de compilação:

```
erro[E0277]: a trait bound `{integer}: std::cmp::PartialEq<&{integer}>` não foi
satisfeita
--> src/main.rs:6:5
  |
6 |     assert_eq!(5, y);
  |     ^^^^^^^^^^^^^^^^^ não posso comparar `{integer}` com `&{integer}`
  |
= ajuda: a trait `std::cmp::PartialEq<&{integer}>` não está implementada para
`{integer}`
```

Comparar um número com uma referência a um número não é permitido porque eles são de tipos diferentes. Devemos usar `*` para seguir a referência até o valor ao qual ela está apontando.

Usando `Box<T>` como uma Referência

Podemos reescrever o código na Listagem 15-6 para usar um `Box<T>` em vez de uma referência, e o operador de desreferência vai funcionar do mesmo jeito que na Listagem 15-7:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let x = 5;
    let y = Box::new(x);

    assert_eq!(5, x);
    assert_eq!(5, *y);
}
```

Listagem 15-7: Usando o operador de desreferência em um `Box<i32>`

A única diferença entre a Listagem 15-7 e a Listagem 15-6 é que aqui nós setamos `y` para ser uma instância de um `box` apontando para o valor em `x` em vez de uma referência apontando para o valor de `x`. Na última asserção, podemos usar o operador de desreferência para seguir o ponteiro do `box` do mesmo jeito que fizemos quando `y` era uma referência. A seguir, vamos explorar o que tem de especial no `Box<T>` que nos permite usar o operador de desreferência, criando nosso próprio tipo `box`.

Definindo Nosso Próprio Ponteiro Inteligente

Vamos construir um smart pointer parecido com o tipo `Box<T>` fornecido pela biblioteca padrão para vermos como ponteiros inteligentes, por padrão, se comportam diferente de referências. Em seguida, veremos como adicionar a habilidade de usar o operador de desreferência.

O tipo `Box<T>` no fim das contas é definido como uma struct-tupla (*tuple struct*) de um elemento, então a Listagem 15-8 define um tipo `MeuBox<T>` da mesma forma. Também vamos definir uma função `new` como a definida no `Box<T>`:

Arquivo: `src/main.rs`

```
struct MeuBox<T>(T);

impl<T> MeuBox<T> {
    fn new(x: T) -> MeuBox<T> {
        MeuBox(x)
    }
}
```

Listagem 15-8: Definindo um tipo `MeuBox<T>`

Definimos um struct chamado `MeuBox` e declaramos um parâmetro genérico `T`, porque queremos que nosso tipo contenha valores de qualquer tipo. O tipo `MeuBox` é uma struct-tupla de um elemento do tipo `T`. A função `MeuBox::new` recebe um argumento do tipo `T` e retorna uma instância de `MeuBox` que contém o valor passado.

Vamos tentar adicionar a função `main` da Listagem 15-7 à Listagem 15-8 e alterá-la para usar o tipo `MeuBox<T>` que definimos em vez de `Box<T>`. O código na Listagem 15-9 não irá compilar porque o Rust não sabe como desreferenciar `MeuBox`:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let x = 5;
    let y = MeuBox::new(x);

    assert_eq!(5, x);
    assert_eq!(5, *y);
}
```

Listagem 15-9: Tentando usar o `MeuBox<T>` do mesmo jeito que usamos referências e o `Box<T>`

Aqui está o erro de compilação resultante:

```

erro[E0614]: tipo `MeuBox<{integer}>` não pode ser desreferenciado
--> src/main.rs:14:19
   |
14 |         assert_eq!(5, *y);
   |                       ^^

```

Nosso tipo `MeuBox<T>` não pode ser desreferenciado porque não implementamos essa habilidade nele. Para habilitar desreferenciamento com o operador `*`, temos que implementar a trait `Deref`.

Implementando a Trait `Deref` para Tratar um Tipo como uma Referência

Conforme discutimos no Capítulo 10, para implementar uma trait, precisamos prover implementações para os métodos exigidos por ela. A trait `Deref`, disponibilizada pela biblioteca padrão, requer que implementemos um método chamado `deref` que pega emprestado `self` e retorna uma referência para os dados internos. A Listagem 15-10 contém uma implementação de `Deref` que agrega à definição de `MeuBox`:

Arquivo: `src/main.rs`

```

use std::ops::Deref;

impl<T> Deref for MeuBox<T> {
    type Target = T;

    fn deref(&self) -> &T {
        &self.0
    }
}

```

Listagem 15-10: Implementando `Deref` no `MeuBox<T>`

A sintaxe `type Target = T;` define um tipo associado para a trait `Deref` usar. Tipos associados são um jeito ligeiramente diferente de declarar um parâmetro genérico, mas você não precisa se preocupar com eles por ora; iremos cobri-los em mais detalhe no Capítulo 19.

Nós preenchemos o corpo do método `deref` com `&self.0` para que `deref` retorne uma referência ao valor que queremos acessar com o operador `*`. A função `main` na Listagem 15-9 que chama `*` no valor `MeuBox<T>` agora compila e as asserções passam!

Sem a trait `Deref`, o compilador só consegue desreferenciar referências `&`. O método

`deref` dá ao compilador a habilidade de tomar um valor de qualquer tipo que implemente `Deref` e chamar o método `deref` para pegar uma referência `&`, que ele sabe como desreferenciar.

Quando entramos `*y` na Listagem 15-9, por trás dos panos o Rust na verdade rodou este código:

```
*(y.deref())
```

O Rust substitui o operador `*` com uma chamada ao método `deref` e em seguida uma desreferência comum, de modo que nós programadores não precisamos pensar sobre se temos ou não que chamar o método `deref`. Essa funcionalidade do Rust nos permite escrever código que funcione identicamente quando temos uma referência comum ou um tipo que implementa `Deref`.

O fato de o método `deref` retornar uma referência ao valor, e a desreferência comum fora dos parênteses em `*(y.deref())` ainda ser necessária, é devido ao sistema de posse (*ownership*). Se o método `deref` retornasse o valor diretamente em vez de uma referência ao valor, o valor seria movido para fora do `self`. Nós não queremos tomar posse do valor interno do `MeuBox<T>` neste e na maioria dos casos em que usamos o operador de desreferência.

Note que o `*` é substituído por uma chamada ao método `deref` e então uma chamada ao `*` apenas uma vez, cada vez que digitamos um `*` no nosso código. Como a substituição do `*` não entra em recursão infinita, nós terminamos com o dado do tipo `i32`, que corresponde ao `5` em `assert_eq!` na Listagem 15-9.

Coerções de Desreferência Implícitas com Funções e Métodos

Coerção de desreferência (*deref coercion*) é uma conveniência que o Rust aplica a argumentos de funções e métodos. A coerção de desreferência converte uma referência a um tipo que implementa `Deref` em uma referência a um tipo ao qual a `Deref` pode converter o tipo original. A coerção de desreferência acontece automaticamente quando passamos uma referência ao valor de um tipo específico como argumento a uma função ou método e esse tipo não corresponde ao tipo do parâmetro na definição da função ou método. Uma sequência de chamadas ao método `deref` converte o tipo que providenciamos no tipo que o parâmetro exige.

A coerção de desreferência foi adicionada ao Rust para que programadores escrevendo chamadas a métodos e funções não precisassem adicionar tantas referências e

desreferências explícitas com `&` e `*`. A funcionalidade de coerção de desreferência também nos permite escrever mais código que funcione tanto com referências quanto com ponteiros inteligentes.

Para ver a coerção de desreferência em ação, vamos usar o tipo `MeuBox<T>` que definimos na Listagem 15-8 e também a implementação de `Deref` que adicionamos na Listagem 15-10. A Listagem 15-11 mostra a definição de uma função que tem um parâmetro do tipo `string slice`:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn ola(nome: &str) {  
    println!("Olá, {}!", nome);  
}
```

Listagem 15-11: Uma função `ola` que tem um parâmetro `nome` do tipo `&str`

Podemos chamar a função `ola` passando uma `string slice` como argumento, por exemplo `ola("Rust");`. A coerção de desreferência torna possível chamar `ola` com uma referência a um valor do tipo `MeuBox<String>`, como mostra a Listagem 15-12:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let m = MeuBox::new(String::from("Rust"));  
    ola(&m);  
}
```

Listagem 15-12: Chamando `ola` com uma referência a um valor `MeuBox<String>`, o que só funciona por causa da coerção de desreferência

Aqui estamos chamando a função `ola` com o argumento `&m`, que é uma referência a um valor `MeuBox<String>`. Como implementamos a trait `Deref` em `MeuBox<T>` na Listagem 15-10, o Rust pode transformar `&MeuBox<String>` em `&String` chamando `deref`. A biblioteca padrão provê uma implementação de `Deref` para `String` que retorna uma `string slice`, documentada na API de `Deref`. O Rust chama `deref` de novo para transformar o `&String` em `&str`, que corresponde à definição da função `ola`.

Se o Rust não implementasse coerção de desreferência, teríamos que escrever o código na Listagem 15-13 em vez do código na Listagem 15-12 para chamar `ola` com um valor do tipo `&MeuBox<String>`:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let m = MeuBox::new(String::from("Rust"));
    ola(&(*m)[..]);
}
```

Listagem 15-13: O código que teríamos que escrever se o Rust não tivesse coerção de desreferência

O `(*m)` desreferencia o `MeuBox<String>` em uma `String`. Então o `&` e o `[..]` obtêm uma string slice da `String` que é igual à string inteira para corresponder à assinatura de `ola`. O código sem coerção de desreferência é mais difícil de ler, escrever e entender com todos esses símbolos envolvidos. A coerção de desreferência permite que o Rust lide com essas conversões automaticamente para nós.

Quando a trait `Deref` está definida para os tipos envolvidos, o Rust analisa os tipos e usa `Deref::deref` tantas vezes quanto necessário para chegar a uma referência que corresponda ao tipo do parâmetro. O número de vezes que `Deref::deref` precisa ser inserida é resolvido em tempo de compilação, então não existe nenhuma penalidade em tempo de execução para tomar vantagem da coerção de desreferência.

Como a Coerção de Desreferência Interage com a Mutabilidade

De modo semelhante a como usamos a trait `Deref` para redefinir `*` em referências imutáveis, o Rust provê uma trait `DerefMut` para redefinir `*` em referências mutáveis.

O Rust faz coerção de desreferência quando ele encontra tipos e implementações de traits em três casos:

- De `&T` para `&U` quando `T: Deref<Target=U>`;
- De `&mut T` para `&mut U` quando `T: DerefMut<Target=U>`;
- De `&mut T` para `&U` quando `T: Deref<Target=U>`.

Os primeiros dois casos são o mesmo exceto pela mutabilidade. O primeiro caso afirma que se você tem uma `&T`, e `T` implementa `Deref` para algum tipo `U`, você pode obter um `&U` de maneira transparente. O segundo caso afirma que a mesma coerção de desreferência acontece para referências mutáveis.

O terceiro caso é mais complicado: o Rust também irá coagir uma referência mutável a uma imutável. Mas o contrário *não* é possível: referências imutáveis nunca serão coagidas a referências mutáveis. Por causa das regras de empréstimo, se você tem uma referência mutável, ela deve ser a única referência àqueles dados (caso contrário, o programa não compila). Converter uma referência mutável a uma imutável nunca quebrará as regras de

empréstimo. Converter uma referência imutável a uma mutável exigiria que houvesse apenas uma referência imutável àqueles dados, e as regras de empréstimo não garantem isso. Portanto, o Rust não pode assumir que converter uma referência imutável a uma mutável seja possível.

A Trait Drop Roda Código durante a Limpeza

A segunda trait de importância para a pattern de ponteiros inteligentes é a `Drop`, que nos permite personalizar o que acontece quando um valor está prestes a sair de escopo. Nós podemos prover uma implementação da trait `Drop` para qualquer tipo, e o código que especificarmos pode ser usado para liberar recursos como arquivos ou conexões de rede. Estamos introduzindo `Drop` no contexto de ponteiros inteligentes porque a funcionalidade da trait `Drop` é usada quase sempre quando estamos implementando ponteiros inteligentes. Por exemplo, o `Box<T>` customiza `Drop` para desalocar o espaço no heap para o qual o box aponta.

Em algumas linguagens, a pessoa que está programando deve chamar código para liberar memória ou recursos toda vez que ela termina de usar uma instância de um ponteiro inteligente. Se ela esquece, o sistema pode ficar sobrecarregado e falhar. No Rust, podemos especificar que um pedaço específico de código deva ser rodado sempre que um valor sair de escopo, e o compilador irá inserir esse código automaticamente. Assim, não precisamos cuidadosamente colocar código de limpeza em todos os lugares de um programa em que uma instância de um tipo específico deixa de ser usada, e ainda assim não vazaremos recursos!

Para especificar o código que vai rodar quando um valor sair de escopo, nós implementamos a trait `Drop`. A trait `Drop` requer que implementemos um método chamado `drop` que recebe uma referência mutável de `self`. Para ver quando o Rust chama `drop`, vamos implementar `drop` com declarações de `println!` por ora.

A Listagem 15-14 mostra uma struct `CustomSmartPointer` ("PonteiroInteligentePersonalizado") cuja única funcionalidade é que ela irá imprimir `Destruindo CustomSmartPointer!` quando a instância sair de escopo. Este exemplo demonstra quando o Rust roda a função `drop`:

Arquivo: `src/main.rs`


```
struct CustomSmartPointer {  
    data: String,  
}  
  
impl Drop for CustomSmartPointer {  
    fn drop(&mut self) {  
        println!("Destruindo CustomSmartPointer com dados `{}`!", self.data);  
    }  
}  
  
fn main() {  
    let c = CustomSmartPointer { data: String::from("alocado primeiro") };  
    let d = CustomSmartPointer { data: String::from("alocado por último") };  
    println!("CustomSmartPointers criados.");  
}
```

Listagem 15-14: Uma struct `CustomSmartPointer` que implementa a trait `Drop` onde colocaríamos nosso código de limpeza

A trait `Drop` é incluída no prelúdio, então não precisamos importá-la. Nós implementamos a trait `Drop` no `CustomSmartPointer` e providenciamos uma implementação para o método `drop` que chama `println!`. O corpo da função `drop` é onde você colocaria qualquer que fosse a lógica que você gostaria que rodasse quando uma instância do seu tipo for sair de escopo. Aqui estamos imprimindo um texto para demonstrar o momento em que o Rust chama `drop`.

Na `main`, nós criamos duas instâncias do `CustomSmartPointer` e então imprimimos `CustomSmartPointers criados.`. No final da `main`, nossas instâncias de `CustomSmartPointer` saíram de escopo, e o Rust irá chamar o código que colocamos no método `drop`, imprimindo nossa mensagem final. Note que não tivemos que chamar o método `drop` explicitamente.

Quando rodarmos esse programa, veremos a seguinte saída:

```
CustomSmartPointers criados.  
Destruindo CustomSmartPointer com dados `alocado por último`!  
Destruindo CustomSmartPointer com dados `alocado primeiro`!
```

O Rust chamou automaticamente `drop` para nós quando nossa instância saiu de escopo, chamando o código que especificamos. Variáveis são destruídas na ordem contrária à de criação, então `d` foi destruída antes de `c`. Esse exemplo serve apenas para lhe dar um guia visual de como o método `drop` funciona, mas normalmente você especificaria o código de limpeza que o seu tipo precisa rodar em vez de imprimir uma mensagem.

Destruindo um Valor Cedo com `std::mem::drop`

Infelizmente, não é simples desabilitar a funcionalidade automática de `drop`. Desabilitar o `drop` normalmente não é necessário; o ponto todo da `trait Drop` é que isso seja feito automaticamente. Mas ocasionalmente, você pode querer limpar um valor cedo. Um exemplo é quando usamos ponteiros inteligentes que gerenciam locks: você pode querer forçar o método `drop` que libera o lock a rodar para que outro código no mesmo escopo possa adquiri-lo. O Rust não nos deixa chamar o método `drop` da `trait Drop` manualmente; em vez disso, temos que chamar a função `std::mem::drop` disponibilizada pela biblioteca padrão se queremos forçar um valor a ser destruído antes do fim de seu escopo.

Vamos ver o que acontece quando tentamos chamar o método `drop` da `trait Drop` manualmente, modificando a função `main` da Listagem 15-14, conforme mostra a Listagem 15-15:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let c = CustomSmartPointer { data: String::from("algum dado") };
    println!("CustomSmartPointer criado.");
    c.drop();
    println!("CustomSmartPointer destruído antes do fim da main.");
}
```

Listagem 15-15: Tentando chamar o método `drop` da `trait Drop` manualmente para limpar cedo

Quando tentamos compilar esse código, recebemos este erro:

```
erro[E0040]: uso explícito de método destrutor
--> src/main.rs:14:7
   |
14 |     c.drop();
   |     ^^^^^ chamadas explícitas a destrutores não são permitidas
```

Essa mensagem de erro afirma que não nos é permitido chamar explicitamente `drop`. A mensagem de erro usa o termo *destrutor*, que é um termo geral de programação para uma função que limpa uma instância. Um *destrutor* é análogo a um *construtor*, que cria uma instância. A função `drop` em Rust é um destrutor específico.

