

Introdução à Linguagem Julia

Paradigmas de Linguagens de Programação

Daniel Brito dos Santos
Ausberto S. Castro Vera

29 de novembro de 2021

Copyright © 2021 Daniel Brito dos Santos e Ausberto S. Castro Vera

UENF - UNIVERSIDADE ESTADUAL DO NORTE FLUMINENSE DARCY RIBEIRO

CCT - CENTRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA

LCMAT - LABORATÓRIO DE MATEMÁTICAS

CC - CURSO DE CIÊNCIA DA COMPUTAÇÃO

Primeira edição, Maio 2019



Sumário

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | Introdução | 5 |
| 1.1 | Aspectos históricos da linguagem Julia | 7 |
| 1.2 | Áreas de aplicação da linguagem | 8 |
| 1.2.1 | Computação científica | 8 |
| 1.2.2 | Computação de alta performance | 9 |
| 1.2.3 | Uso geral | 9 |
| 2 | Conceitos básicos da Linguagem Julia | 11 |
| 2.1 | Preparação do ambiente | 11 |
| 2.1.1 | Pacotes e módulos | 12 |
| 2.1.2 | Sistema de ajuda | 14 |
| 2.2 | Considerações gerais sobre sintaxe | 15 |
| 2.3 | Tipos e estruturas de dados | 18 |
| 2.3.1 | Tipos simples | 20 |
| 2.3.2 | Operações básicas | 22 |
| 2.3.3 | Arrays | 22 |
| 2.3.4 | Strings | 24 |
| 2.3.5 | Tuplas e Tuplas Nomeadas | 25 |
| 2.3.6 | Dicionários | 26 |
| 2.3.7 | Sets | 26 |
| 2.3.8 | Números aleatórios | 27 |
| 2.3.9 | Valores Faltantes | 27 |
| 2.4 | Controle de fluxo e funções | 28 |
| 2.4.1 | Estrutura em bloco | 28 |
| 2.4.2 | Iteração repetida | 28 |
| 2.4.3 | Condicionais | 29 |

| | | |
|----------|--------------------------------------|-----------|
| 2.4.4 | Funções | 29 |
| 3 | Aplicações da linguagem | 31 |
| 3.1 | Quicksort | 31 |
| 3.2 | Calculadora | 32 |
| 3.3 | Plotagem (Iris data set) | 35 |
| 3.4 | Banco de Dados SQL lite | 38 |
| 3.5 | Julia Sets | 39 |
| 4 | Ferramentas | 41 |
| 4.1 | Visual Studio Code | 42 |
| 4.2 | Jupyter Notebook | 43 |
| 4.3 | Pluto | 44 |
| 5 | Considerações Finais | 47 |
| | Bibliografia | 50 |



1. Introdução

A linguagem Julia surgiu com o objetivo de solucionar o que seus criadores chamaram de "problema das duas linguagens" na computação científica [BKSE12a]. Ele se refere ao fato, detalhado por [Bal16], de muitos cientistas, engenheiros e matemáticos usarem uma linguagem flexível e amigável como Python, R, ou Matlab, que os permite focar no problema sendo investigado ao invés de detalhes de implementação computacional. Pois tais linguagens têm uma estrutura interna que permite uma sintaxe com maior nível de abstração, tornando a escrita de programas mais simples e expressiva [Fan04]. Porém, essa estrutura facilitadora tem um custo de performance muitas vezes proibitivo em relação aos programas escritos em linguagens como C e Fortran [NF15]. Dessa forma, segundo [Bal16], muitas vezes um fluxo de trabalho é desenvolvido em uma linguagem dinâmica com uma amostra dos dados para em seguida ser implementado em uma linguagem mais performática e só então exercer sua finalidade com a totalidade dos dados ou acessível ao usuário final, chamado ambiente de produção.

[Klo21] também aborda esse "problema das duas linguagens", em seu caso chamando de

Não obstante, segundo seus criadores, a linguagem que vislumbraram iria além de resolver o "problema das duas linguagens" dilema entre "velocidade de execução" e "velocidade de desenvolvimento" que [Klo21] menciona. Em seu artigo de lançamento eles afirmaram:

Criamos Julia, em resumo, porque somos gananciosos. Queremos uma linguagem open source com uma licença liberal. Queremos a velocidade de C com o dinamismo de Ruby. Uma linguagem homoiconica com macros verdadeiras como Lisp, mas com notação matemática óbvia e familiar como Matlab. Queremos algo tão geral quanto Python, tão fácil para estatística quanto R, tão natural para processamento de strings quanto Perl, tão poderoso para álgebra linear quanto Matlab e tão bom como cola de programas quanto shell. Algo estupidamente simples de aprender, e ainda assim deixe o mais sério dos hackers satisfeito. Queremos algo interativo e que seja compilado.

Mencionamos que deve ser tão rápida quanto C? [Why We Created Julia, 2012] [BKSE12b]

Assim, de acordo com [BEKS17], em 2012 foi lançada Julia, uma linguagem compilada para

código nativo eficiente, tipagem dinâmica, que permite expressar paradigmas procedural, funcional, orientação a objetos e metaprogramação. Além de suporte nativo e de alto nível ao paralelismo, alta integração com as extensas bibliotecas já disponíveis para as linguagens que a inspiraram, suporte a um subconjunto do unicode para nome de variáveis e funções, permitindo letras gregas e subscritos. Com código aberto e livre para uso privado, comercial, modificação e distribuição. Especialmente pensada na computação científica mas ainda assim de propósito geral e sim, praticamente tão rápida quanto C. [Lob19, BEKS17]

Nesse trabalho apresentamos uma breve introdução a linguagem Julia, sua história, principais aplicações, sintaxe e ecossistema.

1.1 Aspectos históricos da linguagem Julia

Figura 1.1: Criadores da linguagem Julia



Fonte: Julia Computing

Na Fig.1.1 vemos seus criadores da esquerda para a direita: Keno Fischer, Viral Shah, Stefan Karpinski, Alan Edelman, e Jeff Bezanson.

Assim como outras linguagens e construtos computacionais, muito de sua história tem pouco registro formal sendo a maior fonte seu site, blog e documentação oficiais, além de palestras em eventos técnicos e artigos jornalísticos, o que torna mais difícil uma reconstrução histórica precisa, não obstante, ressaltaremos os principais aspectos à seguir:

- O nome Julia não tem nenhum significado, foi apenas um nome sugerido por um amigo de Benzanson que os criadores acharam bonito. ¹
- O projeto da linguagem começou em 2009.
- Em 2012 foi lançada para a comunidade open source. Segundo os criadores com 90% das características que visionaram, inclusive inicialmente chamaram de Julia 1.0, mas posteriormente adiaram esse marco.
- Julia 0.3 foi lançada em agosto de 2014 com melhorias na performance, e nas bibliotecas padrão, além de grande expansão no ecossistema de pacotes.
- Julia 0.4 foi lançada em outubro de 2015 com refinamentos na linguagem e melhorias nas bibliotecas padrão, nesse momento haviam 700 pacotes registrados oficialmente.
- Nesse mesmo ano foi lançada a Julia Computing, Inc. considerando a necessidade de se ter uma companhia que oferecesse suporte, treinamento e consultoria na adoção da linguagem por big players.
- Julia 0.5 no outubro de 2016, trouxe como principal novidade remover o custo de performance ao utilizar as funções anônimas, clausura, e funções de primeira ordem, conceitos fundamentais da programação funcional que a linguagem suporta desde o início. Trouxe também suporte arquiteturas ARM e Power, multi threading experimental, e simplificação no tipo string, dentre outras.
- Julia 0.6 em junho 2017 com diversas pequenas mudanças tendo em vista aumentar a estabilidade e semântica da linguagem.
- Julia 1.0 dia oito de agosto de 2018, finalmente é lançada versão 1.0. Quase uma década de trabalho, mais de 700 pessoas contribuíram no código fonte, e milhares nos pacotes. Apresentou como principal característica a consolidação da linguagem, com essa base solidificada o foco passa a ser em construir sobre a fundação. Dentre as várias novidades podemos ressaltar o novo gerenciador de pacotes completamente refeito, representação canônica para missing values (valores faltantes) e tipo String seguro para dados arbitrários, o

¹<https://docs.julialang.org/en/v1/manual/faq/>

que permite trabalhar com dados do mundo real sem o risco de depois de horas ou dias de processamento um caractere inválido levar a uma falha geral.

- **Julia 1.5** apresentou grande otimização na forma como seus Structs são alocados no heap, novas melhorias no multithreading, a possibilidade de selecionar o nível de otimização em cada módulo de modo a diminuir a famigerada latência da primeira execução. nova macro para chamar funções de C, gerador de números aleatórios 6 vezes mais rápido, e padronização do protocolo pkg.
- **Julia 1.6** em março de 2021 apresentou principalmente avanços na consolidação da linguagem, com diversas melhorias em diferentes aspectos que de modo geral trouxeram mais robustez e eficiência.

1.2 Áreas de aplicação da linguagem

Júlia é atualmente utilizada por mais de 10 000 empresas, e 1 500 universidades, com 29 milhões de downloads e 87% de crescimento anual. (Julia Computing)

Seus criadores ganharam os prestigiados prêmios **MIT James H Wilkinson 2018** para Software Numérico e o **IEEE Sidney Fernbach 2019** por "avanços extraordinários na computação de alta performance, álgebra linear, computação científica e contribuições para a linguagem de programação Julia".

Considerando ainda sua flexibilidade, simplicidade e performance, não é surpresa que tem crescido exponencialmente na computação científica, na computação de alta performance e também como linguagem de propósito geral [Klo21]. A figura 1.2 mostra alguns dos principais clientes da linguagem.

Figura 1.2: Clientes da linguagem Julia



Fonte: Julia Computing

1.2.1 Computação científica

A computação científica consiste principalmente na análise e modelagem exploratória de determinado problema, o que necessita de um ferramental técnico específico e normalmente é feito por especialistas na área em questão. Nesse sentido, é fundamental que se tenha um ambiente adequado a prototipação, que suporte as demandas metodológicas e principalmente permita o máximo de expressividade do profissional de modo que ele não precise se especializar também em computação para desempenhar bem o seu trabalho. [KS00, WAB⁺14, PG07]

Júlia foi feita sob medida com esse propósito, suprimindo todas essas necessidades e ainda oferecendo uma notação matemática clara e intuitiva, com suporte nativo a construtos como matrizes, vetores, funções anônimas e de primeira ordem além das bibliotecas especializadas que

implementam os métodos necessários de estatística, álgebra linear, e equações diferenciais pra citar alguns exemplos. [Klo21]

Dessa forma temos visto um importante crescimento da linguagem nas áreas de Data Science, machine learning², economia³, pesquisa operacional, e todas as ciências naturais como biologia, e física. [Per19, UMZ⁺14]

1.2.2 Computação de alta performance

Outra área na qual Julia se destaca é a computação de alta performance. Temos exemplos notáveis de uso nas mais diversas indústrias como a financeira, farmacêutica⁴, médica, aeroespacial⁵ dentre várias outras.

Podemos destacar na indústria financeira a análise de séries temporais no fundo de investimentos BlackRock⁶, o cálculo de risco junto ao banco britânico Aviva⁷, modelos econômicos no Federal Reserve Bank of New York⁸, e em nosso próprio BNDS no manejo de quase um trilhão de reais com modelos de otimização estocástica multi-estágios⁹, em todas essas implementações houve um aumento em pelo menos 10x na velocidade de processamento, em boa parte dos casos reduzindo quase a metade o número de linhas de código, o que aumenta exponencialmente a legibilidade, diminui os erros e aumenta a produtividade dos desenvolvedores. Na Aviva chegou a reduzir 93% do código e aumentar em 1 000x a velocidade.

