C Manual

Amanda Araujo

Resumo

Compilado de comandos básicos e estruturas da linguagem de programação C. O guia *4dummies* que eu precisava para relembrar conceitos, sintaxe e implementações em C, mantendo minha sanidade. Devemos sempre ser o nosso melhor colaborador e acho que a futura eu me agradeceria. É um processo em andamento e contínuo*.

Conteúdo

Básico da linguagem de programação C

*Códigos disponíveis no GitHub nos repositórios: lab-icc-I e estrutura-dados-I.

Parte I

Básico da linguagem de programação C

1 Linguagem C

A linguagem de programação C foi criada em 1972 por Dennis Ritchie na empresa AT&T Bell Labs. Características gerais de C:

- Compilada (*vs. interpretada*);
- Estruturada;
- Imperativa;
- Procedural;
- Nível baixo/médio;
- *Case sensitive*: interpreta como diferentes letras maiúsculas de minúsculas.

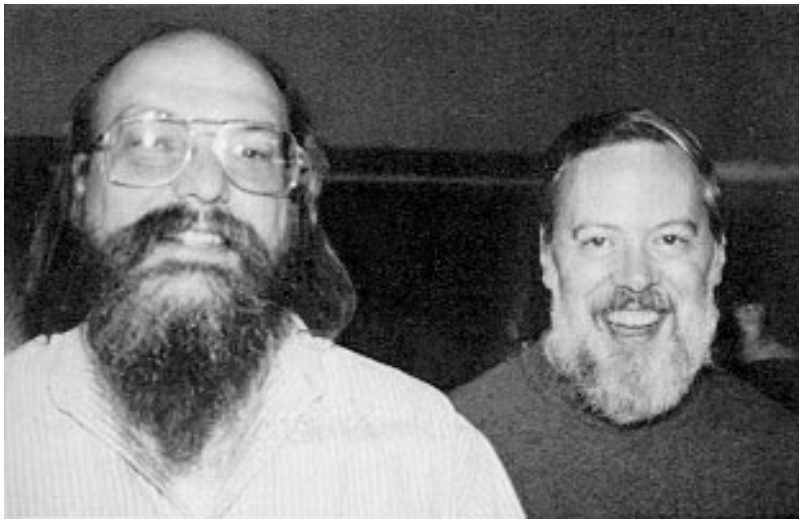


Figura 1: Ken Thompson e Dennis Ritchie (da esquerda para direita), os criadores das linguagens B e C, respectivamente.

Vantagens e desvantagens

A linguagem permite acesso direto à memória e aos recursos do sistema, além de ser capaz de gerar programas extremamente rápidos em tempo de execução.

Uma das principais características da linguagem C é que ela é fortemente tipada, o que significa que o tipo de dado que está sendo manipulado deve ser especificado de forma explícita.

2 Ambiente de trabalho

First things first: *set up* do ambiente de trabalho. Diferentemente de linguagens interpretáveis que rodam diretamente, a linguagem C precisa ser compilada. Ou seja,

mais uma etapa é adicionada, e para rodar códigos em C na sua máquina é preciso baixar e instalar um compilador. O código em si pode ser escrito em qualquer editor de texto, até mesmo no bloco de notas (não recomendável), desde que possua a extensão *.c*. O ideal é usar algum ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), como o Visual Studio Code (VS Code), uma aplicação de software que ajuda os programadores a desenvolver código de software de maneira eficiente

Extra: *debugger*. Ao programar coisas mais complicadas em C, especialmente ao mexer com ponteiros e lidar com estrutura de dados, podem surgir erros mais difíceis de serem identificados. Nessas horas, um programa que te ajude a indicar e localizar os erros é essencial, e para isso temos os depuradores (*debugger*).

3 Códigos simples: aspectos da linguagem

Começando pelo clássico *Hello World!*, temos o primeiro exemplo de um código em C:

```c
#include <stdio.h>

/* Primeiro codigo em C */

int main()
{
    printf("Hello World!\n");
    return 0;
}
```

Nele é possível notar alguns aspectos gerais da linguagem C, presentes em todos os seus códigos:

- `#include`: todo código em C começa tendo como cabeçalho a importação de bibliotecas que contém funções úteis, por meio do comando *include*. As bibliotecas a serem carregadas devem ser enunciadas dentro de <>. O padrão é a importação da biblioteca *stdio.h*, que contém as funções básicas de C, como *printf()* e *getchar()*.