O Rust não nos deixa chamar `drop` explicitamente porque o `drop` ainda seria chamado no valor ao final da `main`. Isso seria um erro de *liberação dupla* (*double free*) porque o Rust estaria tentando limpar o mesmo valor duas vezes.

Nós não podemos desabilitar a inserção automática do `drop` quando um valor sai de escopo, e também não podemos chamar o método `drop` explicitamente. Então, se precisamos forçar um valor a ser limpo antes, podemos usar a função `std::mem::drop`.

A função `std::mem::drop` é diferente do método `drop` na trait `Drop`. Nós a chamamos passando como argumento o valor que queremos forçar a ser destruído cedo. Essa função está no prelúdio, então podemos modificar a `main` na Listagem 15-14 para chamar a função `drop`, como mostra a Listagem 15-16:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let c = CustomSmartPointer { data: String::from("algum dado") };  
    println!("CustomSmartPointer criado.");  
    drop(c);  
    println!("CustomSmartPointer destruído antes do final da main.");  
}
```

Listagem 15-16: Chamando `std::mem::drop` para destruir um valor explicitamente antes que ele saia de escopo

Rodar esse código irá imprimir o seguinte:

```
CustomSmartPointer criado.  
Destruindo CustomSmartPointer com dados `algum dado`!  
CustomSmartPointer destruído antes do final da main.
```

O texto `Destruindo CustomSmartPointer com dados `algum dado`!` é impresso entre o texto `CustomSmartPointer criado.` e `CustomSmartPointer destruído antes do final da main.`, mostrando que o método `drop` é chamado para destruir o `c` naquele ponto.

Podemos usar o código especificado em uma implementação da trait `Drop` de várias maneiras para tornar a limpeza conveniente e segura: por exemplo, poderíamos usá-lo para criar nosso próprio alocador de memória! Com a trait `Drop` e o sistema de posse do Rust, não temos que lembrar de fazer a limpeza porque o Rust faz isso automaticamente.

Também não temos que nos preocupar em acidentalmente limpar valores ainda em uso porque isso causaria um erro de compilação: o sistema de posse que garante que as referências são sempre válidas também garante que o `drop` é chamado apenas uma vez quando o valor não está mais sendo usado.

Agora que examinamos o `Box<T>` e algumas características de ponteiros inteligentes, vamos dar uma olhada em alguns outros ponteiros inteligentes definidos na biblioteca padrão.

Rc<T>, o Ponteiro Inteligente com Contagem de Referências

Na maioria dos casos, a posse é clara: você sabe exatamente qual variável tem posse de um dado valor. Contudo, há casos onde um único valor pode ter múltiplos possuidores. Por exemplo, em uma estrutura de dados em grafo, múltiplas arestas podem apontar para o mesmo vértice, e esse vértice é conceitualmente possuído por todas as arestas que apontam para ele. Um vértice não deveria ser liberado a não ser que ele não tenha mais arestas apontando para ele.

Para permitir posse múltipla, o Rust tem um tipo chamado `Rc<T>`. Seu nome é uma abreviação para *reference counting* (*contagem de referências*) que, como o nome diz, mantém registro do número de referências a um valor para saber se ele ainda está em uso ou não. Se há zero referências a um valor, ele pode ser liberado sem que nenhuma referência se torne inválida.

Imagine o `Rc<T>` como uma TV numa sala de família. Quando uma pessoa entra para assistir à TV, ela a liga. Outros podem entrar na sala e assistir à TV. Quando a última pessoa sai da sala, ela desliga a TV porque essa não está mais em uso. Se alguém desligasse a TV enquanto outros ainda estão assistindo, haveria revolta entre os telespectadores restantes!

Nós usamos o tipo `Rc<T>` quando queremos alocar algum dado no heap para que múltiplas partes do nosso programa o leiam, e não conseguimos determinar em tempo de compilação qual parte irá terminar de usar o dado por último. Se soubéssemos qual parte terminaria por último, poderíamos simplesmente tornar aquela parte a possuidora do dado e as regras normais de posse aplicadas em tempo de compilação teriam efeito.

Note que o `Rc<T>` serve apenas para cenários de thread única. Quando discutirmos concorrência no Capítulo 16, cobriremos como fazer contagem de referências em programas com múltiplas threads.

Usando `Rc<T>` para Compartilhar Dados

Vamos retornar ao nosso exemplo de *cons list* da Listagem 15-5. Lembre-se de que a definimos usando o `Box<T>`. Desta vez, vamos criar duas listas que compartilham ambas a posse de uma terceira lista, o que conceitualmente vai se parecer com a Figura 15-3:

Duas listas que compartilham a posse de uma terceira lista

Figura 15-3: Duas listas, `b` e `c`, compartilhando posse de uma terceira lista, `a`

Vamos criar a lista `a` que contém 5 e depois 10. Então criaremos mais duas listas: `b`, que começa com 3 e `c`, que começa com 4. Ambas as listas `b` e `c` irão então continuar na lista `a` contendo 5 e 10. Em outras palavras, ambas as listas irão compartilhar a primeira lista contendo 5 e 10.

Tentar implementar esse cenário usando nossa definição de `List` com `Box<T>` não irá funcionar, como mostra a Listagem 15-17:

Arquivo: `src/main.rs`

```
enum List {
    Cons(i32, Box<List>),
    Nil,
}

use List::{Cons, Nil};

fn main() {
    let a = Cons(5,
        Box::new(Cons(10,
            Box::new(Nil))));
    let b = Cons(3, Box::new(a));
    let c = Cons(4, Box::new(a));
}
```

Listagem 15-17: Demonstrando que não é possível termos duas listas usando `Box<T>` que tentam compartilhar posse de uma terceira lista

Quando compilamos esse código, recebemos este erro:

```
erro[E0382]: uso de valor movido: `a`
--> src/main.rs:13:30
12 |         let b = Cons(3, Box::new(a));
    |                                - valor movido para cá
13 |         let c = Cons(4, Box::new(a));
    |                                ^ valor usado aqui depois de movido
= nota: o valor é movido porque `a` tem tipo `List`, que não implementa
a trait `Copy`
```

As variantes `Cons` têm posse dos dados que elas contêm, então quando criamos a lista `b`, `a` é movida para dentro de `b`, e `b` toma posse de `a`. Então, quando tentamos usar `a` de novo na criação de `c`, não somos permitidos porque `a` foi movida.

Poderíamos mudar a definição de `Cons` para guardar referências, mas aí teríamos que especificar parâmetros de tempo de vida (*lifetime parameters*). Fazendo isso, estaríamos

especificando que cada elemento da lista devesse viver por pelo menos tanto tempo quanto a lista inteira. O *verificador de empréstimo* (*borrow checker*) não nos deixaria compilar `let a = Cons(10, &Nil);`, por exemplo, porque o valor temporário `Nil` seria destruído antes que `a` pudesse receber uma referência a ele.

Em vez disso, vamos mudar nossa definição de `List` para usar o `Rc<T>` no lugar do `Box<T>`, como mostra a Listagem 15-18. Cada variante `Cons` agora vai conter um valor e um `Rc<T>` apontando para uma `List`. Quando criarmos `b`, em vez de tomar posse de `a`, iremos clonar o `Rc<List>` que `a` está segurando, o que aumenta o número de referências de uma para duas e permite com que `a` e `b` compartilhem posse dos dados naquele `Rc<List>`. Também vamos clonar `a` quando criarmos `c`, o que aumenta o número de referências de duas para três. Cada vez que chamarmos `Rc::clone`, a contagem de referências ao valor dentro do `Rc<List>` irá aumentar, e ele não será liberado até que haja zero referências a ele:

Arquivo: `src/main.rs`

```
enum List {
    Cons(i32, Rc<List>),
    Nil,
}

use List::{Cons, Nil};
use std::rc::Rc;

fn main() {
    let a = Rc::new(Cons(5, Rc::new(Cons(10, Rc::new(Nil)))));
    let b = Cons(3, Rc::clone(&a));
    let c = Cons(4, Rc::clone(&a));
}
```

Listagem 15-18: Uma definição de `List` que usa o `Rc<T>`

Precisamos adicionar uma declaração `use` para trazer o `Rc<T>` ao escopo porque ele não está no prelúdio. Na `main`, criamos a lista contendo 5 e 10 e a armazenamos em um novo `Rc<List>` em `a`. Então quando criamos `b` e `c`, chamamos a função `Rc::clone` e passamos uma referência ao `Rc<List>` em `a` como argumento.

Poderíamos ter chamado `a.clone()` em vez de `Rc::clone(&a)`, mas a convenção do Rust é usar `Rc::clone` neste caso. A implementação de `Rc::clone` não faz uma cópia profunda de todos os dados como faz a implementação de `clone` da maioria dos tipos. A chamada a `Rc::clone` apenas incrementa a contagem de referências, o que não leva muito tempo. Cópias profundas de dados podem levar muito tempo. Usando `Rc::clone` para a contagem de referências, podemos distinguir visualmente entre os clones de cópia profunda e os

Clonar um Rc<T> Aumenta a Contagem de Referências

Na Listagem 15-19, vamos mudar a `main` para que tenha um escopo interno em volta da lista `c`; assim poderemos ver como a contagem de referências muda quando `c` sai de escopo. Em cada ponto do programa onde a contagem de referências muda, iremos imprimir seu valor, que podemos obter chamando a função `Rc::strong_count`. Essa função se chama `strong_count` (*contagem das referências fortes*) em vez de `count` (*contagem*) porque o tipo `Rc<T>` também tem uma `weak_count` (*contagem das referências fracas*); veremos para que a `weak_count` é usada na seção "Evitando Ciclos de Referências".

```
fn main() {  
    let a = Rc::new(Cons(5, Rc::new(Cons(10, Rc::new(Nil))));  
    println!("contagem depois de criar a = {}", Rc::strong_count(&a));  
    let b = Cons(3, Rc::clone(&a));  
    println!("contagem depois de criar b = {}", Rc::strong_count(&a));  
    {  
        let c = Cons(4, Rc::clone(&a));  
        println!("contagem depois de criar c = {}", Rc::strong_count(&a));  
    }  
    println!("contagem depois que c sai de escopo = {}", Rc::strong_count(&a));  
}
```

```
contagem depois de criar a = 1
contagem depois de criar b = 2
contagem depois de criar c = 3
contagem depois que c sai de escopo = 2
```

24/01/2024, 18:45

decrementar a contagem de referências como temos que fazer com a `Rc::clone` para incrementá-la: a implementação da trait `Drop` diminui a contagem automaticamente quando um valor `Rc<T>` sai de escopo.

O que não conseguimos ver nesse exemplo é que quando `b` e depois `a` saem de escopo no final da `main`, a contagem se torna 0, e o `Rc<List>` é liberado por completo nesse ponto. O uso do `Rc<T>` permite que um único valor tenha múltiplos possuidores, e a contagem garante que o valor permaneça válido enquanto algum dos possuidores ainda existir.

Por funcionar com referências imutáveis, o `Rc<T>` nos permite compartilhar dados entre diversas partes do nosso programa *apenas para leitura*. Se o `Rc<T>` nos deixasse ter múltiplas referências mutáveis também, nós poderíamos violar uma das regras de empréstimo discutidas no Capítulo 4: múltiplos empréstimos mutáveis do mesmo lugar podem causar corridas de dados (*data races*) e inconsistências. Mas conseguir modificar dados é muito útil! Na próxima seção, discutiremos a pattern de mutabilidade interior (*interior mutability*) e o tipo `RefCell<T>` que podemos usar junto com um `Rc<T>` para trabalhar com essa restrição de imutabilidade.

RefCell<T> e a Pattern de Mutabilidade Interior

Mutabilidade interior (*interior mutability*) é uma design pattern em Rust que lhe permite modificar um dado mesmo quando há referências imutáveis a ele: normalmente, esta ação é proibida pelas regras de empréstimo. Para fazer isso, a pattern usa código `unsafe` (*inseguro*) dentro de uma estrutura de dados para dobrar as regras normais do Rust que governam mutação e empréstimo. Nós ainda não cobrimos código `unsafe`; faremos isso no Capítulo 19. Podemos usar tipos que usam a pattern de mutabilidade interior quando podemos garantir que as regras de empréstimo serão seguidas em tempo de execução, ainda que o compilador não o possa garantir. O código `unsafe` envolvido é então embrulhado em uma API `safe`, e o tipo exterior permanece imutável.

Para explorar este conceito, vamos ver o tipo `RefCell<T>` que segue a pattern de mutabilidade interior.

Aplicando Regras de Empréstimo em Tempo de Execução com o RefCell<T>

Diferente do `Rc<T>`, o tipo `RefCell<T>` representa posse única sobre o dado que ele contém. Então o que torna o `RefCell<T>` diferente de um tipo como o `Box<T>`? Lembre-se

das regras de empréstimo que você aprendeu no Capítulo 4:

- Em qualquer momento, você pode ter *um dos* mas não ambos os seguintes: uma única referência mutável *ou* qualquer número de referências imutáveis;
- Referências devem sempre ser válidas.

Com referências e com o `Box<T>`, as invariantes das regras de empréstimo são aplicadas em tempo de compilação. Com o `RefCell<T>`, essas invariantes são aplicadas *em tempo de execução*. Com referências, se você quebra essas regras, você recebe um erro de compilação. Com o `RefCell<T>`, se você quebrar essas regras, seu programa irá sofrer um `panic!` e terminar.

As vantagens de checar as regras de empréstimo em tempo de compilação são que erros são pegos mais cedo no processo de desenvolvimento, e não há nenhum custo de desempenho de execução porque toda a análise é completada de antemão. Por esses motivos, checar as regras de empréstimo em tempo de compilação é a melhor opção na maioria dos casos, e por isso este é o padrão do Rust.

A vantagem de checar as regras de empréstimo em tempo de execução, alternativamente, é que certos cenários *memory-safe* (*seguros em termos de memória*) são então permitidos, ao passo que seriam proibidos pelas checagens em tempo de compilação. A análise estática, como a do compilador Rust, é inerentemente conservadora. Algumas propriedades do programa são impossíveis de detectar analisando o código: o exemplo mais famoso é o Problema da Parada, que está além do escopo deste livro mas é um tópico interessante para pesquisa.

Como algumas análises são impossíveis, se o compilador Rust não consegue se assegurar que o código obedece às regras de posse, ele pode rejeitar um programa correto; neste sentido, ele é conservador. Se o Rust aceitasse um programa incorreto, os usuários não poderiam confiar nas garantias que ele faz. Se, por outro lado, o Rust rejeita um programa correto, o programador terá alguma inconveniência, mas nada catastrófico pode acontecer. O tipo `RefCell<T>` é útil quando você tem certeza que seu código segue as regras de empréstimo, mas o compilador é incapaz de entender e garantir isso.

Assim como o `Rc<T>`, o `RefCell<T>` é apenas para uso em cenários de thread única e lhe darão um erro de compilação se você tentar usá-lo em um contexto de múltiplas threads. Falaremos sobre como obter a funcionalidade de um `RefCell<T>` em um programa multithread no Capítulo 16.

Aqui está uma recapitulação das razões para escolher o `Box<T>`, o `Rc<T>` ou o `RefCell<T>`:

- O `Rc<T>` permite múltiplos possuidores do mesmo dado; `Box<T>` e `RefCell<T>` têm possuidores únicos.

- O `Box<T>` permite empréstimos imutáveis ou mutáveis checados em tempo de compilação; o `Rc<T>` permite apenas empréstimos imutáveis em tempo de compilação; o `RefCell<T>` permite empréstimos imutáveis ou mutáveis checados em tempo de execução.
- Como o `RefCell<T>` permite empréstimos mutáveis checados em tempo de execução, nós podemos modificar o valor dentro de um `RefCell<T>` mesmo quando o `RefCell<T>` é imutável.

Modificar o valor dentro de um valor imutável é a pattern de *mutabilidade interior*. Vamos dar uma olhada em uma situação em que a mutabilidade interior é útil e examinar como ela é possível.

Mutabilidade Interior: Um Empréstimo Mutável de um Valor Imutável

Uma consequência das regras de empréstimo é que quando temos um valor imutável, nós não podemos pegá-lo emprestado mutavelmente. Por exemplo, este código não compila:

```
fn main() {
    let x = 5;
    let y = &mut x;
}
```

Quando tentamos compilar este código, recebemos o seguinte erro:

```
erro[E0596]: não posso pegar emprestado a variável local imutável `x` como mutável
--> src/main.rs:3:18
  |
2 |     let x = 5;
  |     - considere mudar isto para `mut x`
3 |     let y = &mut x;
  |               ^ não posso pegar emprestado mutavelmente
```

Contudo, há situações em que seria útil para um valor modificar a si mesmo em seus métodos, mas continuar parecendo imutável para código externo. Código fora dos métodos do valor não teriam como modificá-lo. Usar o `RefCell<T>` é um jeito de obter a habilidade de ter mutabilidade interior. Mas o `RefCell<T>` não dá a volta nas regras de empréstimo por completo: o borrow checker no compilador permite esta mutabilidade interior, e as regras de empréstimo são em vez disso checadas em tempo de execução. Se violarmos as regras, receberemos um `panic!` em vez de um erro de compilação.

Vamos trabalhar com um exemplo prático onde podemos usar o `RefCell<T>` para modificar um valor imutável e ver por que isto é útil.

Um Caso de Uso para a Mutabilidade Interior: Objetos Simulados

Um *dublê de teste* (*test double*) é um conceito geral de programação para um tipo usado no lugar de outro durante os testes. *Objetos simulados* (*mock objects*) são tipos específicos de dublês de teste que registram o que acontece durante o teste para que possamos confirmar que as ações corretas aconteceram.

Rust não tem objetos da mesma forma que outras linguagens, e não tem funcionalidade de objetos simulados embutida na biblioteca padrão como algumas outras linguagens. Contudo, certamente podemos criar uma struct que serve os mesmos propósitos que um objeto simulado.

Eis o cenário que vamos testar: vamos criar uma biblioteca que acompanha um valor contra um valor máximo e envia mensagens com base em quão próximo do valor máximo o valor atual está. Esta biblioteca pode ser usada para acompanhar a cota de um usuário para o número de chamadas de API que ele tem direito a fazer, por exemplo.

Nossa biblioteca irá prover somente a funcionalidade de acompanhar quão perto do máximo um valor está e o que as mensagens deveriam ser em quais momentos. As aplicações que usarem nossa biblioteca terão a responsabilidade de prover o mecanismo para enviar as mensagens: a aplicação pode pôr a mensagem na própria aplicação, enviar um email, uma mensagem de texto, ou alguma outra coisa. A biblioteca não precisa saber deste detalhe. Tudo que ela precisa é de algo que implemente uma trait que iremos prover chamada `Messageiro`. A Listagem 15-20 mostra o código da biblioteca:

Arquivo: `src/lib.rs`

```

pub trait Mensageiro {
    fn enviar(&self, msg: &str);
}

pub struct Avisalimite<'a, T: 'a + Mensageiro> {
    mensageiro: &'a T,
    valor: usize,
    max: usize,
}

impl<'a, T> Avisalimite<'a, T>
    where T: Mensageiro {
    pub fn new(mensageiro: &T, max: usize) -> Avisalimite<T> {
        Avisalimite {
            mensageiro,
            valor: 0,
            max,
        }
    }

    pub fn set_valor(&mut self, valor: usize) {
        self.valor = valor;

        let porcentagem_do_max = self.valor as f64 / self.max as f64;

        if porcentagem_do_max >= 0.75 && porcentagem_do_max < 0.9 {
            self.mensageiro.enviar("Aviso: Você usou mais de 75% da sua cota!");
        } else if porcentagem_do_max >= 0.9 && porcentagem_do_max < 1.0 {
            self.mensageiro.enviar("Aviso urgente: Você usou mais de 90% da sua
cota!");
        } else if porcentagem_do_max >= 1.0 {
            self.mensageiro.enviar("Erro: Você excedeu sua cota!");
        }
    }
}

```

Listagem 15-20: Uma biblioteca para acompanhar quão perto do máximo um valor está e avisar quando o valor está em certos níveis

Uma parte importante deste código é que a `trait Mensageiro` tem um método chamado `enviar` que recebe uma referência imutável a `self` e o texto da mensagem. Esta é a interface que nosso objeto simulado precisa ter. A outra parte importante é que queremos testar o comportamento do método `set_valor` no `Avisalimite`. Podemos mudar o que passamos para o parâmetro `valor`, mas o `set_valor` não retorna nada sobre o qual possamos fazer asserções. Queremos poder dizer que se criarmos um `Avisalimite` com algo que implemente a `trait Mensageiro` e um valor específico de `max`, quando passarmos diferentes números para o `valor`, o mensageiro receberá o comando para enviar as mensagens apropriadas.

Precisamos de um objeto simulado que, em vez de enviar um email ou mensagem de texto quando chamarmos `enviar`, irá apenas registrar as mensagens que recebeu para enviar. Podemos criar uma nova instância do objeto simulado, criar um `AvisaLimite` que use o objeto simulado, chamar o método `set_valor` no `AvisaLimite`, e então verificar se o objeto simulado tem as mensagens que esperamos. A Listagem 15-21 mostra uma tentativa de implementar um objeto simulado para fazer exatamente isto, mas que o borrow checker não permite:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;

    struct MensageiroSimulado {
        mensagens_enviadas: Vec<String>,
    }

    impl MensageiroSimulado {
        fn new() -> MensageiroSimulado {
            MensageiroSimulado { mensagens_enviadas: vec![] }
        }
    }

    impl Mensageiro for MensageiroSimulado {
        fn enviar(&self, mensagem: &str) {
            self.mensagens_enviadas.push(String::from(mensagem));
        }
    }

    #[test]
    fn envia_uma_mensagem_de_aviso_de_acima_de_75_porcento() {
        let mensageiro_simulado = MensageiroSimulado::new();
        let mut avisa_limite = AvisaLimite::new(&mensageiro_simulado, 100);

        avisa_limite.set_valor(80);

        assert_eq!(mensageiro_simulado.mensagens_enviadas.len(), 1);
    }
}
```

Listagem 15-21: Uma tentativa de implementar um `MensageiroSimulado` que não é permitida pelo borrow checker

Este código de teste define uma struct `MensageiroSimulado` que tem um campo `mensagens_enviadas` com um `Vec` de valores `String` para registrar as mensagens que ele recebe para enviar. Também definimos uma função associada `new` para facilitar a criação

de novos valores `MessageiroSimulado` que começam com uma lista vazia de mensagens. Então implementamos a trait `Messageiro` para o `MessageiroSimulado` para que possamos passar um `MessageiroSimulado` a um `AvisaLimite`. Na definição do método `enviar`, nós pegamos a mensagem passada como parâmetro e a armazenamos na lista `mensagens_enviadas` do `MessageiroSimulado`.

No teste, estamos testando o que acontece quando o `AvisaLimite` recebe o comando para setar o `valor` para algo que é mais do que 75 por cento do valor `max`. Primeiro, criamos um novo `MessageiroSimulado`, que irá começar com uma lista vazia de mensagens. Então criamos um novo `AvisaLimite` e lhe damos uma referência ao novo `MessageiroSimulado` e um valor `max` de 100. Nós chamamos o método `set_valor` no `AvisaLimite` com um valor de 80, que é mais do que 75 por cento de 100. Então conferimos se a lista de mensagens que o `MessageiroSimulado` está registrando agora tem uma mensagem nela.

Entretanto, há um problema neste teste, conforme abaixo:

```
erro[E0596]: não posso pegar emprestado o campo imutável
             `self.mensagens_enviadas` como mutável
--> src/lib.rs:52:13
   |
51 |         fn send(&self, message: &str) {
   |             ----- use `&mut self` aqui para torná-lo mutável
52 |             self.sent_messages.push(String::from(message));
   |             ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^ não posso pegar emprestado mutavelmente um
                                                campo imutável
```

Não podemos modificar o `MessageiroSimulado` para registrar as mensagens porque o método `enviar` recebe uma referência imutável a `self`. Também não podemos seguir a sugestão do texto de erro e usar `&mut self` em vez disso porque a assinatura de `enviar` não corresponderia à assinatura na definição da trait `Messageiro` (fique à vontade para tentar e ver qual mensagem de erro você recebe).

Esta é uma situação em que a mutabilidade interior pode ajudar! Vamos armazenar as `mensagens_enviadas` dentro de um `RefCell<T>`, e então o método `enviar` poderá modificar `mensagens_enviadas` para armazenar as mensagens que já vimos. A Listagem 15-22 mostra como fica isto:

Arquivo: `src/lib.rs`

```

#[cfg(test)]
mod tests {
    use super::*;
    use std::cell::RefCell;

    struct MensageiroSimulado {
        mensagens_enviadas: RefCell<Vec<String>>,
    }

    impl MensageiroSimulado {
        fn new() -> MensageiroSimulado {
            MensageiroSimulado { mensagens_enviadas: RefCell::new(vec![]) }
        }
    }

    impl Mensageiro for MensageiroSimulado {
        fn enviar(&self, mensagem: &str) {
            self.mensagens_enviadas.borrow_mut().push(String::from(mensagem));
        }
    }

    #[test]
    fn envia_uma_mensagem_de_aviso_de_acima_de_75_porcento() {
        // --snip--

        assert_eq!(mensagemiro_simulado.mensagens_enviadas.borrow().len(), 1);
    }
}

```

Listagem 15-22: Usando `RefCell<T>` para modificar um valor interno enquanto o valor externo é considerado imutável

O campo `mensagens_enviadas` agora é do tipo `RefCell<Vec<String>>` em vez de `Vec<String>`. Na função `new`, nós criamos uma nova instância de `RefCell<Vec<String>>` em torno do vetor vazio.

Para a implementação do método `enviar`, o primeiro parâmetro ainda é um empréstimo imutável de `self`, que corresponde à definição da trait. Nós chamamos `borrow_mut` no `RefCell<Vec<String>>` em `self.mensagens_enviadas` para obter uma referência mutável ao valor dentro do `RefCell<Vec<String>>`, que é o vetor. Então podemos chamar `push` na referência mutável ao vetor para registrar as mensagens enviadas durante o teste.

A última mudança que temos que fazer é na asserção: para ver quantos itens estão no vetor interno, chamamos `borrow` no `RefCell<Vec<String>>` para obter uma referência imutável ao vetor.

Agora que você viu como usar o `RefCell<T>`, vamos nos aprofundar em como ele funciona!

O `RefCell<T>` Registra Empréstimos em Tempo de Execução

Quando estamos criando referências imutáveis e mutáveis, usamos as sintaxes `&` e `&mut`, respectivamente. Com o `RefCell<T>`, usamos os métodos `borrow` e `borrow_mut`, que são parte da API `safe` que pertence ao `RefCell<T>`. O método `borrow` retorna o ponteiro inteligente `Ref<T>`, e o `borrow_mut` retorna o ponteiro inteligente `RefMut<T>`. Ambos os tipos implementam `Deref`, então podemos tratá-los como referências normais.

O tipo `RefCell<T>` mantém registro de quantos ponteiros inteligentes `Ref<T>` e `RefMut<T>` estão atualmente ativos. Cada vez que chamamos `borrow`, o `RefCell<T>` aumenta seu contador de quantos empréstimos imutáveis estão ativos. Quando um valor `Ref<T>` sai de escopo, o contador de empréstimos imutáveis diminui em um. Assim como as regras de empréstimo em tempo de compilação, o `RefCell<T>` nos permite ter vários empréstimos imutáveis ou um empréstimo mutável em um dado momento.

Se tentarmos violar estas regras, em vez de receber um erro do compilador como iríamos com referências, a implementação de `RefCell<T>` chamará `panic!` em tempo de execução. A Listagem 15-23 mostra uma modificação da implementação do `enviar` da Listagem 15-22. Estamos deliberadamente tentando criar dois empréstimos mutáveis ativos para o mesmo escopo para ilustrar que o `RefCell<T>` nos impede de fazer isto em tempo de execução:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
impl Mensageiro for MensageiroSimulado {
    fn enviar(&self, mensagem: &str) {
        let mut emprestimo_um = self.mensagens_enviadas.borrow_mut();
        let mut emprestimo_dois = self.mensagens_enviadas.borrow_mut();

        emprestimo_um.push(String::from(mensagem));
        emprestimo_dois.push(String::from(mensagem));
    }
}
```

Listagem 15-23: Criando duas referências mutáveis no mesmo escopo para ver que o `RefCell<T>` irá "entrar em pânico" (i.e., executar `panic!`)

Nós criamos uma variável `emprestimo_um` para o ponteiro inteligente `RefMut<T>` retornado por `borrow_mut`. Então criamos outro empréstimo mutável da mesma forma na variável `emprestimo_dois`. Isto resulta em duas referências mutáveis no mesmo escopo, o que não é permitido. Quando rodarmos os testes para nossa biblioteca, o código na Listagem 15-23 irá compilar sem nenhum erro, mas o teste irá falhar:


```

---- tests::envia_uma_mensagem_de_aviso_de_acima_de_75_porcento stdout ----
      thread 'tests::envia_uma_mensagem_de_aviso_de_acima_de_75_porcento'
    entrou
      em pânico em
      'já emprestado: BorrowMutError', src/libcore/result.rs:906:4
nota: Rode com `RUST_BACKTRACE=1` para um backtrace.

```

Note como o código entrou em pânico com a mensagem `já emprestado: BorrowMutError`. É assim que o `RefCell<T>` lida com violações das regras de empréstimo em tempo de execução.

Pegar erros de empréstimo em tempo de execução em vez de em tempo de compilação significa encontrar defeitos no nosso código mais tarde no processo de desenvolvimento, e possivelmente nem mesmo até que nosso código já tenha sido implantado em produção. Além disso, nosso código irá incorrer em uma pequena penalidade de desempenho de execução como resultado de manter registro dos empréstimos em tempo de execução em vez de compilação. Ainda assim, usar o `RefCell<T>` nos torna possível escrever um objeto simulado que pode se modificar para registrar as mensagens que ele já viu enquanto o usamos em um contexto onde apenas valores imutáveis são permitidos. Podemos usar o `RefCell<T>`, apesar de seus trade-offs, para obter mais funcionalidade do que referências regulares nos dão.

Conseguindo Múltiplos Possuidores de Dados Mutáveis pela Combinação de `Rc<T>` e `RefCell<T>`

Um jeito comum de usar o `RefCell<T>` é em combinação com o `Rc<T>`. Lembre-se de que o `Rc<T>` nos permite ter múltiplos possuidores de algum dado, mas ele só nos permite acesso imutável a esse dado. Se temos um `Rc<T>` que contém um `RefCell<T>`, podemos ter um valor que pode ter múltiplos possuidores e que podemos modificar!

Por exemplo, lembre-se da `cons list` na Listagem 15-18 onde usamos o `Rc<T>` para nos permitir que múltiplas listas compartilhassem posse de outra lista. Como o `Rc<T>` guarda apenas valores imutáveis, nós não podemos modificar nenhum dos valores na lista uma vez que os criamos. Vamos adicionar o `RefCell<T>` para ganhar a habilidade de mudar os valores nas listas. A Listagem 15-24 mostra que, usando um `RefCell<T>` na definição do `Cons`, podemos modificar o valor armazenado em todas as listas:

Arquivo: `src/main.rs`

```

#[derive(Debug)]
enum List {
    Cons(Rc<RefCell<i32>>, Rc<List>),
    Nil,
}

use List::{Cons, Nil};
use std::rc::Rc;
use std::cell::RefCell;

fn main() {
    let valor = Rc::new(RefCell::new(5));

    let a = Rc::new(Cons(Rc::clone(&valor), Rc::new(Nil)));

    let b = Cons(Rc::new(RefCell::new(6)), Rc::clone(&a));
    let c = Cons(Rc::new(RefCell::new(10)), Rc::clone(&a));

    *valor.borrow_mut() += 10;

    println!("a depois = {:?}", a);
    println!("b depois = {:?}", b);
    println!("c depois = {:?}", c);
}

```

Listagem 15-24: Usando `Rc<RefCell<i32>>` para criar uma `List` que podemos modificar

Nós criamos um valor que é uma instância de `Rc<RefCell<i32>>` e o armazenamos em uma variável chamada `valor` para que possamos acessá-lo diretamente mais tarde. Então criamos uma `List` em `a` com uma variante `Cons` que guarda `valor`.

Nós embrulhamos a lista `a` em um `Rc<T>` para que, quando criarmos as listas `b` e `c`, elas possam ambas se referir a `a`, que é o que fizemos na Listagem 15-18.

Depois de criarmos as listas em `a`, `b` e `c`, adicionamos 10 ao valor em `valor`. Fazemos isto chamando `borrow_mut` em `valor`, o que usa a funcionalidade de desreferência automática que discutimos no Capítulo 5 (veja a seção "Onde está o operador `->` ?") para desreferenciar o `Rc<T>` ao valor interno `RefCell<T>`. O método `borrow_mut` retorna um ponteiro inteligente `RefMut<T>` no qual usamos o operador de desreferência e modificamos o valor interno.

Quando imprimimos `a`, `b` e `c`, podemos ver que todos eles têm o valor modificado de 15 em vez de 5:

```

a depois = Cons(RefCell { value: 15 }, Nil)
b depois = Cons(RefCell { value: 6 }, Cons(RefCell { value: 15 }, Nil))
c depois = Cons(RefCell { value: 10 }, Cons(RefCell { value: 15 }, Nil))

```

Esta técnica é bem bacana! Usando um `RefCell<T>`, temos uma `List` exteriormente imutável. Mas podemos usar os métodos no `RefCell<T>` que dão acesso a sua mutabilidade interior para que possamos modificar nossos dados quando precisarmos. As checagens em tempo de execução das regras de empréstimo nos protegem de corridas de dados, e às vezes vale a pena trocar um pouco de velocidade por esta flexibilidade nas nossas estruturas de dados.

A biblioteca padrão tem outros tipos que proveem mutabilidade interior, como o `Cell<T>`, que é parecido, exceto que em vez de dar referências ao valor interno, o valor é copiado para dentro e para fora do `Cell<T>`. Tem também o `Mutex<T>`, que oferece mutabilidade interior que é segura de usar entre threads; vamos discutir seu uso no Capítulo 16. Confira a documentação da biblioteca padrão para mais detalhes sobre as diferenças entre estes tipos.

Ciclos de Referências Podem Vazar Memória

As garantias de segurança de memória do Rust tornam *difícil* mas não impossível acidentalmente criar memória que nunca é liberada (conhecida como um *vazamento de memória*, ou *memory leak*). O Rust garante em tempo de compilação que não haverá corridas de dados, mas não garante a prevenção de vazamentos de memória por completo da mesma forma, o que significa que vazamentos de memória são *memory safe* em Rust. Podemos ver que o Rust permite vazamentos de memória usando `Rc<T>` e `RefCell<T>`: é possível criar referências onde os itens se referem uns aos outros em um ciclo. Isso cria vazamentos de memória porque a contagem de referências de cada item no ciclo nunca chegará a 0, e os valores nunca serão destruídos.

Criando um Ciclo de Referências

Vamos dar uma olhada em como um ciclo de referências poderia acontecer e como preveni-lo, começando com a definição do enum `List` e um método `tail` (*cauda*) na Listagem 15-25:

Arquivo: `src/main.rs`

```

use std::rc::Rc;
use std::cell::RefCell;
use List::{Cons, Nil};

#[derive(Debug)]
enum List {
    Cons(i32, RefCell<Rc<List>>),
    Nil,
}

impl List {
    fn tail(&self) -> Option<&RefCell<Rc<List>>> {
        match *self {
            Cons(_, ref item) => Some(item),
            Nil => None,
        }
    }
}

```

Listagem 15-25: Uma definição de cons list que contém um `RefCell<T>` para que possamos modificar ao que se refere uma variante `Cons`

Estamos usando outra variação da definição de `List` da Listagem 15-5. O segundo elemento na variante `Cons` agora é um `RefCell<Rc<List>>`, o que significa que em vez de ter a habilidade de modificar o valor `i32` como fizemos na Listagem 15-24, queremos modificar a `List` à qual a variante `Cons` está apontando. Também estamos adicionando um método `tail` para nos facilitar o acesso ao segundo item quando tivermos uma variante `Cons`.

Na Listagem 15-26, estamos adicionando uma função `main` que usa as definições da Listagem 15-25. Este código cria uma lista em `a` e uma lista em `b` que aponta para a lista em `a`, e depois modifica a lista em `a` para apontar para `b`, o que cria um ciclo de referências. Temos declarações de `println!` ao longo do caminho para mostrar quais são as contagens de referências em vários pontos do processo:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let a = Rc::new(Cons(5, RefCell::new(Rc::new(Nil))));

    println!("a: contagem de referências inicial = {}", Rc::strong_count(&a));
    println!("a: próximo item = {:?}", a.tail());

    let b = Rc::new(Cons(10, RefCell::new(Rc::clone(&a))));

    println!("a: contagem de referências depois da criação de b = {}",
Rc::strong_count(&a));
    println!("b: contagem de referências inicial = {}", Rc::strong_count(&b));
    println!("b: próximo item = {:?}", b.tail());

    if let Some(link) = a.tail() {
        *link.borrow_mut() = Rc::clone(&b);
    }

    println!("b: contagem de referências depois de mudar a = {}",
Rc::strong_count(&b));
    println!("a: contagem de referências depois de mudar a = {}",
Rc::strong_count(&a));

    // Descomente a próxima linha para ver que temos um ciclo; ela irá
    // estourar a pilha
    // println!("a: próximo item = {:?}", a.tail());
}
```

Listagem 15-26: Criando um ciclo de referências de dois valores `List` apontando um para o outro

Nós criamos uma instância de `Rc<List>` segurando um valor `List` na variável `a` com a lista inicial de `5`, `Nil`. Então criamos uma instância de `Rc<List>` segurando outro valor `List` na variável `b` que contém o valor `10` e aponta para a lista em `a`.

Nós modificamos `a` para que aponte para `b` em vez de `Nil`, o que cria um ciclo. Fazemos isso usando o método `tail` para obter uma referência ao `RefCell<Rc<List>>` em `a`, a qual colocamos na variável `link`. Então usamos o método `borrow_mut` no `RefCell<Rc<List>>` para modificar o valor interno: de um `Rc<List>` que guarda um valor `Nil` para o `Rc<List>` em `b`.

Quando rodamos esse código, mantendo o último `println!` comentado por ora, obtemos esta saída:

```
a: contagem de referências inicial = 1
a: próximo item = Some(RefCell { value: Nil })
a: contagem de referências depois da criação de b = 2
b: contagem de referências inicial = 1
b: próximo item = Some(RefCell { value: Cons(5, RefCell { value: Nil }) })
b: contagem de referências depois de mudar a = 2
a: contagem de referências depois de mudar a = 2
```

A contagem de referências das instâncias de `Rc<List>` em ambos `a` e `b` é 2 depois que mudamos a lista em `a` para apontar para `b`. No final da `main`, o Rust tentará destruir `b` primeiro, o que diminuirá em 1 a contagem em cada uma das instâncias de `Rc<List>` em `a` e `b`.

Contudo, como a variável `a` ainda está se referindo ao `Rc<List>` que estava em `b`, ele terá uma contagem de 1 em vez de 0, então a memória que ele tem no heap não será destruída. A memória irá ficar lá com uma contagem de 1, para sempre. Para visualizar esse ciclo de referências, criamos um diagrama na Figura 15-4:

Ciclo de referências de listas

Figura 15-4: Um ciclo de referências das listas `a` e `b` apontando uma para a outra

Se você descomentar o último `println!` e rodar o programa, o Rust tentará imprimir esse ciclo com `a` apontando para `b` apontando para `a` e assim por diante até estourar a pilha.

Nesse exemplo, logo depois que criamos o ciclo de referências, o programa termina. As consequências desse ciclo não são muito graves. Se um programa mais complexo aloca um monte de memória em um ciclo e não a libera por muito tempo, ele acaba usando mais memória do que precisa e pode sobrecarregar o sistema, fazendo com que fique sem memória disponível.

Criar ciclos de referências não é fácil de fazer, mas também não é impossível. Se você tem valores `RefCell<T>` que contêm valores `Rc<T>` ou combinações aninhadas de tipos parecidas, com mutabilidade interior e contagem de referências, você deve se assegurar de que não está criando ciclos; você não pode contar com o Rust para pegá-los. Criar ciclos de referências seria um erro de lógica no seu programa, e você deve usar testes automatizados, revisões de código e outras práticas de desenvolvimento de software para minimizá-los.

Outra solução para evitar ciclos de referências é reorganizar suas estruturas de dados para que algumas referências expressem posse e outras não. Assim, você pode ter ciclos feitos de algumas relações de posse e algumas relações de não posse, e apenas as relações de posse afetam se um valor pode ou não ser destruído. Na Listagem 15-25, nós sempre queremos que as variantes `Cons` possuam sua lista, então reorganizar a estrutura de dados

não é possível. Vamos dar uma olhada em um exemplo usando grafos feitos de vértices pais e vértices filhos para ver quando relações de não posse são um jeito apropriado de evitar ciclos de referências.

Prevenindo Ciclos de Referência: Transforme um `Rc<T>` em um `Weak<T>`

Até agora, demonstramos que chamar `Rc::clone` aumenta a `strong_count` (*contagem de referências fortes*) de uma instância `Rc<T>`, e que a instância `Rc<T>` só é liberada se sua `strong_count` é 0. Também podemos criar uma *referência fraca* (*weak reference*) ao valor dentro de uma instância `Rc<T>` chamando `Rc::downgrade` e passando-lhe uma referência ao `Rc<T>`. Quando chamamos `Rc::downgrade`, nós obtemos um ponteiro inteligente do tipo `Weak<T>`. Em vez de aumentar em 1 a `strong_count` na instância `Rc<T>`, chamar `Rc::downgrade` aumenta em 1 a `weak_count` (*contagem de referências fracas*). O tipo `Rc<T>` usa a `weak_count` para registrar quantas referências `Weak<T>` existem, parecido com a `strong_count`. A diferença é que a `weak_count` não precisa ser 0 para a instância `Rc<T>` ser destruída.

Referências fortes são o modo como podemos compartilhar posse de uma instância `Rc<T>`. Referências fracas não expressam uma relação de posse. Elas não irão causar um ciclo de referências porque qualquer ciclo envolvendo algumas referências fracas será quebrado uma vez que a contagem de referências fortes dos valores envolvidos for 0.

Como o valor ao qual o `Weak<T>` faz referência pode ter sido destruído, para fazer qualquer coisa com ele, precisamos nos assegurar de que ele ainda exista. Fazemos isso chamando o método `upgrade` na instância `Weak<T>`, o que nos retornará uma `Option<Rc<T>>`. Iremos obter um resultado de `Some` se o valor do `Rc<T>` ainda não tiver sido destruído e um resultado de `None` caso ele já tenha sido destruído. Como o `upgrade` retorna uma `Option<T>`, o Rust irá garantir que lidemos com ambos os casos `Some` e `None`, e não haverá um ponteiro inválido.

Como exemplo, em vez de usarmos uma lista cujos itens sabem apenas a respeito do próximo item, iremos criar uma árvore cujos itens sabem sobre seus itens filhos e sobre seus itens pais.

Criando uma Estrutura de Dados em Árvore: Um `Vertice` com Vértices Filhos

Para começar, vamos construir uma árvore com vértices que saibam apenas sobre seus vértices filhos. Iremos criar uma estrutura chamada `Vertice` que contenha seu próprio valor `i32`, além de referências para seus valores filhos do tipo `Vertice`:

Arquivo: src/main.rs

```
use std::rc::Rc;
use std::cell::RefCell;

#[derive(Debug)]
struct Vertice {
    valor: i32,
    filhos: RefCell<Vec<Rc<Vertice>>>,
}
```

Queremos que um `Vertice` tenha posse de seus filhos, e queremos compartilhar essa posse com variáveis para que possamos acessar cada `Vertice` da árvore diretamente. Para fazer isso, definimos os itens do `Vec<T>` para serem valores do tipo `Rc<Vertice>`. Também queremos modificar quais vértices são filhos de outro vértice, então temos um `RefCell<T>` em `filhos` em volta do `Vec<Rc<Vertice>>`.

Em seguida, iremos usar nossa definição de struct e criar uma instância de `Vertice` chamada `folha` com o valor 3 e nenhum filho, e outra instância chamada `galho` com o valor 5 e `folha` como um de seus filhos, como mostra a Listagem 15-27:

Arquivo: src/main.rs

```
fn main() {
    let folha = Rc::new(Vertice {
        valor: 3,
        filhos: RefCell::new(vec![]),
    });

    let galho = Rc::new(Vertice {
        valor: 5,
        filhos: RefCell::new(vec![Rc::clone(&folha)]),
    });
}
```

Listagem 15-27: Criando um vértice `folha` sem filhos e um vértice `galho` com `folha` como um de seus filhos

Nós clonamos o `Rc<Vertice>` em `folha` e armazenamos o resultado em `galho`, o que significa que o `Vertice` em `folha` agora tem dois possuidores: `folha` e `galho`. Podemos ir de `galho` para `folha` através de `galho.filhos`, mas não temos como ir de `folha` para `galho`. O motivo é que `folha` não tem referência a `galho` e não sabe que eles estão relacionados. Queremos que `folha` saiba que `galho` é seu pai. Faremos isso em seguida.

Adicionando uma Referência de um Filho para o Seu Pai

Para tornar o vértice filho ciente de seu pai, precisamos adicionar um campo `pai` a nossa definição da struct `Vertice`. O problema é decidir qual deveria ser o tipo de `pai`. Sabemos que ele não pode conter um `Rc<T>` porque isso criaria um ciclo de referências com `folha.pai` apontando para `galho` e `galho.filhos` apontando para `folha`, o que faria com que seus valores de `strong_count` nunca chegassem a 0.

Pensando sobre as relações de outra forma, um vértice pai deveria ter posse de seus filhos: se um vértice pai é destruído, seus vértices filhos também deveriam ser. Entretanto, um filho não deveria ter posse de seu pai: se destruirmos um vértice filho, o pai ainda deveria existir. Esse é um caso para referências fracas!

Então em vez de `Rc<T>`, faremos com que o tipo de `pai` use `Weak<T>`, mais especificamente um `RefCell<Weak<Vertice>>`. Agora nossa definição da struct `Vertice` fica assim:

Arquivo: `src/main.rs`

```
use std::rc::{Rc, Weak};
use std::cell::RefCell;

#[derive(Debug)]
struct Vertice {
    valor: i32,
    pai: RefCell<Weak<Vertice>>,
    filhos: RefCell<Vec<Rc<Vertice>>>,
}
```

Agora um vértice pode se referir a seu vértice pai, mas não tem posse dele. Na Listagem 15-28, atualizamos a `main` com essa nova definição para que o vértice `folha` tenha um jeito de se referir a seu pai, `galho`:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {
    let folha = Rc::new(Vertice {
        valor: 3,
        pai: RefCell::new(Weak::new()),
        filhos: RefCell::new(vec![]),
    });

    println!("pai de folha = {:?}", folha.pai.borrow().upgrade());

    let galho = Rc::new(Vertice {
        valor: 5,
        pai: RefCell::new(Weak::new()),
        filhos: RefCell::new(vec![Rc::clone(&folha)]),
    });

    *folha.pai.borrow_mut() = Rc::downgrade(&galho);

    println!("pai de folha = {:?}", folha.pai.borrow().upgrade());
}
```

Listagem 15-28: Um vértice `folha` com uma referência `Weak` a seu vértice pai `galho`

Criar o vértice `folha` é semelhante a como o criamos na Listagem 15-27, com exceção do campo `pai`: `folha` começa sem um pai, então criamos uma instância nova e vazia de uma referência `Weak<Vertice>`.

Nesse ponto, quando tentamos obter uma referência ao pai de `folha` usando o método `upgrade`, recebemos um valor `None`. Vemos isso na saída do primeiro comando `println!`:

```
pai de folha = None
```

Quando criamos o vértice `galho`, ele também tem uma nova referência `Weak<Vertice>` no campo `pai`, porque `galho` não tem um vértice pai. Nós ainda temos `folha` como um dos filhos de `galho`. Uma vez que temos a instância de `Vertice` em `galho`, podemos modificar `folha` para lhe dar uma referência `Weak<Vertice>` a seu pai. Usamos o método `borrow_mut` do `RefCell<Weak<Vertice>>` no campo `pai` de `folha`, e então usamos a função `Rc::downgrade` para criar uma referência `Weak<Vertice>` a `galho` a partir do `Rc<Vertice>` em `galho`.

Quando imprimimos o pai de `folha` de novo, dessa vez recebemos uma variante `Some` contendo `galho`: agora `folha` tem acesso a seu pai! Quando imprimimos `folha`, nós também evitamos o ciclo que eventualmente terminou em um estouro de pilha como o que tivemos na Listagem 15-26: as referências `Weak<Vertice>` são impressas como `(Weak)`:

```
    pai de folha = Some(Vertice { valor: 5, pai: RefCell { valor: (Weak) },  
    filhos: RefCell { valor: [Vertice { valor: 3, pai: RefCell { valor: (Weak) },  
    filhos: RefCell { valor: [] } } ] } })
```

A falta de saída infinita indica que esse código não criou um ciclo de referências. Também podemos perceber isso olhando para os valores que obtemos ao chamar

```
Rc::strong_count e Rc::weak_count .
```

Visualizando Mudanças a `strong_count` e `weak_count`

Para ver como os valores de `strong_count` e `weak_count` das instâncias de `Rc<Vertice>` mudam, vamos criar um novo escopo interno e mover a criação de `galho` para dentro dele. Fazendo isso, podemos ver o que acontece quando `galho` é criado e depois destruído quando sai de escopo. As modificações são mostradas na Listagem 15-29:

Arquivo: `src/main.rs`

```

fn main() {
    let folha = Rc::new(Vertice {
        valor: 3,
        pai: RefCell::new(Weak::new()),
        filhos: RefCell::new(vec![]),
    });

    println!(
        "folha: fortes = {}, fracas = {}",
        Rc::strong_count(&folha),
        Rc::weak_count(&folha),
    );