Ela também foi utilizada no projeto Celeste onde atingiu a performance de 1.54 petaFLOPS, e entrou para o seleto panteão das linguagens que alcançaram essa magnitude: Fortran, C, C++ e Julia.¹⁰

Não atoa foi selecionada pela Aliança de modelagem climática como a única linguagem na sua próxima geração de modelos climáticos. Além de ser utilizada pela NASA e pelo INPE brasileiro no planejamento de missão e simulação de satélites.¹¹

1.2.3 Uso geral

Apesar de ser particularmente utilizada em computação técnica, a linguagem Julia é de propósito geral, e também é utilizada em uma variedade de outras aplicações, como por exemplo para gerar sites estáticos por meio da biblioteca [Franklin.jl](#), interfaces cliente/servidor HTTP com [HTTP.jl](#), desenvolver aplicações gráficas com [Gtk.jl](#) ou binários multiplataforma para diversas arquiteturas com a [BinaryBuilder.jl](#)

Também é interessante notar seu salto da 43ª para a 26ª posição no [TIOBE index](#). Desse modo ela tem mostrado um crescimento orgânico e sustentável, mesmo com uma proposta tão ambiciosa e sendo ainda tão jovem. Assim, podemos esperar muitas novidades para o futuro, pois seu time original, agora expandido tanto em pessoas quanto em capital, tem recebido cada vez mais atenção na comunidade open source. Além dos incentivos das mais importantes entidades de programação numérica e da indústria.^{12 13}

²<https://juliacomputing.com/case-studies/princeton/>

³<https://juliacomputing.com/case-studies/thomas-sargent/>

⁴<https://juliacomputing.com/case-studies/astra-zeneca/>

⁵<https://juliacomputing.com/case-studies/celeste/>

⁶<https://juliacomputing.com/case-studies/blackrock/>

⁷<https://juliacomputing.com/case-studies/aviva/>

⁸<https://juliacomputing.com/case-studies/ny-fed/>

⁹<https://juliacomputing.com/case-studies/bndb/>

¹⁰<https://juliacomputing.com/media/2017/09/julia-joins-petaflop-club/>

¹¹<https://juliacomputing.com/case-studies/BrazilNationalInstituteofSpaceResearch/>

¹²<https://www.fortuneit.com/2021/07/19/julia-computing-raises-24m-in-series-a-former-snowflake-ceo-bob-muglia-joins-board/>

¹³<https://www.hpcwire.com/off-the-wire/julia-computing-receives-darpa-award-to-accelerate-electronics-simulation-by-1000x/>



2.1 Preparação do ambiente

Para executar código Julia, basta baixar e descompactar os arquivos binários no site oficial da linguagem. O arquivo executável apresenta o console de interpretação mostrado na figura 2.1 (também conhecido como "REPL - Read, Eval, Print, Loop") por onde é possível executar Julia tanto por linha de comando quanto por meio de scripts .jl. Também é possível utilizar diversos ambientes de desenvolvimento integrado que serão abordados alguns capítulos adiante.

Figura 2.1: REPL Julia

```
$ julia-1.6.2/bin/julia
```

```
(_)          | Documentation: https://docs.julialang.org  
      |      |  
      |      | Type "?" for help, "]"? for Pkg help.  
      |      |  
      |      | Version 1.6.2 (2021-07-14)  
      |      | Official https://julialang.org/ release  
      |      |  
|_/         |  
  
julia>
```

Fonte: Autor

2.1.1 Pacotes e módulos

Os criadores da linguagem escolheram construir um núcleo leve complementado por uma biblioteca padrão (Standard Library) distribuída junto dos binários, e um poderoso gerenciador de pacotes capaz de baixar (muitas vezes direto de repositórios GitHub), pré compilar, atualizar e resolver dependências de pacotes a partir de comandos simples.

Para acessar o gerenciador de pacotes podemos importar o módulo de pacotes (`import Pkg`) e executar os comandos no formato `Pkg.(ARGS)`. Demonstramos esse caso de uso na figura 2.2 onde executamos o comando para instalar o pacote Plots. Como o pacote já está instalado, o Pkg apenas o reconhece e não altera os pacotes. Também podemos utilizar o modo especial de pacotes no REPL que traz algumas facilidades como autocompletar por exemplo. Nesse caso, basta digitar "]" para entrar nesse modo especial do REPL, como mostrado na figura 2.3. Na figura 2.4 repetimos o comando para instalar a biblioteca Plots, dessa vez no REPL.

Figura 2.2: Utilizando o Pkg em scripts

```

1  import Pkg
2  Pkg.add("Plots")

Resolving package versions...
No Changes to `~/julia/environments/v1.6/Project.toml`
No Changes to `~/julia/environments/v1.6/Manifest.toml`

```

Fonte: Autor

Figura 2.3: REPL - modo pacotes

```

$ julia-1.6.2/bin/julia

Documentation: https://docs.julialang.org
Type "?" for help, "]"? for Pkg help.
Version 1.6.2 (2021-07-14)
Official https://julialang.org/ release

julia>
(@v1.6) pkg>

activate  free      instantiate  redo      status
add       gc          package     registry  test
build     generate    pin         remove    undo
develop  help         precompile  resolve   update
(@v1.6) pkg>

```

Fonte: Autor

Figura 2.4: Utilizando modo Pkg do REPL

```
(@v1.6) pkg> add Plots
  Updating registry at `~/.julia/registries/General`
  Resolving package versions...
  No Changes to `~/.julia/environments/v1.6/Project.toml`
  No Changes to `~/.julia/environments/v1.6/Manifest.toml`

(@v1.6) pkg> 
```

Fonte: Autor

Listamos a seguir alguns dos principais comandos do módulo Pkg. Em seguida demonstramos exemplos com o comando "status" tanto no modo especial de pacotes do REPL (figura 2.5) quanto em um exemplo de código Julia (figura 2.6):

- **status:** retorna uma lista (nome e versão) dos pacotes instalados localmente.
- **update:** atualiza o índice local de pacotes e os próprios pacotes para a versão mais recente.
- **add nomePacote:** automaticamente baixa e instala um pacote.
- **rm nomePacote:** remove o pacote e todas as suas dependências.

Figura 2.5: Pkg.status no modo de pacotes do REPL

```
(@v1.6) pkg> status
  Status `~/.julia/environments/v1.6/Project.toml`
 [537997a7] AbstractPlotting v0.18.3
 [336ed68f] CSV v0.9.10
 [5ae59095] Colors v0.12.8
 [a93c6f00] DataFrames v1.2.2
 [5721bf48] DataVoyager v1.0.2
 [9da27670] GameZero v0.2.1
 [4c0ca9eb] Gtk v1.1.9
 [7073ff75] IJulia v1.23.2
 [ee78f7c6] Makie v0.15.1
 [510215fc] Observables v0.4.0
 [91a5bcdd] Plots v1.23.5
 [c3e4b0f8] Pluto v0.17.1
 [0aa819cd] SQLite v1.3.0
 [f3b207a7] StatsPlots v0.14.28
```

Fonte: Autor

Figura 2.6: Pkg.status em código Julia

```
1 import Pkg
2 Pkg.status()

Status `~/julia/environments/v1.6/Project.toml`
[537997a7] AbstractPlotting v0.18.3
[336ed68f] CSV v0.9.10
[5ae59095] Colors v0.12.8
[a93c6f00] DataFrames v1.2.2
[5721bf48] DataVoyager v1.0.2
[9da27670] GameZero v0.2.1
[4c0ca9eb] Gtk v1.1.9
[7073ff75] IJulia v1.23.2
[ee78f7c6] Makie v0.15.1
[510215fc] Observables v0.4.0
[91a5bcdd] Plots v1.23.5
[c3e4b0f8] Pluto v0.17.1
[0aa819cd] SQLite v1.3.0
[f3b207a7] StatsPlots v0.14.28
```

Fonte: Autor

Uma vez instalado, para utilizar um pacote devemos utilizar um dos comandos seguintes:

- **use:** permite acessar diretamente as funções de um pacote, basta adicionar o comando (using nomePacote) no início do script.
- **import:** tem a mesma funcionalidade do use com a diferença de precisarmos nos referir ao nome completo da função (nomePacote.nomeFunção), o que tem a vantagem de manter a organização dos nomes. Via de regra, nesse caso definimos apelidos para os pacotes como por exemplo chamar o "Plots" de "pl"(const pl = Plots)

2.1.2 Sistema de ajuda

Além do sistema de pacotes, basta digitar "?" para acessar o modo especial de ajuda do REPL. Assim, acordo com a documentação do termo buscado o sistema de ajuda pode retornar sua lista de métodos, exemplos de uso, descrição, lista de argumentos ou termos ou ainda os termos relacionados, conforme podemos ver na figura 2.7.

Figura 2.7: REPL - modo ajuda

```

help?> push!()
push!(collection, items...) -> collection

Insert one or more items in collection. If collection is an ordered
container, the items are inserted at the end (in the given order).

Examples
=====

julia> push!([1, 2, 3], 4, 5, 6)
6-element Vector{Int64}:
 1
 2
 3
 4
 5
 6

If collection is ordered, use append! to add all the elements of another
collection to it. The result of the preceding example is equivalent to
append!([1, 2, 3], [4, 5, 6]). For AbstractSet objects, union! can be used
instead.

See sizehint! for notes about the performance model.

-----

push!(q::Deque{T}, x)

Add an element to the back

-----

push!(q::IntDisjointSet{T})

```

Fonte: Autor

2.2 Considerações gerais sobre sintaxe

A seguir listamos alguns pontos importantes da sintaxe de Julia.

- Podemos adicionar ao código comentários de uma linha (#) ou de múltiplas linhas (#= #) que podem ser aninhados e colocados em qualquer lugar como mostra a figura 2.2.
- Blocos não precisam de parênteses, utilizamos a palavra "end" para indicar o fim de um bloco, conforme figura 2.2.
- Espaços são sintaticamente significantes, indentação, não. (Fig 2.2).
- Nomes de variáveis aceitam um subconjunto dos símbolos Unicode como letras gregas e até emojis. (Fig 2.2)
- Vetores iniciam com o índice 1. (Fig 2.2)
- Por convenção, funções que podem alterar algum de seus argumentos têm um ponto de exclamação (!) no fim de seu nome. A função de ordenação (sort), por exemplo, recebe um vetor V desordenado e tem duas possibilidades: a função sort(V) retorna um vetor com os elementos de V ordenados, sem alterar o vetor V. Já a função sort!(V) ordena o próprio vetor, sem retorno. Podemos observar essa diferença na figura 2.2.
- O ponto e vírgula (;) é utilizado para suprimir o output de um comando ou acessar o shell (a partir do REPL) como apresentado na figura 2.2.