- Tipo da variável: em C, toda variável e função deve ser declarada explicitamente com seu tipo: *int*, *double*, *char*, etc. Nesse caso, temos o tipo `int`, que indica um inteiro.

- `int main()`: indica ao compilador que o programa tem uma função chamada `main` - Todo programa em C tem uma função `main`. Ela é o local de início (*entry point*) da execução de um programa em C.

- Colchetes { }: indica que tudo dentro deles é parte da função, no caso, da função `main`.

- Ponto e vírgula: toda linha de comando em C deve terminar com uma indicação do seu fim, por meio da adição de ponto e vírgula: `;`.

- `return`: toda função em C necessariamente retorna algo e o comando `return` indica o fim da função. Nesse caso, como a `main` é declarada como uma função `int`, ela vai precisar de um inteiro para retornar quando o programa acabar. Um "0" indica que o programa terminou sem erros; qualquer outro número representa problemas.

- Comentários: parte não executada do código, essencial para anotar ou comentar o que foi feito. Tudo o que se encontra entre `/* */` é um comentário, lembrar de sempre abrir e fechá-lo (barras duplas `//` também é um indicativo de comentário, no entanto, apenas da linha em questão).

4 Variáveis

Em C, uma variável é um nome personalizado definido pelo usuário ou legível pelo usuário atribuído a um local de memória. Todas as variáveis em C são declaradas ou definidas antes de serem utilizadas. Uma *declaração* indica o tipo de uma variável. Se a declaração produz também armazenamento (se inicia), então é uma *definição*.

Declarando e definindo variáveis em C. Sintaxe:

```
type variableName = value;
```

Tipos de dados/variáveis (e sua respectiva máscara de formatação):
- `char` (%c): caracteres (1 byte)
- `int` (%d): números inteiros (4 bytes/2 bytes*)
- `float` (%f): número real de precisão simples (4 bytes)
- `double` (%lf): número real de precisão dupla (8 bytes)
- `void`: valor vazio, usado principalmente ao definir funções (0 bytes)

```
1  // Create variables
2  int myNum = 15;             // Integer (whole number)
3  float myFloatNum = 5.99;    // Floating point number
4  char myLetter = 'D';        // Character
5
6  // Print variables
7  printf("%d\n", myNum);
8  printf("%f\n", myFloatNum);
9  printf("%c\n", myLetter);
```

OBS: Em C não há um tipo de variável especial hexadecimal, no entanto, para *printar* valores no formato hexadecimal é necessário utilizar a máscara %x como um especificador de formato no comando `printf()`. O mesmo vale para a leitura por meio de `scanf()` (%x: para alfabeto em letra minúscula a-f; %X: para alfabeto em letra maiúscula A-F).

*Depende do ambiente de execução do programa; ambiente 16-bit: 2 bytes, ambiente 32-bit: 4 bytes.

OBS2: A linguagem C não tem um tipo de dado específico para armazenar valores booleanos (V/F). Em C, o valor booleano é representado por um valor inteiro: 0 significa falso e qualquer `int` $\neq 0$ significa verdadeiro. Em geral, utiliza-se 1 para representar o valor verdadeiro.

```
1    //To make life easier, C Programmers typically define the terms "
     true" and "false" to have values 1 and 0 respectively.
2
3    //In the old days, this was done using #define:
4    #define true 1
5    #define false 0
6
7    //Today it is better to use const int instead of #define:
8    const int true = 1;
9    const int false = 0;
10
11   typedef int bool;
```

Estendendo um pouco mais... Diferença entre *variáveis* vs. *nomes*

De maneira contrastante, as variáveis em C são fundamentalmente diferentes das variáveis em Python. Python não tem variáveis: *Python has names, not variables.*

Ao declarar uma variável em C (`int x = 2337;`), diferentes passos são executados:

1. Alocação de memória suficiente para o tipo de variável, *p.ex.* um inteiro;
2. Atribuição do valor aquele local de memória;
3. Indicação de que o nome da variável aponta para o valor.