    {
        let galho = Rc::new(Vertice {
            valor: 5,
            pai: RefCell::new(Weak::new()),
            filhos: RefCell::new(vec![Rc::clone(&folha)]),
        });

        *folha.pai.borrow_mut() = Rc::downgrade(&galho);

        println!(
            "galho: fortes = {}, fracas = {}",
            Rc::strong_count(&galho),
            Rc::weak_count(&galho),
        );

        println!(
            "folha: fortes = {}, fracas = {}",
            Rc::strong_count(&folha),
            Rc::weak_count(&folha),
        );
    }

    println!("pai de folha = {:?}", folha.pai.borrow().upgrade());
    println!(
        "folha: fortes = {}, fracas = {}",
        Rc::strong_count(&folha),
        Rc::weak_count(&folha),
    );
}

```

Listagem 15-29: Criando `galho` em um escopo interno e examinando contagens de referências fortes e fracas

Depois que `folha` é criada, seu `Rc<Vertice>` tem uma *strong count* de 1 e uma *weak count* de 0. Dentro do escopo interno, criamos `galho` e o associamos a `folha`. Nesse ponto, quando imprimimos as contagens, o `Rc<Vertice>` em `galho` tem uma strong count de 1 e uma weak count de 1 (porque `folha.pai` aponta para `galho` com uma `Weak<Vertice>`).

Quando imprimirmos as contagens de `folha`, veremos que ela terá uma strong count de 2, porque `galho` agora tem um clone do `Rc<Vertice>` de `folha` armazenado em `galho.filhos`, mas ainda terá uma weak count de 0.

Quando o escopo interno termina, `galho` sai de escopo e a strong count do `Rc<Vertice>` diminui para 0, e então seu `Vertice` é destruído. A weak count de 1 por causa de `folha.pai` não tem nenhuma influência sobre se `Vertice` é destruído ou não, então não temos nenhum vazamento de memória!

Se tentarmos acessar o pai de `folha` depois do fim do escopo, receberemos `None` de novo. No fim do programa, o `Rc<Vertice>` em `folha` tem uma strong count de 1 e uma weak count de 0, porque a variável `folha` agora é de novo a única referência ao `Rc<Vertice>`.

Toda a lógica que gerencia as contagens e a destruição de valores faz parte de `Rc<T>` e `Weak<T>` e suas implementações da trait `Drop`. Ao especificarmos na definição de `Vertice` que a relação de um filho para o seu pai deva ser uma referência `Weak<T>`, somos capazes de ter vértices pai apontando para vértices filho e vice-versa sem criar ciclos de referência e vazamentos de memória.

Resumo

Esse capítulo cobriu como usar ponteiros inteligentes para fazer garantias e trade-offs diferentes daqueles que o Rust faz por padrão com referências normais. O tipo `Box<T>` tem um tamanho conhecido e aponta para dados alocados no heap. O tipo `Rc<T>` mantém registro do número de referências a dados no heap, para que eles possam ter múltiplos possuidores. O tipo `RefCell<T>` com sua mutabilidade interior nos dá um tipo que podemos usar quando precisamos de um tipo imutável mas precisamos mudar um valor interno ao tipo; ele também aplica as regras de empréstimo em tempo de execução em vez de em tempo de compilação.

Também foram discutidas as traits `Deref` e `Drop` que tornam possível muito da funcionalidade dos ponteiros inteligentes. Exploramos ciclos de referências que podem causar vazamentos de memória e como preveni-los usando `Weak<T>`.

Se esse capítulo tiver aguçado seu interesse e você quiser implementar seus próprios ponteiros inteligentes, dê uma olhada no "Rustnomicon" em <https://doc.rust-lang.org/stable/nomicon/> para mais informação útil.

Em seguida, conversaremos sobre concorrência em Rust. Você irá até aprender sobre alguns novos ponteiros inteligentes.

Concurrency

Rust é uma linguagem orientada a objetos?

A programação orientada a objetos (POO) é uma maneira de modelar programas. Objetos vieram da Simula nos anos 60. Esses objetos influenciaram a arquitetura de programação de Alan Kay, onde os objetos passam mensagens uns aos outros. Ele criou o termo programação orientada a objetos em 1967 para descrever essa arquitetura. Muitas definições concorrentes descrevem o que é POO; algumas definições classificariam Rust como orientada a objetos, mas outras definições não. Nesse capítulo, iremos explorar certas características que são comumente consideradas orientada a objetos e como essas características se traduzem no Rust. Então, mostraremos como implementar um padrão de design orientado a objetos em Rust e discutir as vantagens de fazer versus implementar uma solução usando alguns pontos fortes do Rust.

O que significa orientado a objetos?

Não existe um consenso na comunidade de programação sobre quais recursos uma linguagem precisa para ser considerada orientada a objetos. Rust é influenciada por diversos paradigmas diferentes, incluindo POO; por exemplo, exploramos os recursos que vieram da programação funcional no Capítulo 13. Indiscutivelmente, linguagens POO compartilham certas características comuns, nome para objetos, encapsulamento e herança. Vamos ver o que cada uma dessas características significam e se Rust as suportam.

Objetos contêm dados e comportamentos

O livro *Design Patterns: Elements of Reusable Object-Oriented Software*, informalmente referido como *O livro da Gangue dos Quatro*, é um catálogo de padrões de design orientado a objetos. Ele define POO como:

Programas orientados a objetos são feitos de objetos. Um *objeto* empacota ambos dados e seus procedimentos que operam sobre estes dados. Os procedimentos são tipicamente chamados de *métodos* or *operações*.

Usando essa definição, Rust é orientada a objetos: structs e enums têm dados e os blocos

`impl` fornecem métodos em structs e enums. Embora structs e enums com métodos não sejam *chamados* de objetos, eles fornecem a mesma funcionalidade, de acordo com a definição de objetos de Gangue dos Quatro.

Encapsulamento que oculta detalhes de implementação

Outro aspecto comumente associado a POO é a ideia de *encapsulamento*, o que significa que os detalhes de implementação de um objeto não são acessíveis ao código usando esse objeto. Portanto, a única maneira de interagir com um objeto é através de sua API pública; código usando o objeto não deve ser capaz de alcançar coisas internas ao objeto e alterar dados ou comportamento diretamente. Isso permite que o programador altere e refatore as coisas internas de um objeto sem precisar mudar o código que usa este objeto.

Discutimos como controlar o encapsulamento no Capítulo 7: podemos usar a palavra-chave `pub` para determinar quais módulos, tipos, funções e métodos em nosso código devem ser públicos e, por padrão, todo o restante é privado. Por exemplo, podemos definir uma estrutura `ColecaoDeMedia` que tem um campo contendo um vetor de valores de `i32`. A estrutura também pode ter um campo que contenha a média dos valores do vetor, o que significa que a média não precisa ser calculada toda vez que alguém precisar da média. Em outras palavras, `ColecaoDeMedia` irá armazenar em cache a média calculada para nós. A Listagem 17-1 tem a definição da estrutura `ColecaoDeMedia`:

Nome do arquivo: `src/lib.rs`

```
pub struct ColecaoDeMedia {  
    lista: Vec<i32>,  
    media: f64,  
}
```

Listagem 17-1: A estrutura `ColecaoDeMedia`, que mantém uma lista de inteiros e a média dos itens dessa coleção

A estrutura é marcada como `pub`, portanto, outro código possa usá-la, mas os campos dentro da estrutura permanecem privados. Isso é importante nesse caso porque queremos garantir que sempre que um valor seja adicionado ou removido da lista, a média também seja atualizada. Fazemos isso implementando os métodos `adicionar`, `remover` e `media` na estrutura, conforme na Listagem 17-2:

Nome do arquivo: `src/lib.rs`

```

impl ColecaoDeMedia {
    pub fn adicionar(&mut self, valor: i32) {
        self.lista.push(valor);
        self.atualizar_media();
    }

    pub fn remover(&mut self) -> Option<i32> {
        let resultado = self.lista.pop();
        match resultado {
            Some(valor) => {
                self.atualizar_media();
                Some(valor)
            },
            None => None,
        }
    }

    pub fn media(&self) -> f64 {
        self.media
    }

    fn atualizar_media(&mut self) {
        let total: i32 = self.lista.iter().sum();
        self.media = total as f64 / self.lista.len() as f64;
    }
}

```

Listagem 17-2: Implementações dos métodos públicos `adicionar`, `remover`, and `media` na `ColecaoDeMedia`

Os métodos públicos `adicionar`, `remover` e `media` são as únicas maneiras de modificar uma instância de `ColecaoDeMedia`. Quando um item é adicionado à `lista` usando o método `adicionar` ou removido usando o método `remover`, as implementações de cada uma chama o método privado `atualizar_media` que lida com a atualização do campo `media` também.

Deixamos os campos da `lista` e `media` privados, então não há como um código externo adicionar ou remover itens para o campo `lista` diretamente; senão, o campo `media` pode ficar desatualizado quando a `lista` é modificada. O método `media` retorna o valor contido no campo `media`, permitindo que código externo leia a `media`, mas não a modifique.

Porque encapsulamos os detalhes de implementação da `ColecaoDeMedia`, podemos facilmente alterar aspectos, como a estrutura de dados, no futuro. Por exemplo, depomos usar um `HashSet` em vez de `Vec` para o campo `lista`. Contanto que as assinaturas dos métodos públicos `adicionar`, `remover` e `media` sejam os mesmos, o código que estiver usando `ColecaoDeMedia` não precisa ser alterado. Se tornássemos a `lista` pública, isso

não seria necessariamente o caso: `HashSet` e `Vec` têm métodos diferentes para adicionar e remover itens, então código externo teria de mudar, se estivessemos modificando a `lista` diretamente.

Se encapsulamento é um aspecto requerido para uma linguagem ser considerada orientada a objetos, então Rust atende a este requisito. A opção de usar `pub` ou não para diferentes partes do código permitem encapsulamento dos detalhes de implementação.

Herança como um sistema de tipos e como compartilhamento de código

Herança é um mecanismo pelo qual um objeto pode herdar de um outro definição do objeto, assim obtendo os dados e o comportamento do objeto pai sem que você precise defini-los novamente.

Se a linguagem precisa ter herança para ser uma linguagem orientada a objetos, então Rust não é. Não há como definir uma estrutura que herde os campos e implementações de métodos da estrutura pai. No entanto, se você está acostumado a usar herança nos seus programas, pode usar uma outra solução em Rust, dependendo da sua razão pra obter a herança em primeiro lugar.

Você escolhe herança por dois motivos principais. Uma é para reuso de código: você pode implementar comportamento específico para um tipo e herança permite que você reutilize essa implementação para um tipo diferente. Você pode compartilhar códigos em Rust usando implementações do método de característica padrão, que você viu na Listagem 10-14, quando adicionamos uma implementação padrão do método `resumir` no `trait Resumo`. Qualquer tipo de implementação de `trait Resumo` teria o método `resumir` disponível sem precisar de outro código. Isso é semelhante a uma classe pai tendo uma implementação de um método e uma classe filha herdando a implementação do método. Também podemos sobrescrever a implementação padrão do método `resumir` quando implementamos o `trait Resumo`, que é similar a uma classe filha que sobrescreve a implementação do método herdado da classe pai.

A outra razão para usar herança diz respeito ao sistema de tipos: permitir que um tipo filho seja usado nos mesmos lugares que o tipo pai. Isso também é chamado de *polimorfismo*, o que significa que você pode substituir vários objetos um pelo outro em tempo de execução se eles compartilham certas características.

Polimorfismo

Para muitas pessoas, polimorfismo é sinônimo de herança. Mas na verdade, é um conceito muito mais geral que se refere ao código que pode trabalhar com dados de vários tipos. Para herança, esses tipos geralmente são subclasses.

Alternativamente, Rust usa genéricos para abstrair sobre diferentes tipos possíveis e trait bounds para impor restrições no que esses tipos devem fornecer. As vezes, isso é chamado de *polimorfismo paramétrico limitado*

Recentemente, herança caiu em desuso como uma solução de design de programação em muitas linguagens de programação, porque muitas vezes corre o risco de compartilhar mais código que o necessário. As subclasses nem sempre devem compartilhar todas as características de sua classe pai, mas o farão com herança. Isso pode fazer o design do programa menos flexível e introduzir a possibilidade de chamar métodos nas subclasses que não fazem sentido ou que causam erros porque os métodos não se aplicam à subclasse. Algumas linguagens também só permitem que uma subclasse herde de uma classe, restringindo a flexibilidade do design do programa.

Por esses motivos, Rust usa abordagens diferentes, usando objetos trait em vez de herança. Vamos ver como objetos trait possibilitam o polimorfismo em Rust.

Usando objetos trait que permitem valores de tipos diferentes

No Capítulo 8, mencionamos que uma limitação dos vetores é que eles apenas podem armazenar elementos do mesmo tipo. Criamos uma solução alternativa na Listagem 8-10, onde definimos um enum chamado `SpreadsheetCell` que tinha variantes para conter inteiros, flutuantes e texto. Isso significa que poderíamos armazenar diferentes tipos de dados em cada célula e ainda ter um vetor que representasse uma linha de células. Isso é uma solução ótima quando nossos itens intercambiáveis são um conjunto fixo de tipos que sabemos quando nosso código é compilado.

No entanto, algumas vezes queremos que nosso usuário de biblioteca seja capaz de estender o conjunto de tipos que são válidos em uma situação específica. Para mostrar como podemos alcançar isso, criaremos um exemplo de ferramenta de interface gráfica (GUI) que interage através de uma lista de itens, chamando um método `desenhar` em cada um para desenhá-lo na tela - uma técnica comum para ferramentas GUI. Criaremos uma crate chamada `gui` que contém a estrutura da biblioteca GUI. Essa crate pode incluir alguns tipos para as pessoas usarem, como um `Button` ou `TextField`. Além disso, usuários de `gui` vão querer criar seus próprios tipos que podem ser desenhados: por exemplo, um

programados pode adicionar uma `Image` e outro pode adicionar um `SelectBox`.

Não implementamos uma biblioteca gráfica completa para esse exemplo, mas mostraremos como as peças se encaixariam. No momento de escrever a biblioteca, não podemos saber e definir todos os tipos que outros programadores podem querer criar. Mas sabemos que `gui` precisa manter o controle de diferentes valores de diferentes tipos e ele precisa chamar o método `desenhar` em cada um desses diferentes tipos de valores. Não é necessário saber exatamente o que acontecerá quando chamarmos o método `desenhar`, apenas que o valor terá este método disponível para executarmos.

Para fazer isso em uma linguagem com herança, podemos definir uma classe chamada `Component` que possui um método chamado `desenhar`. As outras classes, como as `Button`, `Image` e `SelectBox`, herdam de `Component` e, assim, herdam o método `desenhar`. Cada uma pode sobrescrever o método `desenhar` para definir seu comportamento próprio, mas o framework poderia tratar todos esses tipos se eles fossem instâncias de `Component` e chamar `desenhar` neles. Mas como Rust não tem herança, precisamos de outra maneira para estruturar a biblioteca `gui` para permitir que os usuários o estendam com novos tipos.

Definindo um Trait para componentes comuns

Para implementar o comportamento que queremos que `gui` tenha, definiremos um trait chamado `Draw` que terá um método chamado `desenhar`. Então podemos definir um vetor que tenha um *objeto trait*. Um objeto trait aponta para uma instância de um tipo que implementa o trait que especificamos. Criamos um objeto trait especificando alguns tipos de ponteiros, como uma referência `&` ou um ponteiro `Box<T>` e especificando um trait relevante (falaremos sobre o motivo pelo qual os objetos trait devem ser usados no Capítulo 19, na seção "Tipos e tamanhos dimensionados dinamicamente"). Podemos usar objetos trait no lugar de um tipo genérico ou concreto. Onde quer que usemos um objeto trait, o sistema de tipos do Rust irá garantir em tempo de compilação que qualquer valor usado nesse contexto implementará o trait de um objeto trait. Consequentemente, não precisamos saber todos os possíveis tipos em tempo de compilação.

Mencionamos que em Rust evitamos de chamar estruturas e enums de "objetos" para distingui-los dos objetos de outras linguagens. Em uma estrutura ou enum, o dado nos campos e o comportamento no bloco `impl` são separados, enquanto em outras linguagens o dado e o comportamento são combinados em um conceito muitas vezes chamado de objeto. No entanto, objetos trait são mais como objetos em outras linguagens no sentido de combinar dados e comportamento. Mas objetos trait diferem de objetos tradicionais, pois não podemos adicionar dados a um objeto trait. Objetos trait geralmente não são

proveitosas como um objeto de outras linguagens: sua finalidade é simplesmente possibilitar a abstração entre comportamento comum.

Listagem 17-3 mostra como definir um trait chamado `Draw` com um método chamado `desenhar` :

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub trait Draw {  
    fn desenhar(&self);  
}
```

Listagem 17-3: Definição do trait `Draw`

Essa sintaxe deve parecer familiar de outras discussões de como definir traits do Capítulo 10. Em seguida, vem uma nova sintaxe: A Listagem 17-4 define uma estrutura chamada `Janela` que contém um vetor chamado `componentes` . Esse vetor é do tipo `Box<Draw>` , que é um objeto trait: é um substituto para qualquer tipo dentro de um `Box` que implementa o trait `Draw` .