Figura 2.8: Comentários em Julia

```
1  #comentário de uma linha
2
3  #=comentário de
4  multiplas linhas
5  #=comentário dentro do comentário=#=#
6
```

Fonte: Autor

Figura 2.9: Blocos e indentação em Julia

```
1  #Exemplo de blocos (for e if)
2  for i in 1:10
3      if i % 2 == 0
4          print(i, " ")
5      end
6  end

2 4 6 8 10

1  #mesmo exemplo anterior sem indentação
2  for i in 1:10
3  if i % 2 == 0
4  print(i, " ")
5  end
6  end

2 4 6 8 10
```

Fonte: Autor

Figura 2.10: Supressão de output em REPL

```
1 a = 4;  
1 b = 7  
  
7
```

Fonte: Autor

Figura 2.11: Unicode nos nomes de variável

```
1 α = 45  
2 😊 = 42  
3 print(😊, " ", α)  
  
42 45
```

Fonte: Autor

Figura 2.12: Índices em Julia iniciam na posição 1

```
1 v = [4; 2; 3; 6; 26; 62; 8; 7;];  
2 print(v[1])  
  
4
```

Fonte: Autor

Figura 2.13: Diferença entre as funções `sort()` e `sort!()`

```
1 v = [4; 2; 3; 6; 26; 62; 8; 7];
2 print(v)

[4, 2, 3, 6, 26, 62, 8, 7]

1 println(sort(v))
2 println(v)

[2, 3, 4, 6, 7, 8, 26, 62]
[4, 2, 3, 6, 26, 62, 8, 7]

1 println(sort!(v))
2 println(v)

[2, 3, 4, 6, 7, 8, 26, 62]
[2, 3, 4, 6, 7, 8, 26, 62]
```

Fonte: Autor

2.3 Tipos e estruturas de dados

Segundo [Lob19], Julia oferece nativamente um sistema hierárquico e bastante completo de tipos predefinidos que são divididos entre **escalares** e **coleções**. Escalares são tipos atômicos, indivisíveis, como por exemplo inteiros, floats, e chars. Já as coleções são objetos que acomodam outros objetos como por exemplo vetores multidimensionais, dicionários e conjuntos.

Nesse sentido, podemos destacar as seguintes características:

- Cada valor (mesmo os primitivos) tem seu tipo único, por convenção iniciando com letra maiúscula como `Int64` e `Bool` (fig 2.14).
- Na hierarquia dos tipos, o mais amplo é o tipo genérico `Any`.
- No caso de coleções e alguns escalares, o nome de seu tipo é seguido de chaves indicando os tipos dos elementos contidos, e sua dimensão, como por exemplo `Array{Int64,1}`, normalmente chamado de `Vector{Int64}`, ou seja uma coleção unidimensional de elementos do tipo `Int64` como mostra a figura 2.15. Na terminologia da linguagem são chamados tipos paramétricos.
- Em Julia não existe divisão entre objetos e não-objetos pois todos os valores são objetos tipados, enquanto variáveis são apenas nomes relacionados a valores, portanto não têm tipo.
- Podemos converter objetos através da função `"convert(T,x)"`, ou passar o objeto como argumento para uma função do tipo no formato `"T(x)"` como `"Int64(x)"` por exemplo, conforme

a figura 2.16 demonstra.

- O operador `::` pode ser utilizado para anexar anotações de tipo para expressões e variáveis conforme a figura 2.17. [BEKS17] afirma que essa anotação manual de tipos é totalmente opcional, pois apesar de haver situações nas quais ela se traduz em algum ganho de performance, na imensa maioria dos casos a inferência de tipos é suficiente para atingir eficiência máxima na compilação. Ainda assim a anotação de tipos é frequentemente utilizada para confirmar que um programa se comporta conforme o esperado.

Figura 2.14: Tipos escalares de dados

```
1  a = 2
2  b = 4.3
3  c = true
4  println(typeof(a))
5  println(typeof(b))
6  println(typeof(c))

Int64
Float64
Bool
```

Fonte: Autor

Figura 2.15: Tipos paramétricos de dados

```
1  a = [1, 2, 3]
2  typeof(a)

Vector{Int64} (alias for Array{Int64, 1})
```

Fonte: Autor

Figura 2.16: Conversão de tipos

```
1 a = 4.0
2 b = 7.0
3 println(convert{Int64}(a))
4 println{Int64}(b)
```

4
7

Fonte: Autor

Figura 2.17: Anotação de tipos

```
1 a :: Float64
2 a = 4
```

TypeError: in typeassert, expected Float64, got a value of type Int64

Fonte: Autor

2.3.1 Tipos simples

- Caracteres individuais são do tipo Char, e representado por aspas simples.
- Booleanos são do tipo Bool, apenas com as instâncias True e False. Em um contexto de inteiros, booleanos podem ser interpretados como 0 e 1, assim como os inteiros 0 e 1 podem ser interpretados como booleanos, conforme é demonstrado na figura 2.18.
- O tipo padrão de inteiro é o Int64 (existem outros 9 tipos inteiros) capaz de armazenar valores entre -2^{63} e $2^{63}-1$.
- De modo análogo o padrão de ponto flutuante é o Float64.
- Números complexos são suportados pela variável global im que representa a raiz quadrada de -1 (fig 2.19).

Figura 2.18: Tipo Bool

```
1 a = true
2 Int64(a)

1

1 a = 1
2 Bool(a)

true
```

Fonte: Autor

Figura 2.19: Números complexos

```
1 a = 12 + 49im
2 typeof(a)

Complex{Int64}

1 a = 12.0 + 49im
2 typeof(a)

ComplexF64 (alias for Complex{Float64})
```

Fonte: Autor

2.3.2 Operações básicas

Além dos operadores padrões de soma, subtração, multiplicação e divisão (+, -, *, /) temos a potenciação através do circunflexo ("3^2"), a raiz quadrada por meio da função "sqrt()", o resto pelo operador %, e a divisão inteira pelo símbolo ÷ ("÷" + tab), conforme apresentamos na figura 2.20.

Figura 2.20: operacoes

```
julia> 45/29
1.5517241379310345

julia> 45÷29
1

julia> 3^2
9

julia> sqrt(9)
3.0

julia> 3*3
9

julia> im^2
-1 + 0im
```

Fonte: Autor

2.3.3 Arrays

Arrays ($\text{Array}\{T, N\}$) são coleções indexadas de objetos de tipo T , com N dimensões. Eles podem conter elementos de apenas um tipo (T), sendo que T pode ser de algum dos tipos que já abordamos, ou dos tipos especiais Any ou Union.

O tipo genérico Any tem a vantagem de permitir arrays heterogêneos, entretanto, de acordo [Lob19], $\text{Array}(\text{Any}, N)$ são consideravelmente menos performáticos que arrays homogêneos, pois no caso dos homogêneos, e até mesmo do tipo $\text{Union}\{T_1, \dots, T_n\}$, o compilador da linguagem é capaz de gerar código mais específico e otimizado para os tipos em questão, o que não é possível para o tipo Any.

Alguns tipos de arrays recebem nomes especiais como por exemplo os vetores ($\text{Vector}\{T\}$) que são vetores unidimensionais, as matrizes ($\text{Matrix}\{T\}$) que são vetores bidimensionais e as Strings que são ainda um subtipo de vetor de caracteres.

Criação de Array

Existem diversas formas de criarmos um Array do tipo T :

```
a = [1;2;3] #cria um vetor coluna de uma dimensao.
a = [1 2 3] #cria um vetor linha de uma dimensao.
a = [] #cria um Array{Any,1}
a = Int64[] #constroi um vetor de Int64 com uma dimensao.
```

```

a = Array{Int64,1}() #mesmo do anterior, usando construtor.
a = zeros(n) #cria um Array{Float64,1}
a = zeros{Int64,n} #cria um array do tipo Int64 com n zeros.
a = fill(j,n) #vetor com n elementos j
a = rand(n) #vetor preenchido com n numeros aleatorios

```

Acessar elementos

Podemos acessar subvalores de um array utilizando chaves para selecionar um elemento (`a[2]`) ou uma fatia de intervalo fechado (`a[de:passo:até]`) da seguinte forma:

```

a = [1 2 3 4 5 6 7]
a[4] #retorna 4
a[1:3] #retorna os elementos 1,2,3
a[1:2:end] #retorna 1 3 5 7
a[end:-1:1] #retorna 7 6 5 4 3 2 1

```

Principais funções

A seguir apresentamos as principais função para trabalharmos com Arrays, é interessante notar que normalmente as funções que podem modificar algum de seus argumentos contém uma exclamação.

```

push!(a,b) #adiciona o elemento b no fim de a.
append!(a,b) #adiciona os elementos de b em a,
#identico ao push! caso b seja escalar

c = vcat(1,[2,3],[4,5]) #concatena arrays

pop!(a) #remove o ultimo elemento do array,
popfirst!(a) #remove o primeiro elemento do array.
deletat!(a,pos) #remove o elemento da posicao pos

pushfirst!(a,b) #b no inicio de a.

length(a) #ou=# if a in b end #retorna o comprimento do vetor

sort!(a) #ordena o vetor a.
sort(a) #retorna a ordenado sem modificar o vetor original
reverse(a) #retorna elementos de a invertidos

unique!(a) #remove duplicatas modificando a.
unique(a) #retorna a sem duplicadas.
in(b,a) #checa a existencia de b em a.

a... #operador "splat" converte os elementos em
parametros para uma funcao.=#

maximum(a) #ou=# max(a...) #retorna o maior valor.
minimum(a) #ou=# min(a...) #analogo ao anterior.
sum(a) #retorna a soma dos elementos de a.
cumsum(a) #retorna um vetor com a soma cumulativa de a.

empty!(a) #esvazia um vetor coluna.

```

```

b = vec(a) #transforma vtores linha em vetores coluna.
shuffle(a) #ou=# shuffle!(a) #embaralha aleatoriamente
os elementos de a.=#
(requer o modulo Random).=#

isempty(a) #checa se um array esta vazio.

findall(x -> x == value, a) #retorna o indice de todas
as ocorrencias de x.=#
deleteat!(a, findall(x -> x == value, a)) #deleta todas as
ocorrencias de x de a.=#

enumerate(a) #retorna um iterador de pares (indice, elemento).
zip(a,b) #retorna um iterador de pares (a_element,b_element).

```

Arrays aninhados e multidimensionais

Arrays multidimensionais são os objetos do tipo `Array{T,N}` sendo o número de dimensões `N` maior que um, enquanto Arrays Aninhados apresentam uma dimensão sendo pelo menos um de seus elementos outro Array, como por exemplo um vetor de vetores `Array{Array{T,1},1}`.

A principal diferença entre ambos é que em matrizes o número de elemento em cada coluna deve ser igual e as regras da Álgebra Linear são aplicáveis.

Os elementos de Arrays aninhados podem ser acessados por chaves duplas (`a[2][3]`), Já os elementos de multidimensionais podem ser acessados com os índices de cada dimensão separados por vírgula (`a[lin,col]`). Para vetores colunas tanto `a[2]` quanto `a[1,2]` retornam o segundo elemento.

Podemos contruir Arrays multidimensionais de modo análogo aos vetores, alias estes são um caso específico daqueles:

```

a = [[1,2,3] [4,5,6]] #cria por colunas
a = [1 4; 2 5; 3 6] #cria por linhas
a = zeros{In64,n,m,g} #cria uma matriz nxmxg
preenchida com zeros.=#
a = [3x + 2y + z for x in 1:2, y in 2:3, z in 1:2]
#tambem podemos usar list comprehension.=#

```

Também temos funções particularmente úteis para trabalharmos com Arrays multidimensionais:

```

size(a) #retorna uma tupla com os tamanhos de cada dimensao
ndims(a) #retorna o numero de dimensoes.
reshape(a,nElementDim1, nElementsDim2,...,nElementDimN)
#redimensiona o array.
dropdims(a, dims=(dimRemov1, dimRemov2))
#remove as dimensoes especificadas
transpose(a) #ou=# a' #transpoe vetores ou matrizes.
hcat(col1,col2) #concatena horizontalmente
vcat(row1, row2) # concatena verticalmente.