É possível alterar o valor de `x` (variável mutável), sobrescrevendo seu valor anterior no mesmo local de memória, *i.e.* `x` é o local de memória, não somente um nome para ele. Isso pode ser pensado como posse, em certo sentido, `x` possui o local de memória.

Em Python, por outro lado, não há variáveis, apenas nomes. O nome `x` em Python não possui diretamente nenhum endereço de memória - é criado um objeto cujo valor é definido e um nome `x` que lhe é dado -, enquanto a variável `x` em C possui um *slot* estático na memória. Ao se alterar o valor de `x`, o que ocorre em Python é a criação de uma referência a um novo objeto, que não possui o espaço de memória como antes. Além disso, o objeto anterior agora passa a possuir um *ref count* de 0, e será limpo, liberando memória, pelo *garbage collector*. Em resumo, em Python não se atribui valores a variáveis, ao invés disso, nomes são vinculados a referências.

Tudo isso pode parecer um pouco confuso e até mesmo abstrato, no entanto, essas ideias ficam mais claras ao se deparar com conceitos como o de ponteiros, presentes explicitamente em C, mas ausentes em Python. Essas diferenças surgem das propostas de cada linguagem de programação e com qual premissa elas foram criadas. C é tida como linguagem de "baixo nível" - visando tornar manipuláveis aspectos mais ligados ao hardware (memória, por exemplo) e tirar vantagem direta de sua arquitetura, permitindo um controle fino sobre os recursos do sistema -, enquanto Python foi projetada

para ser de “alto nível” - alta abstração, facilitando seu uso por programadores, que passam a estar mais livres para focar na resolução de problemas, ao invés de nos detalhes de implementação de baixo nível.

5 Operadores

Para realizar operações entre as variáveis, existem operadores de diferentes naturezas: aritméticos (1), relacionais (2) e lógicos (3), que representam as operações aritméticas básicas, estabelecem relações/comparações e representam operações baseadas na lógica matemática, respectivamente.

Operação	Operador
Adição	+
Subtração	−
Multiplicação	*
Divisão	/
Resto	%
Incremento	++
Decremento	−−

Tabela 1: Operadores aritméticos

Operação	Operador
Igualdade	==
Diferença	!=
Maior	>
Maior ou igual	>=
Menor	<
Menor ou igual	<=

Tabela 2: Operadores relacionais

Operação	Operador
Negação	!
Conjunção (e)	&&
Disjunção (ou)	||

Tabela 3: Operadores lógicos

Operador de derreferência (*): usado para acessar o conteúdo de uma posição de memória, cujo endereço está armazenado em um ponteiro.

Operador de endereço (&): usado para se referir ao endereço da variável valor e não

ao conteúdo da mesma ao se atribuir um endereço a um ponteiro.

Operador ponto (.): acessa um campo (ou membro) de uma *struct*.

Operador seta (->): acessa um campo (ou membro) de uma `struct` por meio de ponteiros. É uma desreferência do ponteiro contido no membro, indica que deve pegar o valor apontado pelo ponteiro no membro; um exemplo de *syntactic sugar**.

Outros tipos de operadores: operadores de manipulação de bits (*bitwise*), operadores de atribuição (= e combinação de = com outros para abreviar expressões), operador série (,), operador de conversão de tipos, *etc.*

Syntactic sugar

Um açúcar sintático (*syntactic sugar*), termo criado por Peter J. Landin em 1964, é uma sintaxe dentro da linguagem de programação cuja finalidade é tornar suas construções mais fáceis de serem lidas e expressas. Ela faz com que o uso da linguagem se torne "mais doce"para o uso humano, permitindo que suas funcionalidades sejam expressas mais claramente, mais concisamente ou, ainda, como um estilo alternativo preferido por alguns.

---

6 Estruturas de controle

Estruturas de controle são mecanismos que permitem controlar o fluxo de execução de um programa. Elas determinam a ordem em que as instruções são executadas com base em condições ou *loops*. Elas podem ser simples comandos (Figura 2) ou funções (Seção 9).