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub struct Janela {  
    pub componentes: Vec<Box<Draw>>,  
}
```

Listagem 17-4: Definição da estrutura `Janela` com um campo `componentes` que contém um vetor de objetos trait que implementam o trait `Draw`

Na estrutura `Janela` , definiremos um método chamado `executar` que irá chamar o método `desenhar` em cada item do `componentes` , como mostrado na Listagem 17-5:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
impl Janela {  
    pub fn executar(&self) {  
        for component in self.componentes.iter() {  
            component.desenhar();  
        }  
    }  
}
```

Listagem 17-5: Implementando um método `executar` na `Janela` que chama o método

`desenhar` para cada componente

Isso funciona de forma diferente do que definir uma estrutura que usa um parâmetro de tipo genérico com trait bounds. Um parâmetro de tipo genérico pode apenas ser substituído por um tipo concreto de cada vez, enquanto objetos trait permitem vários tipos concretos para preencher o objeto trait em tempo de execução. Por exemplo, poderíamos ter definido a estrutura `Janela` usando um tipo genérico e um trait bounds como na Listagem 17-6:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub struct Janela<T: Draw> {
    pub componentes: Vec<T>,
}

impl<T> Janela<T>
    where T: Draw {
    pub fn executar(&self) {
        for component in self.componentes.iter() {
            component.desenhar();
        }
    }
}
```

Listagem 17-6: Uma implementação alternativa da estrutura `Janela` e seu método `executar` usando genéricos e trait bounds

Isso nos restringe a uma instância de `Janela` que tem uma lista de componentes, todos do tipo `Button` ou do tipo `TextField`. Se você tiver somente coleções do mesmo tipo, usar genéricos e trait bounds é preferível, porque as definições serão monomorfizadas em tempo de compilação para os tipos concretos.

Por outro lado, com o método usando objetos trait, uma instância de `Janela` pode conter um `Vec` que contém um `Box<Button>` assim como um `Box<TextField>`. Vamos ver como isso funciona e falaremos sobre as implicações do desempenho em tempo de compilação.

Implementando o Trait

Agora, adicionaremos alguns tipos que implementam o trait `Draw`. Forneceremos o tipo `Button`. Novamente, a implementação de uma biblioteca gráfica está além do escopo deste livro, então o método `desenhar` não terá nenhuma implementação útil. Para imaginar como a implementação pode parecer, uma estrutura `Button` pode ter os campos `largura`, `altura` e `label`, como mostra a Listagem 17-7:

Arquivo: src/lib.rs

```
pub struct Button {
    pub largura: u32,
    pub altura: u32,
    pub label: String,
}

impl Draw for Button {
    fn desenhar(&self) {
        // Código para realmente desenhar um botão
    }
}
```

Listagem 17-7: Uma estrutura `Button` que implementa o trait `Draw`

Os campos `largura`, `altura` e `label` do `Button` serão diferentes de campos de outros componentes, como o tipo `TextField`, que pode ter esses campos, mais um campo `placeholder`. Para cada um dos tipos, queremos que desenhar na tela o que implementamos no trait `Draw`, mas usará códigos diferentes no método `desenhar` para definir como desenhar aquele tipo em específico, como o `Button` tem aqui (sem o atual código da interface gráfica que está além do escopo desse capítulo). `Button`, por exemplo, pode ter um bloco `impl` adicional, contendo métodos relacionados com o que acontece quando um usuário clica no botão. Esses tipos de métodos não se aplicam a tipos como `TextField`.

Se alguém estiver usando nossa biblioteca para implementar a estrutura `SelectBox` que tem os campos `largura`, `altura` e `opcoes`, eles implementam o trait `Draw` no tipo `SelectBox`, como mostra a Listagem 17-8:

Arquivo: src/main.rs

```
extern crate gui;
use gui::Draw;

struct SelectBox {
    largura: u32,
    altura: u32,
    opcoes: Vec<String>,
}

impl Draw for SelectBox {
    fn desenhar(&self) {
        // Código para realmente desenhar um select box
    }
}
```

Listagem 17-8: Outro crate usando `gui` e implementando o trait `Draw` na estrutura `SelectBox`

Os usuários da nossa biblioteca agora podem escrever suas funções `main` para criar uma instância de `Janela`. Para a instância de `Janela`, eles podem adicionar um `SelectBox` e um `Button` colocando cada um em um `Box<T>` para se tornar um objeto trait. Eles podem chamar o método `executar` na instância de `Janela`, que irá chamar o `desenhar` para cada um dos componentes. A Listagem 17-9 mostra essa implementação:

Arquivo: `src/main.rs`

```
use gui::{Janela, Button};

fn main() {
    let screen = Janela {
        componentes: vec![
            Box::new>SelectBox {
                largura: 75,
                altura: 10,
                opcoes: vec![
                    String::from("Yes"),
                    String::from("Maybe"),
                    String::from("No")
                ],
            },
            Box::new(Button {
                largura: 50,
                altura: 10,
                label: String::from("OK"),
            }),
        ],
    };

    screen.executar();
}
```

Listagem 17-9: Usando objetos trait para armazenar valores de tipos diferentes que implementam trait semelhantes.

Quando escrevemos uma biblioteca, não sabemos o que alguém pode adicionar ao tipo `SelectBox`, mas nossa implementação de `Janela` foi capaz de operar no novo tipo e desenhá-lo, porque `SelectBox` implementa o tipo `Draw`, o que significa que ele implementa o método `desenhar`.

Esse conceito - de se preocupar apenas com a mensagem que um valor responde em vez do tipo concreto de valores - é similar ao conceito *duck typing* em linguagens dinamicamente tipadas: se anda como um pato e é como um pato, então deve ser um pato! Na

implementação do `executar` na `Janela` na Listagem 17-5, `executar` não precisa saber qual é o tipo concreto que cada componente é. Ele não verifica se um componente é uma instância de `Button` ou um `SelectBox`, apenas chama o método `desenhar` do componente. Especificando `Box<Draw>` como o tipo dos valores do vetor `componentes`, definimos `Janela` por precisarmos de valores nos quais podemos chamar o método `desenhar`.

A vantagem de usar objetos `trait` e o sistema de tipos do Rust para escrever códigos semelhante ao código usando `duck typing` é que nunca precisamos verificar se um valor implementa um método em particular no tempo de execução ou se preocupar com erros se um valor não implementa um método, mas nós o chamamos mesmo assim. Rust não irá compilar nosso código se os valores não implementarem os `traits` que o objeto `trait` precisa.

Por exemplo, a Listagem 17-10 mostra o que acontece se tentarmos criar uma `Janela` com uma `String` como um componente:

Arquivo: `src/main.rs`

```
extern crate gui;
use gui::Janela;

fn main() {
    let screen = Janela {
        componentes: vec![
            Box::new(String::from("Hi")),
        ],
    };

    screen.executar();
}
```

Listagem 17-10: Tentativa de usar um tipo que não implementa o `trait` do objeto `trait`.

Obteremos esse erro, porque `String` não implementa o `trait Draw`:

```
error[E0277]: the trait bound `std::string::String: gui::Draw` is not satisfied
--> src/main.rs:7:13
   |
7  |             Box::new(String::from("Hi")),
   |             ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^ the trait gui::Draw is not
   |             implemented for `std::string::String`
   |
   = note: required for the cast to the object type `gui::Draw`
```

Esse erro nos permite saber se estamos passando algo para `Janela` que não pretenderíamos passar e que deveríamos passar um tipo diferente ou devemos

implementar `Draw` na `String`, para que `Janela` possa chamar `desenhar` nela.

Objetos `trait` executam despacho dinâmico

Lembre-se da seção "Desempenho de código usando genéricos" no Capítulo 10, nossa discussão sobre o processo de monomorfização realizado pelo compilador quando usamos `trait bounds` em genéricos: o compilador gera implementações não genéricas de funções e métodos para cada tipo concreto que usamos no lugar de um parâmetro de tipo genérico. O código que resulta da monomorfização está fazendo *despacho estático*, que é quando o compilador sabe qual método você está chamando em tempo de compilação. Isso é oposto ao *despacho dinâmico*, que é quando o compilador não sabe dizer que método você está chamando em tempo de compilação. Nos casos de despacho dinâmico, o compilador emite códigos que, em tempo de execução, descobrirá qual método chamar.

Quando usamos objetos `trait`, o Rust deve usar despacho dinâmico. O compilador não sabe todos os tipos que podem ser usados com código que está usando os objetos `trait`, por isso não sabe qual método implementado em que tipo chamar. Em vez disso, em tempo de execução, Rust usa os ponteiros dentro de objeto `trait` para saber que método, específico, deve chamar. Há um custo de tempo de execução quando essa pesquisa ocorre, que não ocorre com despacho estático. Despacho dinâmico também impede que o compilador escolha inline o código de um método, o que, por vezes, impede algumas otimizações. No entanto, conseguimos uma maior flexibilidade no código que escrevemos na Listagem 17-5 e foram capazes de suportar na Listagem 17-9, é uma desvantagem a se considerar.

A segurança do objeto é necessário para objetos `trait`

Você apenas pode fazer *objetos traits seguros* em objetos `traits`. Algumas regras complexas determinam todas as propriedades que fazem um objeto `trait` seguro, mas em prática, apenas duas regras são relevantes. Um `trait` é um objeto seguro se todos os métodos definidos no `trait` tem as seguintes propriedades:

- O retorno não é do tipo `Self`.
- Não há parâmetros de tipo genérico.

A palavra-chave `Self` é um pseudônimo para o tipo que estamos implementando o `trait` ou método. Os objetos `trait` devem ser seguros, porque depois de usar um objeto `trait`, o Rust não conhece mais o tipo concreto que está implementando aquele `trait`. Se um método `trait` retorna o tipo concreto `Self`, mas um objeto `trait` esquece o tipo exato que `Self` é, não há como o método usar o tipo concreto original. O mesmo é verdade para parâmetros de tipo genérico que são preenchidos com um parâmetro de tipo concreto, quando o `trait` é usado:

os tipos concretos fazem parte do tipo que implementa o `trait`. Quando o tipo é esquecido através do uso de um objeto `trait`, não há como saber que tipo preenchem os parâmetros de tipo genérico.

Um exemplo de `trait` cujos métodos não são seguros para objetos é o `trait Clone` da biblioteca padrão. A assinatura do método `clone` é o `trait Clone` se parece com isso:

```
pub trait Clone {
    fn clone(&self) -> Self;
}
```

O tipo `String` implementa o `trait Clone` e quando chamamos o método `clone` numa instância de `String`, obtemos de retorno uma instância de `String`. Da mesma forma, se chamarmos `clone` numa instância de `Vec`, retornamos uma instância de `Vec`. A assinatura de `clone` precisa saber que tipo terá o `self`, porque esse é o tipo de retorno.

O compilador indicará quando você estiver tentando fazer algo que viole as regras de segurança de objetos em relação a objetos `trait`. Por exemplo, digamos que tentamos implementar a estrutura da Listagem 17-4 para manter os tipos que implementam o `trait Clone` em vez do `trait Draw`, desta forma:

```
pub struct Janela {
    pub componentes: Vec<Box<Clone>>,
}
```

Teremos o seguinte erro:

```
error[E0038]: the trait `std::clone::Clone` cannot be made into an object
--> src/lib.rs:2:5
  |
2 |     pub componentes: Vec<Box<Clone>>,
  |     ^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^^ the trait `std::clone::Clone` cannot be
made into an object
  |
  = note: the trait cannot require that `Self : Sized`
```

Esse erro significa que você não pode usar esse `trait` como um objeto `trait` dessa maneira. Se estiver interessado em mais detalhes sobre segurança de objetos, veja [Rust RFC 255](#).

Implementando um padrão de projeto orientado a objetos

O *padrão de estado* é um padrão de projeto orientado a objetos. O ponto crucial do padrão é que um valor tem algum estado interno, que é representado por um conjunto de *objetos de estado* e o comportamento do valor é alterado com base no estado interno. Os objetos de estado compartilham funcionalidade: em Rust, é claro, usamos estruturas e traits em vez de objetos e herança. Cada objeto de estado é responsável por seu próprio comportamento e por administrar quando dev mudar para outro estado. O valor que contém um objeto de estado não sabe nada sobre o comportamento diferente dos estados ou quando fazer transição entre os estados.

Usando o padrão de estados significa que quando os requisitos do negócio do programa mudam, não precisamos mudar o código do valor que detém o estado ou o código que usa o valor. Precisamos apenas atualizar o código dentro de um dos objetos de estados para mudar suas regras ou talvez adicionar mais objetos de estados. Vamos ver um exemplo de padrão de projeto de estados e como usá-lo no Rust.

Implementaremos um fluxo de trabalho de postagens de maneira incremental. A funcionalidade final do blog será assim:

1. Uma postagem no blog começa como um rascunho vazio.
2. Quando o rascunho é concluído, é necessária uma revisão da postagem.
3. Quando a postagem é aprovada, ela é aprovada.
4. Apenas postagens de blog publicadas retornam conteúdo para impressão, portanto, postagens não aprovadas não podem ser publicadas por acidente.

Quaisquer outras tentativas de mudança em uma postagem não deve ter efeito. Por exemplo, se tentarmos aprovar um rascunho de postagem no blog antes de solicitarmos uma revisão, a postagem a postagem deve permanecer em rascunho não publicado.

Listagem 17-11 mostra esse fluxo de trabalho em forma de código: este é um exemplo de uso de API que implementaremos em um biblioteca crate chamada `blog`. Isso ainda não foi compilado, porque não temos implementado o crate `blog`:

Arquivo: `src/main.rs`

```
extern crate blog;
use blog::Postagem;

fn main() {
    let mut post = Postagem::new();

    post.add_texto("Eu comi uma salada no almoço de hoje");
    assert_eq!("", post.conteudo());

    post.solicitar_revisao();
    assert_eq!("", post.conteudo());

    post.aprovar();
    assert_eq!("Eu comi uma salada no almoço de hoje", post.conteudo());
}
```

Listagem 17-11: Código que demonstra o desejado comportamento que queremos que o nosso `crate blog` tenha

Queremos permitir que o usuário crie uma nova postagem de blog com `Postagem::new`. Então, queremos permitir que o texto seja adicionado à postagem do blog enquanto ela estiver no estado de rascunho. Se tentarmos obter o conteúdo da postagem imediatamente, antes da aprovação, nada deve acontecer porque a postagem ainda é um rascunho. Adicionamos `assert_eq!` no código para fins de demonstração. Um excelente teste unitário para isso seria afirmar que uma postagem do blog em rascunho retorna uma string vazia do método `conteudo`, mas não vamos escrever testes para este exemplo.

Em seguida, queremos possibilitar uma solicitação de revisão para a postagem e queremos que o `conteudo` retorne uma string vazia enquanto aguarda a revisão. Quando a postagem for aprovada, deve ser publicada, significa que o texto da postagem será retornada quando o `conteudo` for chamado.

Observe que o único tipo com o qual estamos interagindo, do `crate`, é o tipo `Postagem`. Esse tipo usará padrão de estados e terá um valor que será um dos três estados de objeto, representam os vários estados em que uma postagem pode estar em - rascunho, esperando por revisão ou publicada. Mudar de um estado para outro será gerenciado internamente com o tipo `Postagem`. Os estados mudam em resposta aos métodos chamados pelos usuários da biblioteca sobre a instância `Postagem`, mas eles não precisam gerenciar as alterações de estados diretamente. Além disso, usuários não podem cometer erros nos estados, como publicar uma postagem antes de revisá-la.

Definindo `Postagem` e criando uma nova instância no estado de rascunho

Vamos começar a implementação da biblioteca! Sabemos que precisamos da estrutura pública `Postagem` que contenha algum conteúdo, por isso começaremos com a definição da estrutura e a função pública `new` associada para criar uma instância de `Postagem`, como mostra a Listagem 17-12. Também faremos um `trait` privado `Estado`. Então o `Postagem` conterá um objeto `trait Box<Estado>` dentro de um `Option` em um campo privado, chamado `estado`. Você verá porquê o `Option` é necessário.

O `trait Estado` define o comportamento compartilhado por diferentes estados de postagem e os estados `Rascunho`, `RevisaoPendente` e `Publicado` implementarão todos os `trait Estado`. Por enquanto, o `trait` não tem nenhum método; e começaremos definindo apenas o estado `Rascunho`, porque esse é o estado em que queremos uma postagem inicialmente:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub struct Postagem {
    estado: Option<Box<Estado>>,
    conteudo: String,
}

impl Postagem {
    pub fn new() -> Postagem {
        Postagem {
            estado: Some(Box::new(Rascunho {})),
            conteudo: String::new(),
        }
    }
}

trait Estado {}

struct Rascunho {}

impl Estado for Rascunho {}
```

Listagem 17-12: Definição da estrutura `Postagem` e a função `new`, que cria uma nova instância de `Postagem`, um `trait Estado` e uma estrutura `Rascunho`

Quando criamos um novo `Postagem`, definimos seu campo `estado` como um valor `Some`, que conterá um `Box`. Este `Box` aponta para uma nova instância da estrutura `Rascunho`. Isso garante que sempre criamos uma nova instância de `Postagem`, ela começará como um rascunho. Como o campo `estado` do `Postagem` é privado, não há como criar um `Postagem` em qualquer outro estado!