```

2.3.4 Strings

As strings (`String`) em Julia são vetores imutáveis de caracteres, isto é: conforme apresentamos na figura 2.21, não é possível alterar nenhum dos elementos de uma `String`. Elas são definidas com aspas duplas e, assim como vetores, suportam indexação e looping.

Figura 2.21: String imutável

```

1  #vetores são mutáveis
2  v = [1 2 3]
3  v[3] = 4
4  v

1×3 Matrix{Int64}:
 1  2  4

1  #strings são imutáveis
2  s = "teste"
3  s[5] = "a"
4  s

MethodError: no method matching setindex!{::String, ::String, ::Int64}

```

Fonte: Autor

Algumas das operações típicas com strings são:

- **split**(s, " ") nesse exemplo utiliza o espaço como um separador e retorna um vetor com as sublistas.
- **join**([s1,s2], " ") que une strings utilizando, nesse caso, o espaço entre cada junção.
- **replace**(s, termo buscado = substituto) que substitui substrings compatíveis com a busca.
- **parse**(Int, "42") retorna a string convertida para um tipo numérico, no caso inteiro.
- **string**(123) retorna a string correspondente ao número.
- Existem três principais maneiras de concatenar strings:

```

string("Hello, ", "world")
"Hello, World! The answer is $(43)"
"Hello, " * "world"

```

2.3.5 Tuplas e Tuplas Nomeadas

Tuplas (Tuple{T1, T2,...}) são listas imutáveis de elementos, que em contraste com Arrays não perdem performance ao conter elementos de tipos diversos porque suas assinaturas são mantidas. Podemos criar tuplas com parênteses ou sem conforme o exemplo:

```

t = (1, 2.5, "a")
t = 1, 2.5, "a"
#Podemos converter uma tupla em um array:
a = [t...] #utilizando o operador splat
a = [i[1] for i in t] #utilizando list comprehension
a = collect(t) #utilizando o operador collect.
#De modo analogo podemos converter um array em uma tupla:

```

```
t = (a...,)
```

Já as Tuplas Nomeadas (NamedTuple) são coleções de itens que além do índice seus elementos podem ser identificados pelo nome da seguinte forma:

```
nt = (a=1,b=2.5) #define uma tupla nomeada
nt.a #acessa o elemento a da tupla nt.
keys(nt) #retorna uma tupla com os nomes: (a,b)
values(nt) #retorna uma tupla com os valores: (1, 2.5).
collect(nt) #retorna um array com os valores.
pairs(nt) #retorna um iterador dos pares (nome,valor)
```

2.3.6 Dicionários

Dicionários (Dict{Tkey, Tvalue}) guardam mapas de chaves para valores com ordem aparentemente aleatória e diferente das Tuplas nomeadas, são mutáveis, tipo-instáveis. Os principais métodos para trabalharmos com dicionários são:

```
d = Dict()
#cria um dicionario vazio.
d = Dict{String,Int64}()
#cia um dicionario com tipagem definidapara chaves e valores.
d = Dict{'a'= 1, 'b'= 2, 'c'= 3}
#inicializa o dicionario com valores
d[novaChave] = novoValor
#adiciona um novo par key-value ao dicionario.
delete!(d, "chave")
#deleta o par correspondente a chave.
map( (i,j) -> d[i]=j, ['a','b','c'], [1, 2 , 3])
#adiciona pares de mapeamentos
d["chave"]
#=retorna o valor correspondente a chave,
ou um erro caso ela nao exista.=#
get(d, 'chave', "Chave inexistente")
#=retorna o valor da chave ou um valor padrao
caso ela nao exista.=#
keys(d) #retorna um iterator com todas as chaves de d.
values(d) #retorna um iterador com todos os valores de d.
haskey(d, "chave")
#retorna um booleano de acordo com a existencia da chave.
in(('a'= 1), d)
#=checa se o par existe e a chave corresponde
ao valor especificado.=#
```

2.3.7 Sets

Usamos sets (Set{T}) para representar conjuntos mutáveis e sem ordem de valores únicos.

```
s = Set() #ou=# Set{T}()
#cria um set vazio
s = Set([1,2,2,3,4])
#inicializa com valores desconsiderando o 2 duplicado
push!(s,5)
```

```

#adiciona elementos
delete!(s,1)
#deleta elementos
intersect(s1,s2)
#intersecao de s1 e s2
union(s1,s2)
#uniao de s1 e s2
setdiff(s1,s2)
#diferenca entre s1 e s2

```

2.3.8 Números aleatórios

Julia também facilita a obtenção de números pseudo aleatórios:

```

rand()
#retorna um float entre 0 e 1
rand(a:b)
#retorna um inteiro no intervalo [a,b]
rand(a:0.01:b)
#float aleatorio com precisao no segundo digito

#=Tambem podemos obter numeros de alguma distribuicao particular,
desde que usemos o pacote Distributions=#

rand(nomeDistribuicao[parametros])
rand(Uniform(a,b))#por exemplo

#=Igualmente importante e a definicao da semente pseudo aleatoria
que permite termos um script reprodutivel:=#
Random.seed!(1234)
#define a semente pseudo-aleatoria para 1234
Random.seed!()
#reseta a definicao da semente

rand(Uniform(a,b),2,3)
#uma matriz 2x3 de numeros uniformemente aleatorios no
intervalo [a,b].

```

2.3.9 Valores Faltantes

Julia suporta, segundo [Lob19], diversos conceitos de falta:

- **nothing** (tipo Nothing) é o valor utilizado para blocos e funções que retornam nada. Conhecido como "null do engenheiro de software"
- **missing** (tipo Missing) representa um valor faltante no sentido estatístico, em que deveria haver um valor, apenas o desconhecemos. De modo que os containers e maioria das operações conseguem lidar eficientemente com esses casos. Também conhecido como "null do cientista de dados"
- **Nan** (tipo Float64) representa o resultado de uma operação que retorna é um "não-número". Similar ao missing no sentido de se propagar silentemente ao invés de gerar um erro. Análogamente Julia também oferece Inf (1/0) e -Inf (-1/0).

2.4 Controle de fluxo e funções

Em Julia nos temos as principais estruturas condicionais e repetitivas que encontramos nas linguagens mais populares.

2.4.1 Estrutura em bloco

A sintaxe do controle de fluxo tipicamente se dá através de blocos que se iniciam com uma palavra chave seguida de uma condição (com parêntesis opcionais), e finalizam com a palavra "end" da seguinte forma:

```
<palavra chave> <condicao>
    #... conteudo do bloco....
end
#-----#
#Por exemplo:
for i in 1:5
    print(i)
end
```

2.4.2 Iteração repetida

For e while

As funções for e while em Julia são muito flexíveis, suportando os contrutos padrões como percorrer vetores, break que imediatamente aborta uma sequência e continue que imediatamente pula para a próxima iteração. Além de suportar condições múltiplas como demonstrado no exemplo abaixo.

```
for i=1:2, j=2:5
    println("i:$i, j:$j")
end
#=temos condicoes multiplas que geram um
loop aninhado onde j percorre o intervalo 2:5
para cada elemento i.=#

for i in "string exemplo"
    println(i)
end
```

List comprehension

List comprehension é essencialmente uma forma compacta de escrever um loop:

```
a = [f(i) for i in [1 2 3]]
#cria um array com f aplicada a cada elemento de [1 2 3]

[x+2y for x in [10,20,30], y in [1,2,3]]

[d[i]=value for (i,value) in enumerate(lista)]

[estudantes[nome] = idade for (nome,idade) in zip(nomes,idades)]
```

Map

Já a função Map aplica uma função a uma lista de argumentos.

```
map((nome,idade) -> estudantes[nome] = idade, nomes, idades)

a = map(f, [1,2,3])

a = map(x -> f(x), [1,2,3])
```

2.4.3 Condicionais

Condicionais também são estruturados seguindo o design de simplicidade e similaridade com as linguagens dinâmicas:

```
i = 5
if i == 1
    println("i = 1")
elseif i == 2
    println("i = 2")
else
    println("i nao e nem 1 nem 2")
end
```

As expressões são avaliadas até que seja possível inferir seu resultado (short circuited).

Assim como list comprehension é uma forma concisa de escrever um loop temos no operador ternário uma forma concisa de escrever um condicional:

```
a? b: c
#se a eh verdadeiro execute b, do contrario execute c
```

2.4.4 Funções

Funções em Julia são muito flexíveis, podem ser definidas tanto em linha como em bloco quanto como funções lambda. Além disso, funções também são objetos, e portanto podem ser atribuídas a novas variáveis, retornadas como valores ou aninhadas:

```
f(x,y) = 2x+y
#definicao em uma linha
#-----
function f(x)
    2x + y
end
#definicao em bloco
#-----
x,y = 2x + y
#funcao anonima
#-----
a = f
a(5)
#funcao como objeto
```

A chamada de funções em Julia seguem uma convenção conhecida como chamada por compartilhamento, que seria entre chamada por referência (onde um ponteiro a memória da variável é passado) e chamada por valor (onde uma cópia da variável é passada e a função trabalha nessa cópia).

Assim, as funções em Julia trabalham nas novas variáveis locais, conhecidas apenas dentro da função, de modo que atribuir a variável a outro objeto não vai influenciar o valor original, mas se o objeto ligado a variável é mutável a mutação do objeto também será aplicada a variável original:

```
function f(x,y)
    x = 10
    y[1] = 10
end
x = 1
y = [1,1]
f(x,y)
#Resultado: x = 1, y = [10, 1]
```

Na comunidade Julia se recomenda seguir duas regras em relação a funções:

- Que contenham todos os elementos necessários para sua lógica (sem acesso a nenhuma variável exceto seus parâmetros e constantes globais.)
- Que não alterem nenhuma outra parte do programa, ou seja, que não produza nenhum efeito colateral além da eventual modificação de algum de seus argumentos.

Argumentos

- Normalmente os argumentos são posicionais, mas temos o operador ponto e vírgula (;) para estabelecer que após o mesmo todos os argumentos sejam especificados por nome (keywords arguments)
- Os últimos argumentos podem ser especificados junto com valores padrão.
- Funções podem receber um número variável de argumentos.
- Também temos a opção de especificar os tipos dos argumentos. Como mencionado, a principal razão para limitar os tipos dos parâmetros é para evidenciar possíveis bugs logo no início caso uma função seja acidentalmente chamada com um tipo diferente do planejado, retornando um erro de tipo ao invés de silenciosamente continuar a execução.
- Retornar um valor é opcional e normalmente as funções retornam o último valor computado, podendo ser inclusive uma tupla.

```
f(a,b=1;c=2) = (a+b+c)
f(1,c=3)
#(1+1+3)

function f(args...)
    for arg in args
        println(arg)
    end
end

f(a::In64, b::Int64, c::Int64) = (a+b+c)

f(a,b) = a*2,b+2
x,y = f(1,2)
# x = 2, y = 4
```



3. Aplicações da linguagem

Neste capítulo vamos apresentar cinco exemplos de aplicações escritas na linguagem Julia, bem como seus respectivos códigos-fonte, e imagens demonstrando seu funcionamento.

3.1 Quicksort

A ordenação de elementos é uma das mais importantes operações computacionais. Assim, apresentamos uma implementação em Julia do Quicksort, um dos principais algoritmos de ordenação, que é inclusive o algoritmo utilizado na função nativa de ordenação da linguagem (`sort()`).