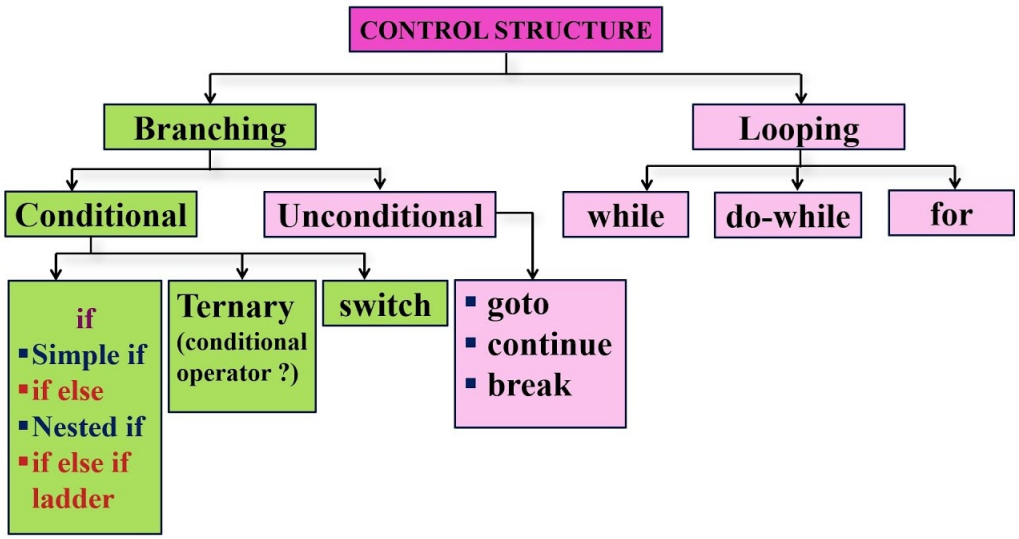


Figura 2: Tipos de estruturas de controle em C.

6.1 Estruturas condicionais

6.1.1 if else

Sintaxe básica:

```
if (condição) {
    // Código a ser executado se a condição for verdadeira;
} else {
    // Código a ser executado se a condição não for verdadeira;
}
```

6.1.2 Switch case

O comando `switch case` é uma forma de reduzir a complexidade de vários `if` & `else` encadeados. É muito utilizado, principalmente para uso em estruturas de menu. O conteúdo de uma variável é comparado com um valor constante, e caso a comparação seja verdadeira, um determinado comando é executado.

```
switch (expression)
{
case /* constant-expression */:
    /* code */
     break;

    default:
    break;
}
```

Atenção: Não é possível declarar uma variável dentro de um caso do switch.

Um engano muito comum é as pessoas acharem que o `case` é um bloco de comandos e gera um novo escopo. Na verdade, o `case` é apenas um *label*. Então é apenas um nome para um endereço do código usado para provocar um desvio. Na verdade, um `switch` é apenas um `goto` baseado em um valor. Vale para o `switch`, assim como também não se pode declarar uma variável dentro de um `if`.

6.2 Estruturas de repetição: *Loops*

As estruturas de comando de repetição em C (`for`, `while` e `do-while`) são usadas para criar *loops* que executam um bloco de código repetidamente enquanto uma condição específica for verdadeira.

6.2.1 For

Sintaxe básica:

```
for (inicialização; condição; atualização) {
    // Código a ser executado repetidamente;
}
```

6.2.2 While

Sintaxe geral:

```
while (condição) {
    // Código a ser executado repetidamente;
}
```

7 Vetores e matrizes

Vetores e matrizes em C são coleções de **variáveis de um mesmo tipo**, acessíveis com um único nome e armazenados contiguamente na memória. Um vetor é uma estrutura de dados indexada, *i.e.* as variáveis armazenadas (itens) são acessadas por meio de um índice próprio. Vetores são matrizes de uma dimensão.

Atenção: Em C o index começa no 0.
OBS: O último elemento de um vetor pode sempre ser acessado pelo índice -1.

Sintaxe da declaração de um vetor/matriz:

```
tipo nomeVetor[TAM];
tipo nomeMatriz[NLIN][NCOL];
```

Ao se declarar um vetor/matriz em C, é preciso explicitar, além do tipo de variável a ser armazenada (`int`, `float`, etc.), a quantidade de memória a ser reservada para tal, indicada entre colchetes [ ].