Armazenando o texto do conteúdo do post

Na função `Postagem::new`, definimos o campo `conteudo` como uma novo `String` vazia. Listagem 17-11 mostrou que queremos poder chamar o método chamado `add_texto` e passar um `&str` que é então adicionado ao conteúdo do texto da postagem do blog. Implementamos isso como uma método, em vez de expor o campo `conteudo` como `pub`. Isso significa que podemos implementar um método posteriormente que controlará como os dados do campo `conteudo` são lidos. O método `add_texto` é bastante direto, então vamos adicionar a implementação na Listagem 17-13 ao bloco `impl Postagem`:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
impl Postagem {  
    // --recorte--  
    pub fn add_texto(&mut self, text: &str) {  
        self.conteudo.push_str(text);  
    }  
}
```

Listagem 17-13: Implementando o método `add_texto` para adicionar o texto ao `conteudo` da postagem

O método `add_texto` usa uma referência mutável ao `self`, porque estamos mudando a instância `Postagem` que estamos chamando a partir de `add_texto`. Então chamamos `push_str` na `String` em `conteudo` e passamos o argumento `text` para adicionar ao `conteudo` salvo. Esse comportamento não depende do estado em que a postagem está, portanto, não faz parte do padrão de estados. O método `add_texto` não interage com o campo `estado`, mas faz parte do comportamento que queremos suportar.

Garantindo que o conteúdo de um rascunho de postagem esteja vazio

Mesmo depois que chamamos `add_texto` e adicionamos algum conteúdo para nossa postagem, ainda queremos que o método `conteudo` retorne um pedaço de string vazia, porque a postagem ainda está no estado de rascunho, como mostrado na linha 8 da Listagem 17-11. Por hora, vamos implementar o método `conteudo` com a coisa mais simples que atenderá a esse requisito: sempre retornando um pedaço de string vazia. Mudaremos isso mais tarde, quando implementaremos a possibilidade de mudar o estado de uma postagem para que ela possa ser publicada. Até agora, postagens apenas podem estar no estado de rascunho, portanto, o conteúdo da publicação deve estar vazio. Listagem 17-14 mostra essa implementação substituta:

Arquivo: src/lib.rs

```
impl Postagem {  
    // --recorte--  
    pub fn conteudo(&self) -> &str {  
        ""  
    }  
}
```

Listagem 17-14: Adicionando temporária para o método `conteudo` do `Postagem` que sempre retorna uma string vazia

Como o método `conteudo` adicionado, tudo na Listagem 17-11 até a linha 8 funciona como pretendido.

Solicitando uma revisão da postagem que altera seu estado

Em seguida, nós precisamos adicionar funcionalidade para solicitar uma revisão da postagem, que deve mudar seu estado de `Rascunho` para `RevisaoPendente`. Listagem 17-15 mostra este código:

Arquivo: src/lib.rs

```

impl Postagem {
    // --recorte--
    pub fn solicitar_revisao(&mut self) {
        if let Some(s) = self.estado.take() {
            self.estado = Some(s.solicitar_revisao())
        }
    }
}

trait Estado {
    fn solicitar_revisao(self: Box<Self>) -> Box<Estado>;
}

struct Rascunho {}

impl Estado for Rascunho {
    fn solicitar_revisao(self: Box<Self>) -> Box<Estado> {
        Box::new(RevisaoPendente {})
    }
}

struct RevisaoPendente {}

impl Estado for RevisaoPendente {
    fn solicitar_revisao(self: Box<Self>) -> Box<Estado> {
        self
    }
}

```

Listagem 17-15: Implementando método `solicitar_revisao` no `Postagem` e no `trait Estado`

Nós fornecemos ao `Postagem` um método público chamado `solicitar_revisao` que irá tornar uma referência mutável para `self`. Em seguida, chamamos internamente o método `solicitar_revisao` do estado atual do `Postagem` e esse segundo método `solicitar_revisao` consome o estado atual e retorna um novo estado.

Adicionamos o método `solicitar_revisao` para o `trait Estado`; todos os tipos que implementam o `trait`, agora precisarão implementar o método `solicitar_revisao`. Note que em vez de ter `self`, `&self` ou `&mut self` como primeiro parâmetro do método, temos `self: Box<Self>`. Essa sintaxe significa que o método é apenas válido quando chamado em um `Box` contendo o tipo. Essa sintaxe apropria-se do `Box<Self>`, invalidando o antigo estado para que o valor de estado do `Postagem` possa se transformar em um novo estado.

Para consumir o antigo estado, o método `solicitar_revisao` precisa apropriar-se do valor do estado. Este é o lugar onde o `Option` no campo `estado` do `Postagem`: chamamos o

método `take` para tirar o valor de `Some` do campo `estado` e deixar um `None` no lugar, porque Rust não nos permite ter campos não preenchidos nas estruturas. Isso nos permite mover o valor do `estado` para fora do `Postagem` em vez de pedir emprestado. Em seguida, definiremos o valor do `estado` da postagem como resultado da operação.

Precisamos definir o `estado` como `None` temporariamente em vez de configurá-la diretamente com o código `self.estado = self.estado.solicitar_revisao();` para obter a posse do valor de `estado`. Isso garante que o `Postagem` não pode usar o antigo valor do `estado` depois de transformá-lo em um novo estado.

O método `solicitar_revisao` no `Rascunho` precisa retornar uma nova instância em caixa de uma nova estrutura `RevisaoPendente`, que representa o estado quando uma postagem está aguardando uma revisão. A estrutura `RevisaoPendente` também implementa o método `solicitar_revisao`, mas não faz nenhuma transformação. Em vez disso, ele retorna a si mesmo, porque quando solicitamos uma revisão em uma publicação já no estado `RevisaoPendente`, ele deve permanecer no estado `RevisaoPendente`.

Agora podemos começar a ver as vantagens do padrão de estados: o método `solicitar_revisao` no `Postagem` é o mesmo, não importa seu valor `estado`. Cada estado é responsável por suas próprias regras.

Deixaremos o método `conteudo` do `Postagem` como está, retornando uma string vazia. Agora podemos ter um `Postagem` no estado `RevisaoPendente`, bem como no estado `Rascunho`, mas queremos o mesmo comportamento no estado `RevisaoPendente`. Listagem 17-11 agora funciona até a linha 11!

Adicionando o método `aprovar` que muda o comportamento do `conteudo`

O método `aprovar` será semelhante ao método `solicitar_revisao`: ele definirá `estado` com um valor que o estado atual diz que deve ter quando esse estado é aprovado, como mostra a Listagem 17-16:

Arquivo: `src/lib.rs`

```

impl Postagem {
    // --recorte--
    pub fn aprovar(&mut self) {
        if let Some(s) = self.estado.take() {
            self.estado = Some(s.aprovar())
        }
    }
}

trait Estado {
    fn solicitar_revisao(self: Box<Self>) -> Box<Estado>;
    fn aprovar(self: Box<Self>) -> Box<Estado>;
}

struct Rascunho {}

impl Estado for Rascunho {
    // --recorte--
    fn aprovar(self: Box<Self>) -> Box<Estado> {
        self
    }
}

struct RevisaoPendente {}

impl Estado for RevisaoPendente {
    // --recorte--
    fn aprovar(self: Box<Self>) -> Box<Estado> {
        Box::new(Publicado {})
    }
}

struct Publicado {}

impl Estado for Publicado {
    fn solicitar_revisao(self: Box<Self>) -> Box<Estado> {
        self
    }

    fn aprovar(self: Box<Self>) -> Box<Estado> {
        self
    }
}

```

Listagem 17-16: Implementando o método `aprovar` no `Postagem` e o `trait Estado`

Adicionamos o método `aprovar` para o `trait Estado` e adicionamos uma nova estrutura que implementa `Estado`, o estado `Publicado`.

Semelhante ao `solicitar_revisao`, se chamarmos o método `aprovar` no `Rascunho`, ele

não terá efeito, porque ele retornará `self`. Quando chamamos `aprovar` do `RevisaoPendente`, ele retorna uma nova instância em caixa da estrutura `Publicado`. A estrutura `Publicado` implementa o trait `Estado` e, tanto para o método `solicitar_revisao` quanto para o `aprovar`, ele retorna si próprio., porque a postagem deve permanecer no estado `Publicado` nesses casos.

Agora, precisamos atualizar o método `conteudo` do `Postagem`: se o estado for `Publicado`, queremos que retorne o valor do campo `conteudo` da publicação; caso contrário, queremos que retorne uma string vazia, como mostra a Listagem 17-17:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
impl Postagem {
    // --recorte--
    pub fn conteudo(&self) -> &str {
        self.estado.as_ref().unwrap().conteudo(&self)
    }
    // --recorte--
}
```

Listagem 17-17: Atualizando o método `conteudo` do `Postagem` para encarregar o método `conteudo` em `Estado`

Porque o objetivo é manter todas essas regras dentro das estruturas que implementam `Estado`, chamamos o método `conteudo` no valor em `estado` e passamos a instância da postagem (que é, `self`) como um argumento. Então retornamos o valor que é retornado usando o método `conteudo` do valor do `estado`.

Nós chamamos o método `as_ref` do `Option` porque queremos uma referência ao valor do `Option` em vez da propriedade do valor. Como `estado` é um `Option<Box<Estado>>`, quando chamamos `as_ref`, um `Option<Box<Estado>>` é retornado. Se não chamarmos `as_ref`, receberíamos um erro, porque não podemos obter `estado` emprestado do `&self` do parâmetro da função.

Então chamamos o método `unwrap`, que sabemos que nunca vai entrar em pânico, porque sabemos que os métodos em `Postagem` garantem que o `estado` sempre conterá um valor `Some` quando esses métodos forem realizados. Esse é um dos casos sobre os quais falamos na seção "Casos em que Você Tem Mais Informação Que o Compilador" do Capítulo 9, quando sabemos que um valor `None` nunca é possível, mesmo que o compilador não consiga entender isso.

Nesse momento, quando chamamos `conteudo` no `&Box<Estado>`, a coerção `deref` terá

efeito no `&` e no `Nox`, então finalmente o método `conteudo` é chamado no tipo que implementa o trait `Estado`. Isso significa que precisamos adicionar `conteudo` à definição do trait `Estado` e que é onde colocaremos a lógica de qual conteúdo retornar, dependendo do estado que temos, como mostra a Listagem 17-18:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
trait Estado {
    // --recorte--
    fn conteudo<'a>(&self, post: &'a Postagem) -> &'a str {
        ""
    }
}

// --recorte--
struct Publicado {}

impl Estado for Publicado {
    // --recorte--
    fn conteudo<'a>(&self, post: &'a Postagem) -> &'a str {
        &post.conteudo
    }
}
```

Listagem 17-18: Adicionando o método `conteudo` ao trait `Estado`

Adicionamos uma implementação padrão para o método `conteudo`, que retorna uma string vazia. Isso significa que não precisamos implementar `conteudo` nas estruturas `Rascunho` e `RevisaoPendente`. A estrutura `Publicado` irá sobrepor o método `conteudo` e retornar o valor do `post.conteudo`.

Observe que precisamos anotações de vida útil nesse método, como discutimos no Capítulo 10. Estamos fazendo uma referência a um `post` como argumento e retornando uma referência a parte desse `post`, então o tempo de vida útil da referência retornada é relacionada ao tempo de vida útil do argumento `post`.

E estamos prontos - tudo da Listagem 17-11 agora funcionam! Nós implementamos o padrão de estados com as regras do fluxo de trabalho da postagem no blog. A lógica relacionada às regras vive nos objetos de estados, em vez de estar espalhada por todo o `Postagem`.

Vantagens e desvantagens do padrão de estados

Mostramos que o Rust é capaz de implementar o padrão de estado orientação a objetos para encapsular os diferentes tipos de comportamentos que um post deve ter em cada estado. Os métodos do `Postagem` não sabem nada sobre os vários comportamentos. A maneira como organizamos o código, nós só temos de procurar num só lugar pra conhecer as diferentes formas como uma postagem pode comportar-se: a implementação do `trait Estado` na estrutura `Publicado`.

Se fôssemos criar uma implementação alternativa que não usasse o padrão de estados, poderíamos usar instruções `match` nos métodos do `Postagem` ou mesmo no código `main`, que verifica o estado da postagem e muda o comportamento nesses locais. Isso significaria que teríamos que procurar em vários lugares para entender todas as implicações de uma postagem estar no estado publicado! Isso só aumentaria o número de estados que adicionamos: cada uma dessas instruções `match` precisaria de outra ramificação.

Com o padrão de de estados, os métodos de `Postagem` e os locais que usam `Postagem` não precisam da instrução `match` e para adicionar um novo estado, apenas precisamos adicionar uma nova estrutura e implementar os métodos `trait` nessa estrutura.

A implementação usando o padrão de estados é fácil de estender para adicionar mais funcionalidades. Para ver a simplicidade de manter o código que usa padrão de estados, tente usar essas sugestões:

- Adicionar um método `reject` que altere o estado de postagem de `RevisaoPendente` de volta para `Rascunho`.
- Requer duas chamadas para `aprovar` antes que o estado possa ser alterado para `Publicado`.
- Permitir que os usuários adicionem conteúdo de texto somente quando uma postagem estiver no estado `Rascunho`. Dica: Ter o objeto de estado responsável pelo que pode mudar sobre o conteúdo, mas não responsável por modificar o `Postagem`.

Uma desvantagem do padrão de estados é que como os estados implementam as transições entre estados, alguns dos estados estão acoplados uns aos outros. Se adicionarmos outros estados entre `RevisaoPendente` e `Publicado`, como um `Scheduled`, teríamos que mudar o código de `RevisaoPendente` para fazer a transição para `Scheduled`. Seria menos trabalhoso se `RevisaoPendente` não precisasse de mudanças com a adição de um novo estado, mas isso significaria mudar para outro padrão de projetos.

Outra desvantagem é que nós duplicamos algumas lógicas. Para eleminar parte da duplicação, podemos tentar fazer a implementação padrão dos métodos `solicitar_revisao` e `aprovar` no `trait Estado`, que retorna `self`; no entanto, isso violaria a segurança dos objetos, porque o `trait` não sabe exatamente o que é o `self` concreto. Queremos que seja possível usar `Estado` como um objeto `trait`, então precisamos que seus

métodos sejam objetos seguros.

Outra duplicação inclui a implementação semelhante dos métodos `solicitar_revisao` e `aprovar` do `Postagem`. Ambos os métodos delegam a implementação do mesmo método sobre o valor do campo `estado` do `Option` e definem o novo valor do campo `estado` para o resultado. Se tivéssemos muitos métodos no `Postagem` que seguissem esse padrão, poderíamos considerar a definição de uma macro para eliminar a repetição (veja o Apêndice D, Macros).

Ao implementar o padrão de estados exatamente como ele é definido para linguagens orientada a objetos, não estamos aproveitando ao máximo os pontos fortes do Rust como poderíamos. Vamos ver algumas mudanças que podemos fazer no `crate blog`, que pode tornar estados e transições inválidas em erros em tempo de compilação.

Codificando estados e comportamento como tipo

Mostraremos como repensar o padrão de estados para obter um conjunto diferente de compensações. Em vez de encapsular completamente os estados e transições para que o código externo não tenha conhecimento dele, codificaremos os estados em diferentes tipos. Consequentemente, o sistema de verificação de tipo do Rust impedirá que as tentativas de usar mensagens de rascunho, em que apenas as postagens publicadas sejam permitidas, emitem um erro do compilador.

Vamos considerar a primeira parte do `main` na Listagem 17-11:

Arquivo: `src/main.rs`

```
fn main() {  
    let mut post = Postagem::new();  
  
    post.add_texto("Eu comi uma salada no almoço de hoje");  
    assert_eq!("", post.conteudo());  
}
```

Ainda permitimos a criação de novas postagens no estado de rascunho, usando `Postagem::new` e a capacidade de adicionar texto ao conteúdo da postagem. Mas em vez de ter um método `conteudo` em um rascunho, que retorna uma string vazia, vamos fazer com que as mensagens de rascunho não tenham o método `conteudo`. Dessa forma, se tentarmos pegar o conteúdo de uma postagem de rascunho, receberemos um erro do compilador informando que o método não existe. Como resultado, será possível exibir, acidentalmente, o conteúdo do rascunho em produção, porque esse código nem será compilado. Listagem 17-19 mostra a definição de uma estrutura `Postagem`, uma estrutura

`RascunhoPostagem` e métodos em cada um deles:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
pub struct Postagem {
    conteudo: String,
}

pub struct RascunhoPostagem {
    conteudo: String,
}

impl Postagem {
    pub fn new() -> RascunhoPostagem {
        RascunhoPostagem {
            conteudo: String::new(),
        }
    }

    pub fn conteudo(&self) -> &str {
        &self.conteudo
    }
}

impl RascunhoPostagem {
    pub fn add_texto(&mut self, text: &str) {
        self.conteudo.push_str(text);
    }
}
```

Arquivo 17-19: Uma `Postagem` com um método `conteudo` e um `RascunhoPostagem` sem um método `conteudo`

Ambas as estruturas `Postagem` e `RascunhoPostagem` têm um campo `conteudo` privado, que armazena o texto da postagem do blog. As estruturas não têm mais o campo `estado` porque estamos movendo a codificação do estado para os tipos de cada estrutura. A estrutura `Postagem` representará uma postagem publicada e tem um método `conteudo` que retorna o `conteudo`.