Esse algoritmo se inicia elencando um elemento no vetor para ser o pivô dessa execução. A partir de então todos os elementos menores ou iguais ao pivô são colocados antes do mesmo e consequentemente todos os elementos maiores são colocados nas posições seguintes ao pivô.

Em seguida é feito uma chamada recursiva da mesma função para cada uma dessas duas porções -do primeiro elemento até o anterior ao pivô, e do elemento seguinte ao pivô até o último.

No Código 3.1, apresentamos uma implementação do algoritmo disponível na wiki [Rosetta Code](#). Nela, o mecanismo principal de pivotagem se por meio de duas variáveis que guardam o último elemento da porção inferior ao pivo (`left`) e o primeiro elemento da porção superior ao pivô (`right`). Ou seja, os limites internos, visto que os limites externos serão os próprios primeiro e último elementos do vetor.

Desse modo, essas variáveis dos limites internos se iniciam iguais aos limites externos, se aproximando do pivô da seguinte forma: caso o atual índice `left` seja menor que o pivo, o índice se desloca mais um elemento a direita. Caso o atual índice `right` seja maior que o pivô ele se desloca para a esquerda. Ambas ocorrem até que cheguem em um elemento fora de lugar, nesse caso o elemento fora de lugar em cada porção são permutados. Assim, temos duas porções para abrigarem os elementos maiores e menores que o pivô, que se iniciam vazias, mas vão avançando em direção ao pivô até que englobem todos os elementos.

Na Fig.3.1 implementamos o código no ambiente integrado de desenvolvimento (IDE) [Visual Studio Code](#) e demonstramos seu funcionamento com um vetor exemplo.

[TODO: modificar o termo "listing" para algum outro?]

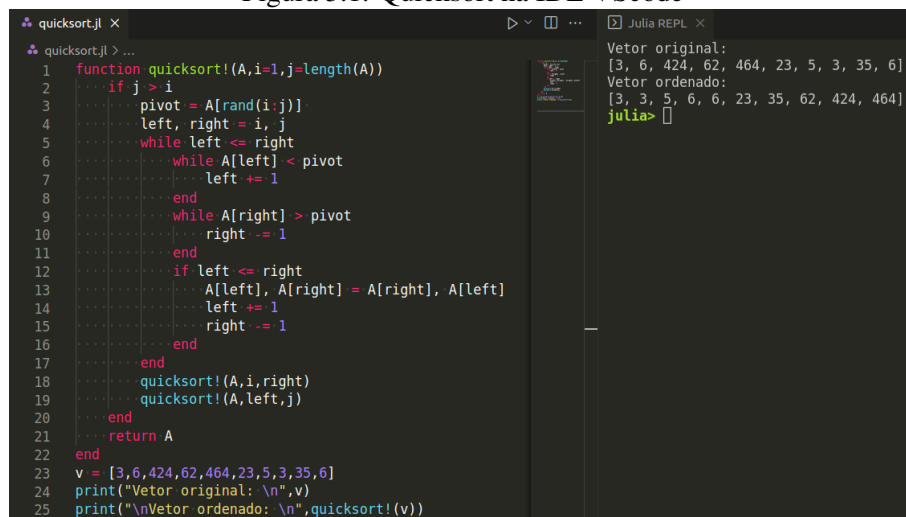
Listing 3.1: Implementação do algoritmo quicksort em Julia

```

function quicksort!(A,i=1,j=length(A))
if j > i
    pivot = A[rand(i:j)]
    left, right = i, j
    while left <= right
        while A[left] < pivot
            left += 1
        end
        while A[right] > pivot
            right -= 1
        end
        if left <= right
            A[left], A[right] = A[right], A[left]
            left += 1
            right -= 1
        end
    end
    quicksort!(A,i,right)
    quicksort!(A,left,j)
end
return A
end

```

Figura 3.1: Quicksort na IDE VSCode



Fonte: Autor

3.2 Calculadora

Outro aspecto muito importante da computação envolve o uso de interfaces gráficas para facilitar a interação do usuário com a máquina. Entretanto a construção de janelas, botões e afins é uma tarefa complexa, de modo que na maior parte dos casos os programadores utilizam uma biblioteca que implementa tais componentes de interface gráfica, sendo as duas mais famosas a Qt e a GTK

chamadas de GUI Toolkit.

Nesse exemplo demonstramos uma calculadora simples utilizando a biblioteca Gtk.jl que traz a biblioteca GTK de forma amigável para a linguagem Julia.

O código 3.2 apresenta de modo compacto a implementação criada por Nand Vincchi que está disponível como exemplo no repositório [Github](#) da biblioteca Gtk.jl.

Adicionamos as linhas para instalar o pacote Gtk, caso o mesmo ainda não esteja presente. O código original segue importando o pacote, e criando uma janela com título "Calculator", cria-se todos os botões, seguido de 4 chamadas "caixas" horizontais que são preenchidas com os botões criados. Cria-se uma caixa vertical para receber as quatro horizontais, a "tela" da calculadora, e espaços. Por sua vez essa caixa vertical é adicionada à janela.

Finalmente temos a função `_button_clicked_callback` que adiciona responsividade dos botões de compor uma string que é apresentada na tela conforme são apertados, e ao clicar no igual a string construída é enviada a função "calculate" que a processa e retorna o resultado que será apresentado na tela.

Na figura 3.2 podemos ver a janela gráfica e parte do código sendo executado na IDE.

Listing 3.2: Calculadora simples em GTK

```
# Simple calculator application that utilises Gtk.jl
# created by Nand Vincchi for GCI 2019

using Gtk

win = GtkWindow("Calculator")

b1 = GtkButton("1")
b2 = GtkButton("2")
b3 = GtkButton("3")
b_plus = GtkButton("+")
[...]

hbox1 = GtkButtonBox(:h)
hbox2 = GtkButtonBox(:h)
hbox3 = GtkButtonBox(:h)
hbox4 = GtkButtonBox(:h)

push!(hbox1, b1)
push!(hbox1, b2)
push!(hbox1, b3)
push!(hbox1, b_plus)
[...]

vbox = GtkBox(:v)
label = GtkLabel("")
GAccessor.text(label, "")

push!(vbox, GtkLabel(""))
push!(vbox, label)
push!(vbox, GtkLabel(""))
push!(vbox, hbox1)
push!(vbox, hbox2)
```

```
push!(vbox, hbox3)
push!(vbox, hbox4)
push!(win, vbox)

text = ""

function calculate(s)
    x = "+" * s
    k = split(x)
    final = 0

    for i = 1:length(k)

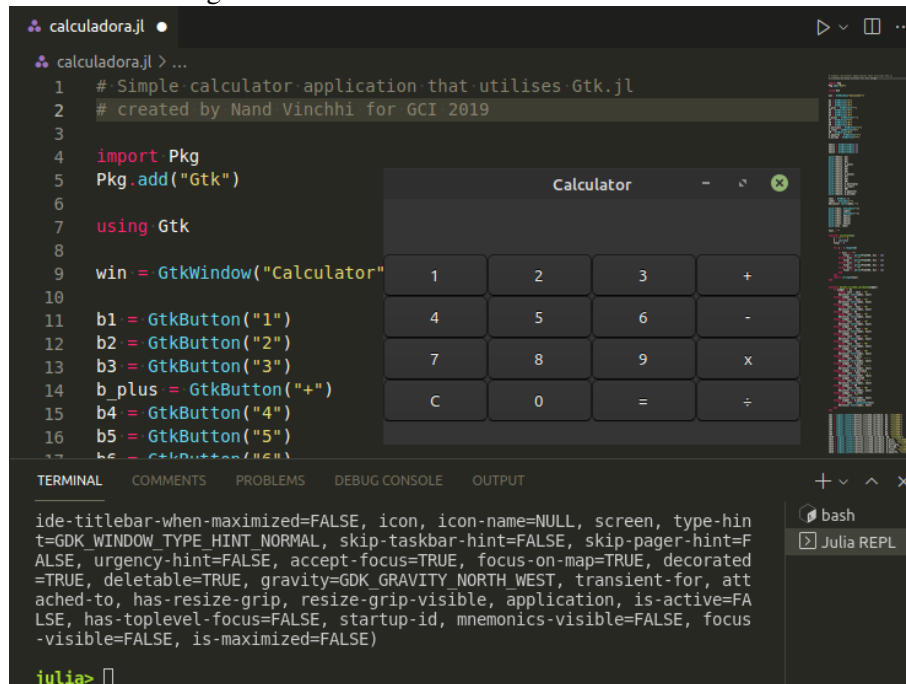
        if k[i] == "+"
            final += parse(Float64, k[i + 1])
        elseif k[i] == "-"
            final -= parse(Float64, k[i + 1])
        elseif k[i] == "x"
            final *= parse(Float64, k[i + 1])
        elseif k[i] == "/"
            final /= parse(Float64, k[i + 1])
        end
    end
    return string(final)
end

function button_clicked_callback(widget)
    if widget == b1
        global text = text * "1"
        GAccessor.text(label, text)
    elseif widget == b2
        global text = text * "2"
        GAccessor.text(label, text)
    elseif widget == b3
        [...]
        elseif widget == b_equalto
            global text = calculate(text)
            GAccessor.text(label, text)
        end
    end
end

id1 = signal_connect(button_clicked_callback, b1, "clicked")
id2 = signal_connect(button_clicked_callback, b2, "clicked")
id3 = signal_connect(button_clicked_callback, b3, "clicked")
[...]

showall(win)
```

Figura 3.2: Janela GTK da calculadora e vscode



Fonte: Autor

3.3 Plotagem (Iris data set)

Igualmente importante no ecossistema Julia é a habilidade de analisar dados. Nesse exemplo demonstramos as funções básicas para ler um arquivo csv, utilizar um DataFrame, e plotar um gráfico que permita analisar esse dados.

Para tanto, utilizamos o famoso Iris-dataset [Fis36], onipresente na literatura estatística e muito utilizado justamente para demonstrar um ecossistema de análise de dados.

Esse dataset consiste na observação de 50 exemplares de três espécies de flores do gênero Iris (Fig. 3.3), para cada observação temos o comprimento e largura de suas sépalas e pétalas bem como a qual espécie tais medidas pertencem (Fig.3.4).