Preenchimento e acesso aos elementos: realizado com o uso de índices, indicado entre colchetes [ ] após seu nome:

```
1    int Vetor[5];   // declara um vetor de 5 posicoes
2    int Matriz[5][3]; // declara uma matriz de 5 linhas e 3 colunas
3
4    Vetor[0] = 9; // coloca 9 na primeira posicao do vetor
5    Vetor[-1] = 30 // coloca 30 na ultima posicao do vetor
6    Matriz[0][1] = 15; // coloca 15 na 1a linha e 2a coluna da matriz
7
8    //Colocar os numeros de 1 a 5 em Vetor
9     for(int i = 0; i < 5; i++){
10      Vetor[i] = i + 1;
11   }
```

Uso de constantes para definir o tamanho de um vetor ou matriz (`#define`):

```
1    #define NLIN 10
2    #define NCOL 5
3    int Matriz[NLIN][NCOL];
4
5    //Preencher uma matriz com um dado
6   for(int i = 0; i < NLIN; i++) {
7       for(int j = 0; j < NCOL; j++) {
```

```
            Matriz[i][j] = 30;
        }
    }
```

É possível já no momento de criação do vetor/matriz passar sua lista de valores, entre colchetes { } (declaração e definição em conjunto). Nesse caso, os colchetes retos [ ] aparecem não preenchidos:

```
int myNumbers[] = {25, 50, 75, 100};
```

Atenção: Cuidado com os limites de vetores e matrizes! A linguagem C não faz nenhum teste de verificação dos índices usados para acessar os elementos de um vetor. Isto significa que, se estes limites não forem respeitados, resultados indesejados serão obtidos, serão cuspidos valores espúrios sem aviso de erro. Exemplo (vetor de tamanho 5 e *print* de 10 elementos):

```
#include <stdio.h>

int main(){

    int Vetor[5];

    for(int i = 0; i < 5; i++) Vetor[i] = i + 1;
    for(int i = 0; i < 10; i++) printf("%d ", Vetor[i]);

    return 0;
}
```

```
1 2 3 4 5 32766 50827776 1247028395 0 0
```

8 Ponteiros

Um ponteiro (ou apontador) é uma variável capaz de armazenar um **endereço de memória** ou o endereço de outra variável. Ponteiros podem apontar para qualquer tipo de variável, portanto temos ponteiros para `int`, `float`, `char`, etc.

Utilidade dos ponteiros: úteis quando uma variável precisa ser acessada em diferentes partes do programa. Situações exemplo:

- Alocação dinâmica de memória;
- Manipulação de arrays;
- Para retornar mais de um valor em uma função;
- Referência para listas, pilhas, árvores e grafos.

O uso de ponteiros permite uma maior eficiência no código.
Sintaxe de declaração de um ponteiro:

```
tipo *nome_Ponteiro;
```

Note que: importantíssimo, é o asterisco `*` que indica que se trata de um ponteiro.

Após a criação de um ponteiro, é necessário dizer para quem ele aponta, *i.e.* realizar a atribuição do endereço da variável de interesse, de mesmo tipo, ao ponteiro:

```
nome_Ponteiro = &valor;
```

Note que: importantíssimo, é o operador de endereço `&` que indica que se trata do endereço da variável, e não seu valor.

```c
#include <stdio.h>
void main()
{
  int a;
  int b;
  int c;
  int *ptr;  // declara um ponteiro para um inteiro
             // um ponteiro para uma variavel do tipo inteiro
  a = 90;
  b = 2;
  c = 3;
  ptr = &a;
  printf("Valor de ptr: %p, Conteudo de ptr: %d\n", ptr, *ptr);
  printf("B: %d, C: %d", b, c);
}
```

Ponteiros permitem uma manipulação a um nível mais profundo, lidando diretamente com a memória, o que torna a linguagem C altamente flexível e poderosa, mas também pode abrir a porta para erros mais críticos. Embora os ponteiros sejam poderosos e versáteis, eles também podem ser fontes de erros difíceis de depurar, como vazamentos de memória e falhas de segmentação, os infames e rechaçáveis "*memory leak*" & "*segmentation fault*".