Nós ainda temos uma função `Postagem::new`, mas ao invés de retornar uma instância de `Postagem`, ela retorna uma instância de `RascunhoPostagem`. Como `conteudo` é privado e não há nenhuma função que retorne `Postagem`, não é possível criar uma instância de `Postagem` agora.

A estrutura `RascunhoPostagem` tem um método `add_texto` para que possamos adicionar texto ao `conteudo` como antes, mas note que `RascunhoPostagem` não possui um método

conteúdo definido! Então, agora, o programa garante que todas as postagens iniciem como rascunhos e, rascunho não têm seu conteúdo disponível para exibição. Qualquer tentativa de contornar essas restrições resultará em um erro de compilador.

Implementando transações como transformações em diferentes tipos

Então, como conseguimos uma publicar uma postagem? Queremos impor a regra de que um rascunho tenha de ser revisada e aprovada antes dela poder ser publicada. Uma postagem no estado de revisão pendente ainda não deve exibir nenhum conteúdo. Vamos implementar essas restrições adicionando outra estrutura, `RevisaoPendentePostagem`, definindo o método `solicitar_revisao` no `RascunhoPostagem` para retornar um `RevisaoPendentePostagem` e definindo um método `aprovar` no `RevisaoPendentePostagem` para retornar um `Postagem`, como mostra a Listagem 17-20:

Arquivo: `src/lib.rs`

```
impl RascunhoPostagem {
    // --recorte--

    pub fn solicitar_revisao(self) -> RevisaoPendentePostagem {
        RevisaoPendentePostagem {
            conteudo: self.conteudo,
        }
    }
}

pub struct RevisaoPendentePostagem {
    conteudo: String,
}

impl RevisaoPendentePostagem {
    pub fn aprovar(self) -> Postagem {
        Postagem {
            conteudo: self.conteudo,
        }
    }
}
```

Listagem 17-20: Uma `RevisaoPendentePostagem` que é criado chamando `solicitar_revisao` no `RascunhoPostagem` e um método `aprovar` que transforma um `RevisaoPendentePostagem` em um `Postagem` publicado

Os métodos `solicitar_revisao` e `aprovar` tomam posse do `self`, consumindo as instâncias `RascunhoPostagem` e `RevisaoPendentePostagem` e transformando-os em `RevisaoPendentePostagem` e `Postagem` publicado respectivamente. Dessa forma, não

teremos instâncias `RascunhoPostagem` remanescentes após chamarmos `solicitar_revisao` e, assim por diante. A estrutura `RevisaoPendentePostagem` não tem um método `conteudo` definido dele, portanto, tentar ler seu conteúdo resulta em um erro do compilador. como em `RascunhoPostagem`. Porque o único modo de ter uma instância pública de `Postagem` que tenha um método `conteudo` definido é chamar o método `aprovar` em `RevisaoPendentePostagem` e a única maneira de obter `RevisaoPendentePostagem` é chamar o método `solicitar_revisao` em `RascunhoPostagem`, agora codificamos o fluxo de trabalho da postagem do blog em um sistema de tipos.

Mas também temos que fazer algumas pequenas mudanças no `main`. Os métodos `solicitar_revisao` e `aprovar` retornam novas instâncias em vez de modificar a estrutura para qual são chamadas, então precisamos adicionar mais `let post` shadowing para salvar as instâncias retornadas. Também não temos certeza se o conteúdo do rascunho e da postagem em revisão é uma string vazia, nem precisamos delas: não podemos compilar código que tente usar o conteúdo da postagem nesses estados. O código atualizado na `main` é mostradp na Listagem 17-21:

Arquivo: `src/main.rs`

```
extern crate blog;
use blog::Postagem;

fn main() {
    let mut post = Postagem::new();

    post.add_texto("Eu comi uma salada no almoço de hoje");

    let post = post.solicitar_revisao();

    let post = post.aprovar();

    assert_eq!("Eu comi uma salada no almoço de hoje", post.conteudo());
}
```

Listagem 17-21: Modificações na `main` para usar a nova implementação do fluxo de trabalho da postagem no blog

As mudanças que precisamos fazer na `main` reatribuir `post`, o que significa que essa implementação não segue mais o padrão de estados orientado a objetos: as transformações entre os estados não são mais encapsuladas inteiramente dentro da implementação do `Postagem`. No entanto, nosso ganho é que estados inválidos agora são impossíveis por causa do sistema de tipos e a verificação de tipos que acontecem em tempo de compilação! Isso garante que certos bugs, como o conteúdo de uma postagem não publicada sendo exibida, será descoberta antes de chegar em produção.

Experimente as tarefas sugeridas como requisitos adicionais que mencionamos no início dessa seção sobre o crate `blog` como está após a Listagem 17-20 para ver o que você acha sobre o design desta versão do código. Observe que algumas tarefas podem ser concluídas já neste design!

Vimos que, embora o Rust seja capaz de implementar o padrão de projetos orientado a objetos, outros padrões, como codificar estados em sistema de tipos, também estão disponíveis. Esses padrões têm diferentes vantagens e desvantagens. Apesar de você poder estar bastante familiarizado com o padrão orientado a objetos, repensar o problema para aproveitar os recursos do Rust pode fornecer benefícios, como evitar alguns bugs em tempo de compilação. Padrões orientados a objetos nem sempre serão a melhor solução em Rust devido certos recursos, como propriedade, que as linguagens orientadas a objetos não têm.

Resumo

Não importa se você acha que Rust é uma linguagem orientada a objetos depois de ler este capítulo, você agora sabe que pode usar objetos trait para obter alguns recursos orientado a objetos em Rust. O despacho dinâmico pode dar ao seu código alguma flexibilidade em troca de um pouco de desempenho em tempo de execução. Você pode usar essa flexibilidade para implementar padrão orientado a objetos que podem ajudar na manutenção de seu código. Rust também tem outros recursos, como propriedade, que linguagens orientadas a objetos não têm. Um padrão orientado a objetos nem sempre é a melhor maneira de aproveitar os pontos fortes do Rust, mas é uma opção disponível.

Em seguida, veremos os padrões, que são outros dos recursos que permitem muita flexibilidade. Veremos brevemente eles ao longo do livro, mas ainda não vimos a capacidade total deles. Vamos lá!

Patterns

More Lifetimes

Advanced Type System Features

Appendix

Keywords

Operators

Derivable Traits

Nightly Rust

Macros

Apêndice G - Como é feito o Rust e o "Rust Nightly"

Este apêndice é sobre como o Rust é feito e como isso afeta você como um desenvolvedor Rust. Mencionamos que a saída deste livro foi gerada pelo Rust estável (*Stable*) na versão 1.21.0, mas todos os exemplos que compilam devem continuar sendo compilados em qualquer versão estável do Rust mais recente. Esta seção explica como garantimos que isso seja verdade!

Estabilidade sem estagnação

Como linguagem, o Rust se preocupa muito com a estabilidade do seu código. Queremos que o Rust seja uma base sólida sobre a qual você possa construir, e se as coisas estivessem mudando constantemente, isso seria impossível. Ao mesmo tempo, se não pudermos experimentar novos recursos, poderemos descobrir falhas importantes somente após o lançamento, quando não podemos mais mudar as coisas.

Nossa solução para esse problema é o que chamamos de "estabilidade sem estagnação", e somos guiados pelo seguinte princípio: você nunca deve ter medo de atualizar para uma nova versão do Rust. Cada atualização deve ser indolor, mas também deve trazer novos recursos, menos bugs e tempos de compilação mais rápidos.

Tchu, Tchu! Canais de *Release* e Passeios de Trem

O desenvolvimento do Rust opera em um "*train scheduler*" (Horário de trem). Isto é, todo o desenvolvimento é feito na *branch master* do repositório do Rust. As versões seguem um modelo de trem de liberação de software (*train model*) que têm sido usado pela Cisco IOS e outros projetos de software. Existem três canais de *release* para o Rust.

- Nightly
- Beta
- Stable (Estável)

A maioria dos desenvolvedores Rust usa principalmente o canal estável (*Stable*), mas aqueles que desejam usar novos recursos experimentais podem usar o *Nightly* ou o *Beta*.

Aqui está um exemplo de como o processo de desenvolvimento e lançamento (*release*) funciona: vamos supor que a equipe do Rust esteja trabalhando no lançamento do Rust 1.5. Esse lançamento ocorreu em dezembro de 2015, mas nos fornecerá números de versão realistas. Um novo recurso foi adicionado ao Rust: um novo commit é feito na *branch master*. Todas as noites, uma nova versão *Nightly* do Rust é produzida. Todo dia é um dia de lançamento e esses lançamentos são criados automaticamente por nossa infraestrutura de lançamento. Assim, com o passar do tempo, nossos lançamentos ficam assim, uma vez por noite:

```
nightly: * - - * - - *
```

A cada seis semanas, chega a hora de preparar uma nova *release*! A *branch beta* do repositório do Rust é ramificada a partir da *branch master* usada pelo *Nightly*. Agora existem duas *releases*.

```
nightly: * - - * - - *
          |
beta:    *
```

A maioria dos usuários do Rust não usa ativamente as versões beta, mas faz testes com versões beta no sistema de IC (integração contínua) para ajudar o Rust a descobrir possíveis regressões. Enquanto isso, ainda há uma *release* todas as noites:

```
nightly: * - - * - - * - - * - - *
          |
beta:    *
```

Agora digamos que uma regressão seja encontrada. Ainda bem que tivemos algum tempo para testar a versão beta antes da regressão se tornar uma versão estável! A correção é aplicada à *branch master*, de modo que todas as noites é corrigida e, em seguida, a correção é portada para a *branch beta*, e uma nova versão beta é produzida:

```

nightly: * - - * - - * - - * - - * - - *
          |
beta:    * - - - - - - - - *

```

Seis semanas depois da criação da primeira versão beta, é hora de uma versão estável! A *branch* `stable` é produzida a partir da *branch* `beta`:

```

nightly: * - - * - - * - - * - - * - - * - * - *
          |
beta:    * - - - - - - - - *
                                     |
stable:                                     *

```

Viva! Rust 1.5 está feito! No entanto, esquecemos uma coisa: como as seis semanas se passaram, também precisamos de uma nova versão beta da *próxima* versão do Rust, 1.6. Então, depois que a *branch* `stable` é criada a partir da `beta`, a próxima versão da `beta` é criada a partir da `nightly` novamente:

```

nightly: * - - * - - * - - * - - * - - * - * - *
          |                                     |
beta:    * - - - - - - - - *                 *
                                     |
stable:                                     *

```

Isso é chamado de "*train model*" (modelo de trem) porque a cada seis semanas, uma *release* "sai da estação", mas ainda precisa percorrer o canal beta antes de chegar como uma *release* estável.

O Rust é lançando a cada seis semanas, como um relógio. Se você souber a data de um lançamento do Rust, poderá saber a data do próximo: seis semanas depois. Um aspecto interessante de ter lançamentos agendados a cada seis semanas é que o próximo trem estará chegando em breve. Se um recurso falhar em uma versão específica, não há necessidade de se preocupar: outra está acontecendo em pouco tempo! Isso ajuda a reduzir a pressão para ocultar recursos possivelmente "não polidos" perto do prazo de lançamento.

Graças a esse processo, você sempre pode verificar a próxima versão do Rust e verificar por si mesmo que é fácil fazer uma atualização para a mesma: se uma versão beta não funcionar conforme o esperado, você pode reportar à equipe e ter isso corrigido antes do próximo lançamento estável! A quebra de uma versão beta é relativamente rara, mas o `rustc` ainda é um software, e bugs existem.

Recursos instáveis

Há mais um problema neste modelo de lançamento: recursos instáveis. O Rust usa uma técnica chamada "sinalizadores de recursos" para determinar quais recursos estão ativados em uma determinada *release*. Se um novo recurso estiver em desenvolvimento ativo, ele pousará na *branch master* e, logo, no *Nightly*, mas atrás de um sinalizador de recurso. Se você, como usuário, deseja experimentar o recurso de trabalho em andamento, pode, mas deve estar usando uma versão *Nightly* do Rust e anotar seu código-fonte com o sinalizador apropriado para ativar.

Se você estiver usando uma versão beta ou estável do Rust, você não pode usar qualquer sinalizador de recurso. Essa é a chave que nos permite usar de forma prática os novos recursos antes de declará-los estáveis para sempre. Aqueles que desejam optar pelo que há de mais moderno podem fazê-lo, e aqueles que desejam uma experiência sólida podem se manter estáveis sabendo que seu código não será quebrado. Estabilidade sem estagnação.

Este livro contém informações apenas sobre recursos estáveis, pois os recursos em desenvolvimento ainda estão sendo alterados e certamente serão diferentes entre quando este livro foi escrito e quando eles forem ativados em compilações estáveis. Você pode encontrar documentação on-line para recursos exclusivos do *Nightly* (*nightly-only*).

O Rustup e o papel do *Rust Nightly*

O Rustup facilita a troca entre os diferentes canais de *release* do Rust, global ou por projeto. Para instalar o *Rust Nightly*, por exemplo:

```
$ rustup install nightly
```

Você pode ver todos os *toolchains* (versões do Rust e componentes associados) instalados com o `rustup` também. Veja um exemplo nos computadores de seus autores:

```
> rustup toolchain list
stable-x86_64-pc-windows-msvc (default)
beta-x86_64-pc-windows-msvc
nightly-x86_64-pc-windows-msvc
```

Como pode ver, o *toolchain* estável (*Stable*) é o padrão. A maioria dos usuários do Rust usa o estável na maioria das vezes. Você pode querer usar o estável na maioria das vezes, mas usará o *Nightly* em um projeto específico por se preocupar com um recurso de ponta. Para fazer isso, você pode usar `rustup override` no diretório desse projeto para definir que o *toolchain* do *Nightly* deve ser usado quando o `rustup` for usado nesse diretório.

```
$ cd ~/projects/needs-nightly
$ rustup override add nightly
```

Agora, toda que chamar `rustc` ou `cargo` dentro de `~/projects/needs-nightly`, o `rustup` irá garantir que você esteja usando o *Rust Nightly* ao invés do padrão *Rust Stable*. Isso é útil quando você tem muitos projetos em Rust.

O Processo de RFC e Equipes

Então, como você aprende sobre esses novos recursos? O modelo de desenvolvimento da Rust segue um processo de solicitação de comentários (RFC). Se você deseja uma melhoria no Rust, pode escrever uma proposta, chamada RFC (Request For Comments).

Qualquer um pode escrever RFCs para melhorar o Rust, e as propostas são revisadas e discutidas pela equipe do Rust, que é composta por muitas subequipes de tópicos. Há uma lista completa das equipes [no site do Rust](#), que inclui equipes para cada área do projeto: design de linguagem, implementação do compilador, infraestrutura, documentação e muito mais. A equipe apropriada lê a proposta e os comentários, escreve alguns comentários próprios e, eventualmente, há um consenso para aceitar ou rejeitar o recurso.

Se o recurso for aceito, uma *Issue* será aberta no repositório do Rust e alguém poderá implementá-lo. A pessoa que a implementa pode muito bem não ser a pessoa que propôs o recurso em primeiro lugar! Quando a implementação está pronta, ela chega à *branch master* atrás de um sinalizador de recurso, conforme discutimos na seção "Recursos instáveis".

Depois de algum tempo, assim que os desenvolvedores do Rust que usam versões *Nightly* puderem experimentar o novo recurso, os membros da equipe discutirão o recurso, como ele funciona no *Nightly* e decidirão se ele deve se tornar parte do Rust estável ou não. Se a decisão for sim, o portão do recurso será removido e o recurso agora será considerado estável! Ele entra no próximo trem para uma nova versão estável do Rust.