Figura 3.3: Flores do gênero iris

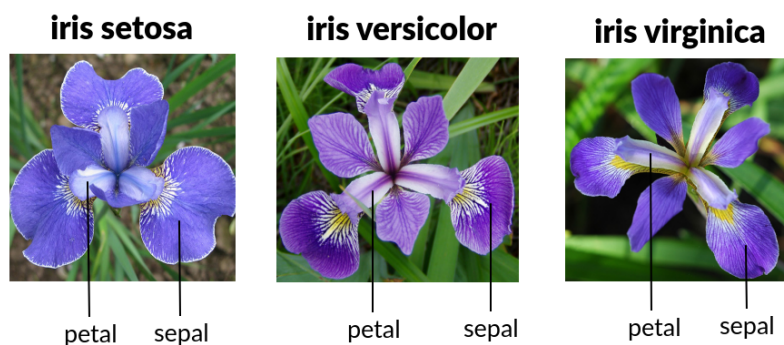
Fonte: <https://rpubs.com/mbatista/545937>

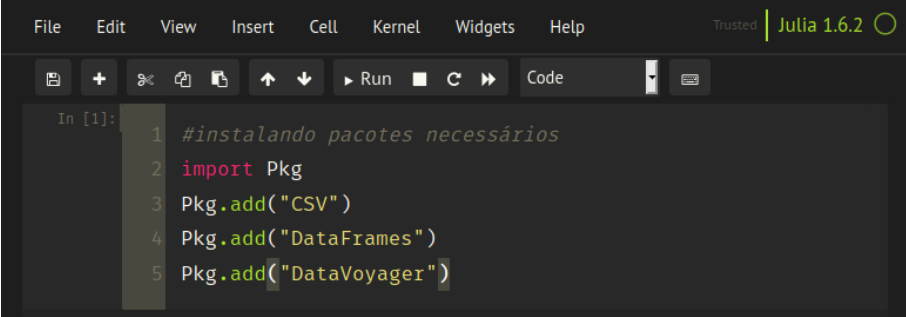
Figura 3.4: Iris Dataset

```
1 5.1,3.5,1.4,0.2,Iris-setosa
2 4.9,3.0,1.4,0.2,Iris-setosa
3 4.7,3.2,1.3,0.2,Iris-setosa
4 4.6,3.1,1.5,0.2,Iris-setosa
5 5.0,3.6,1.4,0.2,Iris-setosa
6 5.4,3.9,1.7,0.4,Iris-setosa
7 4.6,3.4,1.4,0.3,Iris-setosa
8 5.0,3.4,1.5,0.2,Iris-setosa
9 4.4,2.9,1.4,0.2,Iris-setosa
10 4.9,3.1,1.5,0.1,Iris-setosa
11 5.4,3.7,1.5,0.2,Iris-setosa
12 4.8,3.4,1.6,0.2,Iris-setosa
13 4.8,3.0,1.4,0.1,Iris-setosa
14 4.3,3.0,1.1,0.1,Iris-setosa
15 5.8,4.0,1.2,0.2,Iris-setosa
16 5.7,4.4,1.5,0.4,Iris-setosa
17 5.4,3.9,1.3,0.4,Iris-setosa
18 5.1,3.5,1.4,0.3,Iris-setosa
19 5.7,3.8,1.7,0.3,Iris-setosa
20 5.1,3.8,1.5,0.3,Iris-setosa
21 5.4,3.4,1.7,0.2,Iris-setosa
22 5.1,3.7,1.5,0.4,Iris-setosa
23 4.6,3.6,1.0,0.2,Iris-setosa
24 5.1,3.3,1.7,0.5,Iris-setosa
25 4.8,3.4,1.9,0.2,Iris-setosa
26 5.0,3.0,1.6,0.2,Iris-setosa
```

Fonte: <https://archive.ics.uci.edu/ml/datasets/Iris>/<https://archive-beta.ics.uci.edu/ml/datasets/iris>

Assim, utilizamos o ambiente de desenvolvimento **Jupyter Notebook**, que consiste em cadernos compostos por células interativas. Na figura 3.5 temos a instalação dos pacotes: CSV para a leitura do arquivo com os dados, DataFrame que é a estrutura de dados padrão em tabelas, e DataVoyager que apresenta uma interface simples e interativa para plotagem exploratória de gráficos.

Figura 3.5: Instalação das bibliotecas

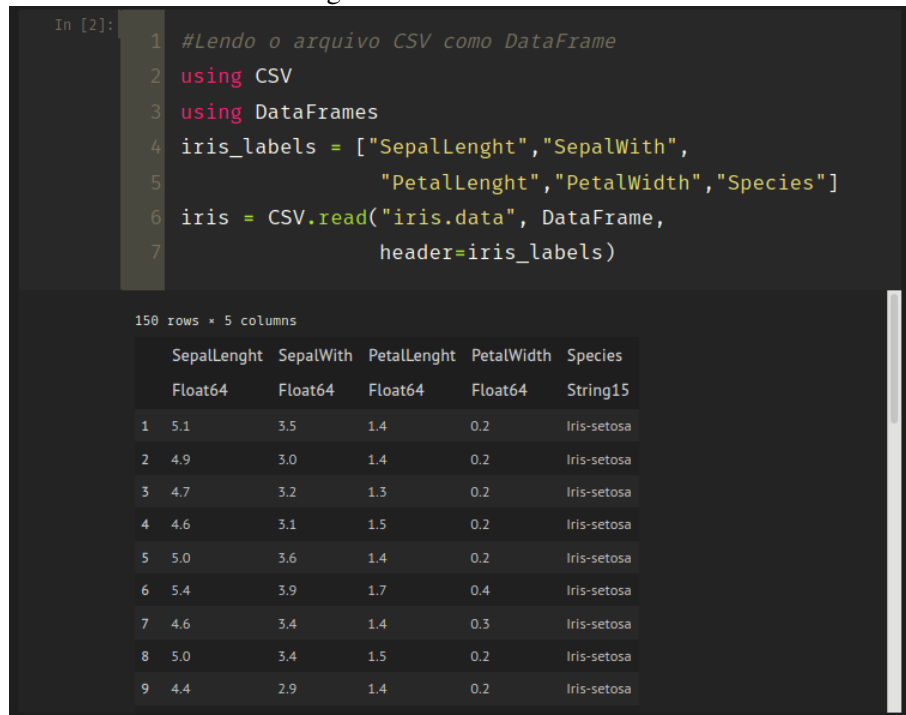


```
In [1]: 1 #instalando pacotes necessários
        2 import Pkg
        3 Pkg.add("CSV")
        4 Pkg.add("DataFrames")
        5 Pkg.add("DataVoyager")
```

Fonte: Autor

Na figura 3.6 importamos as bibliotecas CSV e DataFrames, criamos uma variável com o cabeçalho das colunas e finalmente lemos o arquivo csv e o armazenamos em memória na variável "iris". No retorno podemos ver parte do dataframe.

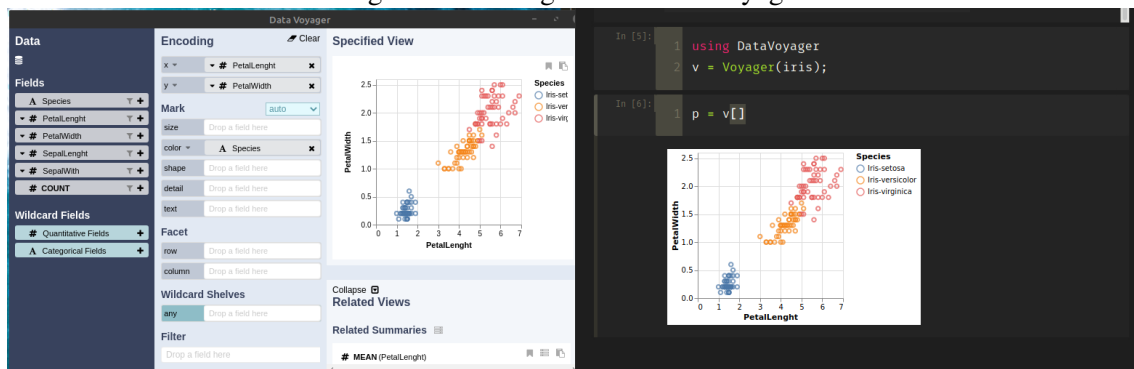
Figura 3.6: Leitura do CSV



Fonte: Autor

Já na figura 3.7 temos a interface do DataVoyager, onde selecionamos o comprimento e largura das pétalas para os eixos bem como que a cor de cada ponto se dá de acordo com a espécie relacionada aquele ponto. O programa automaticamente nos retorna um scatter plot, conforme nossas especificações, e ainda sugere outras abordagens.

Figura 3.7: Plotagem com DataVoyager



Fonte: Autor

Assim, torna-se evidente o potencial da linguagem e suas ferramentas para a análise exploratória de dados e construção de visualizações.

3.4 Banco de Dados SQL lite

Outro aspecto fundamental de uma linguagem é a sua integração com banco de dados. Aqui trazemos um exemplo simples da criação e uso de um banco de dados SQLite, por meio da sua biblioteca disponível em Julia.

Após instalarmos o pacote SQLite.jl, criamos um objeto e arquivo de banco de dados. Em seguida construímos uma função que lê o input padrão do teclado, separa a frase do autor e armazena ambos no banco de dados criado, conforme demonstra e explica a figura 3.8. Esse código foi inspirado no seguinte exemplo disponível no Github.¹

Figura 3.8: Corpo do programa que armazena as frases

```

1 using SQLite
2 #adicionando a biblioteca ao código
3 db = SQLite.DB("Frases.db")
4 #atribui um objeto do tipo banco de dados SQLite à variável "db"
5 #presente no arquivo "Frases.db" que caso não exista, será criado.
6 SQLite.execute(db, "CREATE TABLE IF NOT EXISTS frases
7   (id INTEGER PRIMARY KEY, frase TEXT, autor TEXT)")
8 #caso o arquivo "Frases.db" não exista, será criada uma tabela "frases"
9 #essa tabela "frases" possui um campo de id do tipo inteiro,
10 #e dois outros campos textuais: "frase" e "autor"
11 function Frases()
12     #função para receber uma frase com seu autor e armazena-los no banco de dados.
13     while true
14         println("Escreva a frase e o autor separado por hífen: ")
15         input = readline()
16         if input == ""
17             break
18         #a função se encerra caso o input seja vazio
19     end
20     frase, autor = split(input, " - ")
21     #separamos frase e autor a partir do " - "
22     SQLite.execute(db, "INSERT INTO frases (frase,autor) VALUES ('$frase','$autor')")
23     #comando SQL executado sobre o DB para inserir na tabela "frases",
24     #nos campos "frase" e "autor" os valores nas variáveis homônimas
25 end
26 end

```

Frases (generic function with 1 method)

Fonte: Autor

Em seguida executamos a função "Frases()" escrevendo três entradas de frases com seus respectivos autores conforme a figura 3.9.

¹<https://github.com/julia4ta/tutorials/blob/master/Series%2004/Tutorial%2004x05/sourcecode.jl>

Figura 3.9: Função "Frases()" sendo executada

```

In [2]: 1 Frases()

Escreva a frase e o autor separado por hifen:
stdIn> Quem tem alma não tem calma. - Fernando Pessoa
Escreva a frase e o autor separado por hifen:
stdIn> Caminante, no hay camino, se hace camino al andar. - Antonio Machado
Escreva a frase e o autor separado por hifen:
stdIn> Preciso saber urgentemente, porque é proibido pisar na grama. - Jorge Ben Jor
Escreva a frase e o autor separado por hifen:
stdIn>

In [*]: 1 Frases()

stdIn>

Escreva a frase e o autor separado por hifen:

```

Fonte: Autor

Finalmente, na figura 3.10, efetuamos uma busca SQL nesse banco de dados. Seleccionamos todos os campos da tabela frases, e como não utilizamos o WHERE para restringir determinadas entradas, essa query retorna todo o conteúdo da tabela frases. Interessante notar que o comando SQLite.DBInterface.execute() retorna um objeto, que transformamos em DataFrame para o acessarmos.

Figura 3.10: Query do banco de frases criado

```

In [4]: 1 using DataFrames
2 q = "
3     SELECT * FROM frases
4     "
5 DataFrame(SQLite.DBInterface.execute(db,q))

```

| 3 rows × 3 columns | | | |
|--------------------|-------|---|-----------------|
| | id | frase | autor |
| | Int64 | String | String |
| 1 | 1 | Quem tem alma não tem calma. | Fernando Pessoa |
| 2 | 2 | Caminante, no hay camino, se hace camino al andar. | Antonio Machado |
| 3 | 3 | Preciso saber urgentemente, porque é proibido pisar na grama. | Jorge Ben Jor |

Fonte: Autor

3.5 Julia Sets

Para esse último exemplo criamos uma aplicação que interativa que apresenta o conjunto matemático de números complexos chamado "Julia Set". Foi escolhido devido a sua beleza e ao nome muito

propício. O conjunto de Julia é muito próximo do ainda mais famoso conjunto de Mandelbrot ².

Para tanto, utilizamos o ecossistema Makie.jl, um conjunto de diversas bibliotecas e pacotes de plotagem gráfica em Julia. Especialmente utilizada para criação de gráficos interativos ou de altíssima qualidade para publicação em revista.

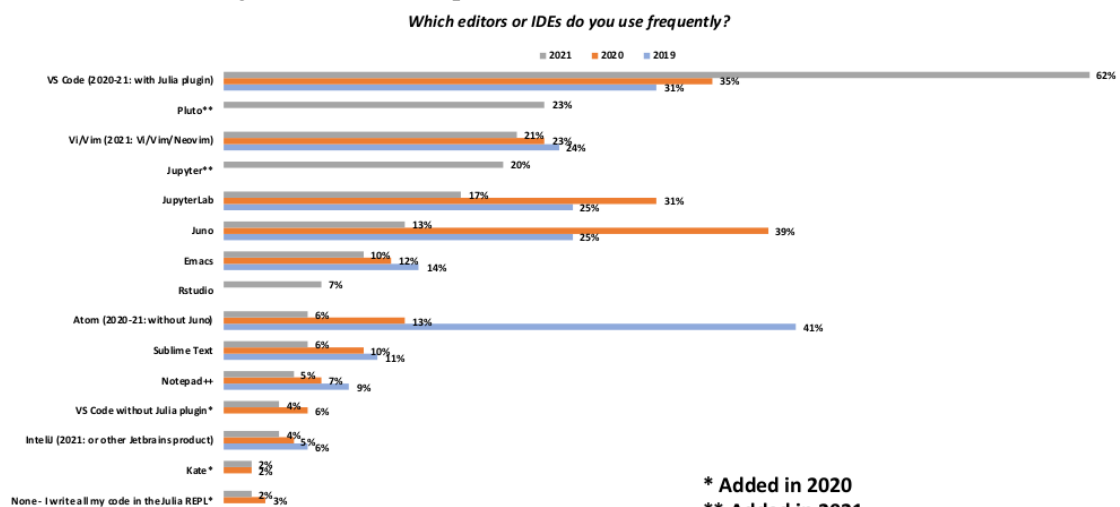
²<http://paulbourke.net/fractals/juliaset/>



4. Ferramentas

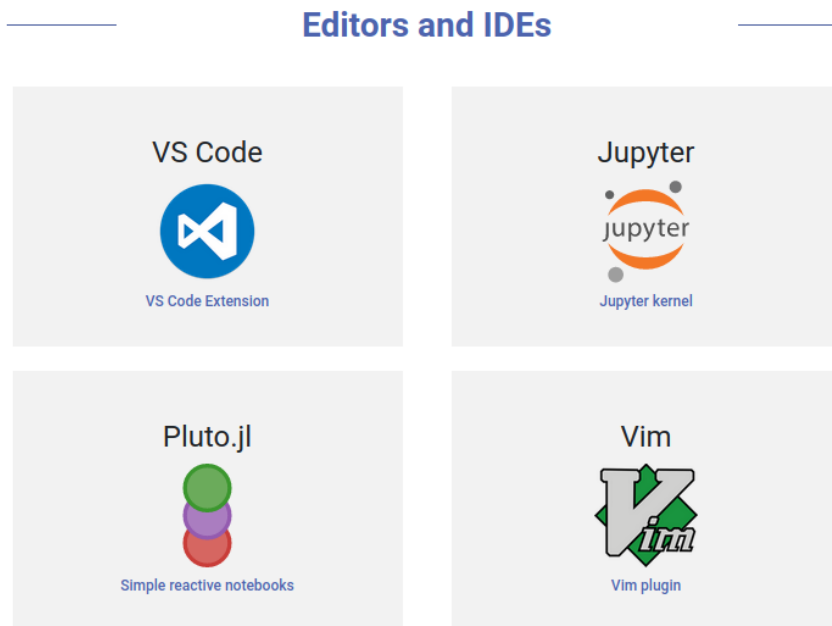
Nesse capítulo apresentamos as três principais ferramentas do ecossistema Julia: VScode, Jupyter Notebook e Juno. Todos são apresentados com destaque no próprio site da linguagem (Fig 4.2), além de ocuparem as primeiras posições no questionário anual dos usuários da linguagem (Fig 4.1).

Figura 4.1: Editores preferidos dos usuários de Julia em 2021



Fonte: <https://julialang.org/blog/2021/08/julia-user-developer-survey>

Figura 4.2: Editores e IDEs destacadas no site da linguagem

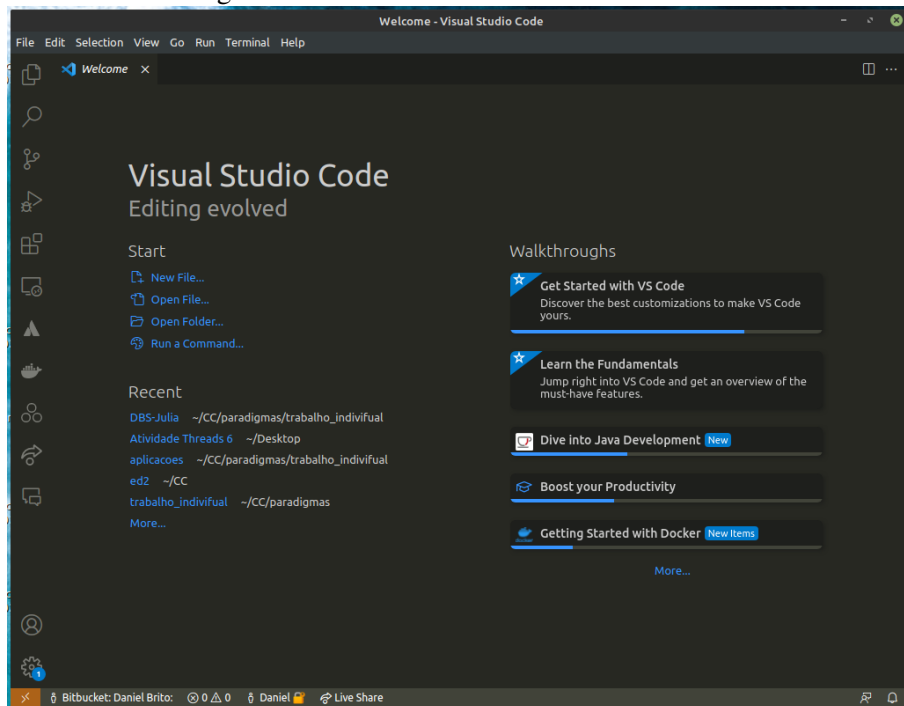


Fonte: <https://julialang.org/>

4.1 Visual Studio Code

Também chamado de VSCode é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE) multiplataforma (Windows, Linux e macOS) desenvolvido pela Microsoft e particularmente conhecido por sua atual onipresença, e vasta oferta de bibliotecas. Na figura 4.3 temos a sua tela de boas vindas.

Figura 4.3: Tela inicial do Visual Studio Code



Fonte: <https://julialang.org/>

Foi lançado em 2015¹, e no mesmo ano seu código fonte foi publicado no GitHub com licença liberal MIT License. No ano seguinte figurou no 13º lugar das ferramentas mais utilizadas na pesquisa anual do Stack Overflow², mas logo ganhou popularidade de modo que desde 2018 tem sistematicamente mantido o primeiro lugar, e mesmo assim ganhando cada vez mais popularidade, nesse ano de 2021 ele foi citado por 70% das respostas ao questionário.

Dentro do ecossistema Julia percebemos um crescimento análogo, no qual o Vscodé é atualmente utilizado por 62% dos usuários da linguagem segundo a pesquisa de 2021.³

O Visual Studio Code atualmente está na versão 1.61.0, pode ser instalado por meio de seu site oficial⁴.

4.2 Jupyter Notebook

O projeto Jupyter foi iniciado por Fernando Pérez e Brian Granger em 2015, a partir do projeto IPython também criado por Pérez.⁵ O projeto se define como uma organização open-source sem fins lucrativos que busca desenvolver a ciência de dados e a computação científica interativas em todas as linguagens de programação, sempre de forma 100% gratuita e livre.⁶

O nome Jupyter deriva das três linguagens que formam os pilares da computação científica -Julia, Python, R-. Também é uma homenagem aos cadernos astronômicos de Galileo, utilizados

¹<https://web.archive.org/web/20151009211114/http://blogs.msdn.com/b/vscode/archive/2015/04/29/announcing-visual-studio-code-preview.aspx>

²<https://insights.stackoverflow.com/survey/2021#section-most-popular-technologies-integrated-development-environment>

³<https://julialang.org/blog/2021/08/julia-user-developer-survey>

⁴<https://code.visualstudio.com/>

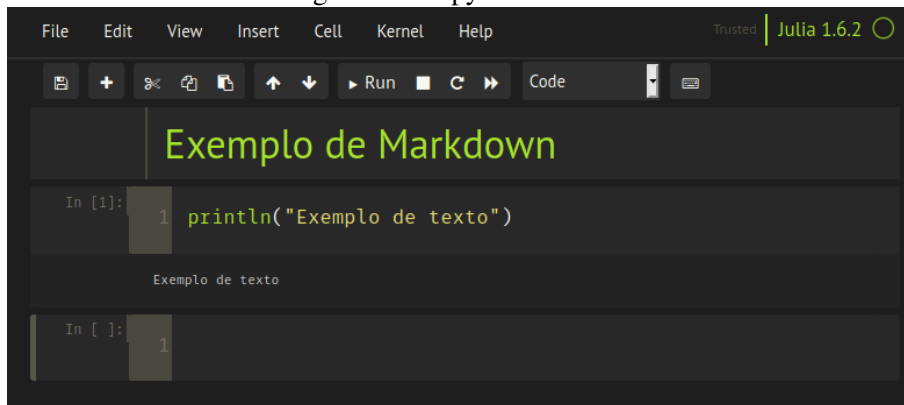
⁵<https://bids.berkeley.edu/people/fernando-p%C3%A9rez>

⁶<https://jupyter.org/about>

para registrar a descoberta das luas do planeta Júpiter.⁷

Nesse contexto surge o Jupyter Notebook (Fig 4.4), um ambiente computacional baseado em web com cadernos interativos, compostos por células que podem conter código, texto, imagem, gráficos dentre outros. Um ambiente que promove a computação científica de diversas maneiras: em primeiro lugar pela experimentação que a independência de células permite ao executar separadamente partes de código, em segundo a documentação e reprodutibilidade nativas dos cadernos, que permitem registrar e compartilhar fluxos de trabalho e análise, além da integração com outras linguagens que podem por vezes ser necessárias dependendo das necessidades do projeto e o potencial de criar relatórios precisos e interativos nesse contexto. Motivo pelo qual a utilização de cadernos interativos se tornou o padrão em diversas áreas da tecnologia da informação e ciências como por exemplo na ciência de dados e nas interface de Cloud como o Colaboratory do Google e o SageMaker da Amazon.⁸

Figura 4.4: Jupyter Notebook



Fonte: Autor

Para instalar o Jupyter Notebook, basta seguir as instruções disponíveis no site oficial do projeto⁹, que atualmente se encontra na versão 3.2.4.

4.3 Pluto

Assim como o Jupyter, Pluto apresenta cadernos interativos baseados em web. Sua principal diferença é ser escrito e executado puramente em Julia, sendo portanto mais leve. E também por ser reativo, isto é, cada mudança é automaticamente atualizada em todas as células afetadas, de modo que a qualquer momento o programa é completamente descrito pelo código apresentado.

Pluto.jl foi criado por Fons Van der Plas e Mikołaj Bochenski, atualmente se encontra na versão 0.17.1¹⁰.

Para utilizá-lo basta instalar o pacote no REPL Julia, e executá-lo conforme demonstramos na figura 4.5. Já na figura 4.6 apresentamos um dos cadernos de exemplo onde podemos ver sua estrutura, adequação ao texto e código.

⁷<https://blog.jupyter.org/i-python-you-r-we-julia-baf064ca1fb6>

⁸<https://blog.jupyter.org/project-jupyter-computational-narratives-as-the-engine-of-collaborative-data-science-2b5fb94c3c58>

⁹<https://jupyter.org/install>

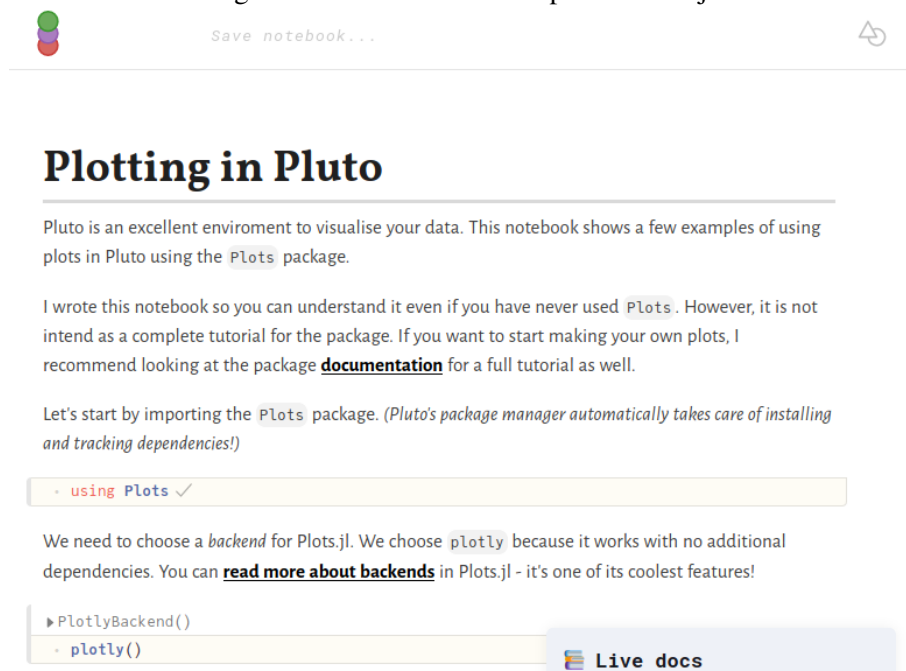
¹⁰<https://github.com/fonsp/Pluto.jl#readme>

Figura 4.5: Instalação e tela de boas vindas do Pluto.jl



Fonte: Autor

Figura 4.6: Caderno de exemplo do Pluto.jl



Fonte: Autor



5. Considerações Finais

Nesse trabalho nós apresentamos uma breve introdução à linguagem Julia. Abordamos um pouco de sua história, suas principais aplicações, sua sintaxe e estrutura. Também apresentamos aplicações para exemplificar diferentes aspectos da linguagem e finalmente demonstramos as principais ferramentas utilizadas em seu ecossistema.

É importante ressaltar que apesar de suas notáveis qualidades, Julia, como qualquer outra linguagem, também tem pontos negativos importantes de se considerar. Jakob Nybo Nissen em seu artigo de 2021: "What's bad about Julia?" [[Nis21](#)] mapeia as principais limitações da linguagem, dentre as quais podemos citar as duas que são relevantes em nosso escopo.

A primeira limitação da linguagem é a latência da primeira execução. Isto é, assim que executamos qualquer código Julia pela primeira vez precisamos esperar de segundos a minutos para que seja compilado. Apenas as execuções subsequentes têm a velocidade que lhe é característica. Tal fato virtualmente inviabiliza o uso de Julia em pequenos scripts Unix por exemplo, bem como em aplicações que a responsividade seja sempre chave.

Ademais, a segunda limitação está no fato de aplicações escritas em Julia, mesmo as mais simples, consumirem no mínimo 150MB memória RAM, o que restringe ainda mais as possíveis aplicações para mobile, sistemas embarcados, processos daemon dentre outros.

Finalmente, devido a proposta desse trabalho nos atemos aos aspectos básicos, e apenas mencionamos por vezes o mecanismo da linguagem e construções mais complexas. Dentre os aspectos não considerados temos principalmente questões da engenharia de software em Julia. Como por exemplo os testes de software, os padrões de design da linguagem, medição de performance, o uso de macros.

Aos interessados em aprender a linguagem recomendamos o livro Think Julia [[Lau19](#)], o excelente canal do Youtube "[Julia for talented Amateurs](#)" e principalmente o ótimo site e comunidade de aprendizado [Exercism.com](#) que trás trilhas de aprendizagem para as mais diversas linguagens (inclusive Julia) por meio de exercícios divertidos, com dicas e correções da comunidade. Além de um crescente ecossistema de conteúdo como o curso "Computational Thinking" do MIT (18.S191

MIT Fall 2020) ¹² disponibilizado no [Youtube](#).

Já para se aprofundar na linguagem, o melhor ponto de partida é o seu artigo oficial, onde seus criadores detalham seu design e mecanismo. [BEKS17]

Assim temos em Julia um linguagem com ótimas propostas, limitações bem definidas, e uma comunidade ativamente trabalhando para expandi-la e aprimorá-la. O futuro dirá até onde sua ambição é capaz de chegar.

¹<https://computationalthinking.mit.edu/Spring21/>

²<https://github.com/mitmath/18S191>



Referências Bibliográficas

- [Bal16] Ivo Balbaert. *Julia: high performance programming: learning path*. Packt Publishing, Birmingham, UK, 2016. Citado 2 vezes nas páginas 5 e 11.
- [BEKS17] Jeff Bezanson, Alan Edelman, Stefan Karpinski, and Viral B Shah. Julia: A fresh approach to numerical computing. *SIAM Review*, 59(1):65–98, 2017. Citado 4 vezes nas páginas 5, 6, 19 e 48.
- [BKSE12a] Jeff Bezanson, Stefan Karpinski, Viral B. Shah, and Alan Edelman. Julia: A fast dynamic language for technical computing, 2012. Citado na página 5.
- [BKSE12b] Jeff Bezanson, Stefan Karpinski, Viral B. Shah, and Alan Edelman. Why we created julia, Feb 2012. Citado na página 5.
- [Fan04] Hans Fangohr. A comparison of c, matlab, and python as teaching languages in engineering. In Marian Bubak, Geert Dick van Albada, Peter M. A. Sloot, and Jack Dongarra, editors, *Computational Science - ICCS 2004*, pages 1210–1217, Berlin, Heidelberg, 2004. Springer Berlin Heidelberg. Citado na página 5.
- [Fis36] R. A. Fisher. The use of multiple measurements in taxonomic problems. *Annals of Eugenics*, 7(2):179–188, 1936. Citado na página 35.
- [Klo21] Hayden Klok. *Statistics with Julia*. Springer International Publishing, Berlin Heidelberg New York, 1 edition, 2021. Citado 3 vezes nas páginas 5, 8 e 9.
- [KS00] Autar Kaw and Luke Snyder. Introduction to scientific computing. 2000. Citado na página 8.
- [Kwo20] Tom Kwong. *Hands-on design patterns and best practices with Julia*. Packt Publishing, Birmingham, UK, 1 edition, 2020. Citado na página 11.
- [Lau19] Ben Lauwens. *Think Julia*. O’Reilly Media, Sebastopol, CA, 1 edition, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 11 e 47.

- [Lob19] Antonello Lobianco. *Julia quick syntax reference*. Apress, Berkeley, CA, 1 edition, 2019. Citado 5 vezes nas páginas 6, 11, 18, 22 e 27.
- [NF15] Sebastian Nanz and Carlo A Furia. A comparative study of programming languages in rosetta code. In *2015 IEEE/ACM 37th IEEE International Conference on Software Engineering*, volume 1, pages 778–788. IEEE, 2015. Citado na página 5.
- [Nis21] Jakob Nybo Nissen. What’s bad about julia?, 2021. Citado na página 47.
- [Per19] Jeffrey M. Perkel. Julia: come for the syntax, stay for the speed. *Nature*, 572(7767):141–142, Jul 2019. Citado na página 9.
- [PG07] Fernando Perez and Brian E. Granger. Ipython: A system for interactive scientific computing. *Computing in Science Engineering*, 9(3):21–29, 2007. Citado na página 8.
- [UMZ⁺14] Madeleine Udell, Karanveer Mohan, David Zeng, Jenny Hong, Steven Diamond, and Stephen Boyd. Convex optimization in julia. In *2014 First Workshop for High Performance Technical Computing in Dynamic Languages*, pages 18–28, 2014. Citado na página 9.
- [WAB⁺14] Greg Wilson, Dhavide A Aruliah, C Titus Brown, Neil P Chue Hong, Matt Davis, Richard T Guy, Steven HD Haddock, Kathryn D Huff, Ian M Mitchell, Mark D Plumbley, et al. Best practices for scientific computing. *PLoS biology*, 12(1):e1001745, 2014. Citado na página 8.

Disciplina: Paradigmas de Linguagens de Programação 2021

Linguagem: Linguagem Julia

Aluno: Daniel Brito dos Santos

Data: 29 de novembro de 2021

Ficha de avaliação:

| Aspectos de avaliação (requisitos mínimos) | Pontos |
|--|--------|
| Elementos básicos da linguagem (Máximo: 01 pontos) <ul style="list-style-type: none">• Sintaxe (variáveis, constantes, comandos, operações, etc.)• Usos e áreas de Aplicação da Linguagem | |
| Cada elemento da linguagem (definição) com exemplos (Máximo: 02 pontos) <ul style="list-style-type: none">• Exemplos com fonte diferenciada (Courier , 10 pts, azul) | |
| Mínimo 5 exemplos completos - Aplicações (Máximo : 2 pontos) <ul style="list-style-type: none">• Uso de rotinas-funções-procedimentos, E/S formatadas• Menu de operações, programas gráficos, matrizes, aplicações | |
| Ferramentas (compiladores, interpretadores, etc.) (Máximo : 2 pontos) <ul style="list-style-type: none">• Ferramentas utilizadas nos exemplos: pelo menos DUAS• Descrição de Ferramentas existentes: máximo 5• Mostrar as telas dos exemplos junto ao compilador-interpretador• Mostrar as telas dos resultados obtidos nas ferramentas• Descrição das ferramentas (autor, versão, homepage, tipo, etc.) | |
| Organização do trabalho (Máximo: 01 ponto) <ul style="list-style-type: none">• Conteúdo, Historia, Seções, gráficos, exemplos, conclusões, bibliografia | |
| Uso de Bibliografia (Máximo: 01 ponto) <ul style="list-style-type: none">• Livros: pelo menos 3• Artigos científicos: pelo menos 3 (IEEE Xplore, ACM Library)• Todas as Referências dentro do texto, tipo [ABC 04]• Evite Referências da Internet | |
| Conceito do Professor (Opcional: 01 ponto) | |
| Nota Final do trabalho: | |

Observação: Requisitos mínimos significa a *metade* dos pontos