9 Funções

Uma função em um código de programação é uma sub-rotina de um programa. Funções são blocos de código que realizam tarefas específicas e podem ser definidas e chamadas pelo programa principal (`main()`) ou por outras funções. O seu uso permite a separação do programa em partes (blocos) que possam ser logicamente compreendidos de forma isolada, facilitando sua leitura. Além disso, funções permitem o reaproveitamento de códigos e contribuem para evitar repetições de um mesmo trecho de código repetidamente para execução de uma mesma tarefa.

Sintaxe básica:

```
tipo nome_função(parâmetros) {
    //Corpo da função;
    return valorRetorno;
}
```

Exemplo de uma função simples:

```
1  int soma(int a, int b) {
2      int resultado;
3      resultado = a + b;
4      return resultado;
5  }
```

Elementos de uma função:

- Tipo (`tipo`): uma função sempre apresenta um tipo, referente ao tipo esperado do seu valor de retorno (`int`, `float`, `void` *etc.*).
- Nome da função: nomeia a função e indica como ela será chamada para ser executada futuramente.
- Declaração de parâmetros: entre parêntesis, uma listagem explicita de todos os parâmetros necessários para a execução da função, com seu respectivo tipo. É opcional.
- Colchetes { }: delimitam a função, indica que tudo dentro deles é parte da função.
- Corpo da função: contém as instruções e comandos a serem realizados como tarefa específica da função.
- `return`: toda função em C necessariamente retorna algo (a menos que se trate de uma função do tipo `void`) e o comando `return` indica o fim da função, juntamente com o valor a ser retornado. Uma função em C retorna apenas **um único valor**, porém isso pode ser contornado de maneiras indiretas (Seção 9.3).

Importante: escopo de variáveis, *i.e.* bloco de código onde as variáveis são válidas. Note que é possível declarar variáveis dentro das funções. Nesse caso, elas recebem o nome de **variáveis locais** (em contraposição às variáveis globais). Variáveis locais definidas dentro de uma função *não* são acessíveis em outras funções, mesmo que as variáveis apresentem nomes idênticos.

9.1 Localização das funções no código-fonte

Localização das funções no código-fonte

Via de regra geral:

Toda função deve ser *declarada* antes de ser usada.

Lembrando, declaração é diferente de definição. A declaração envolve anunciar qual o *tipo* da variável ou função, enquanto na definição ocorre a atribuição de um valor. No caso das funções, no momento em que definimos uma função, está implícita sua declaração (`tipo nome_função()`). Como funções são blocos de código independentes, úteis para encurtar e deixar o código principal simples e enxuto, sua definição pode (e deve) ficar localizada fora da `main()`.

Como o lema diz, a linguagem C exige que toda função seja *declarada* antes do seu

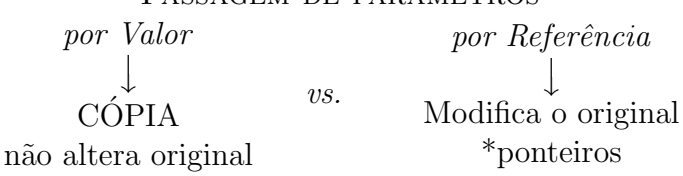
uso, de modo que é possível apresentar um código-fonte claro com o bloco correspondente à função `main()` primeiro, seguida da *definição* de todas as funções auxiliares empregadas. Para tal, basta anunciar acima da `main()` as funções a serem usadas, como um pequeno *spoiler* do que virá. Esta declaração é feita através do **protótipo** da função, que nada mais é do que um trecho de código (uma linha) que especifica o nome e os parâmetros da função.

```
1   #include <stdio.h>
2
3   int SOMA(float a, int b);  // Prototipo da funcao SOMA
4
5   int main()
6   {
7       SOMA(16.7,15);  // Chamada da funcao SOMA antes de sua
                        // definicao, mas apos sua prototipacao
8       return 0;
9   }
10
11  int  SOMA(float a, int b)  // Definicao da funcao SOMA
12  {
13     float result;     // a declaracao de variaveis igual ao que
14                       // se faz na funcao main
15     result = a+b;
16     printf("Soma de %f com %d: %6.3f\n", a, b, result);
17     return 0;
18  }
```

9.2 Passagem de parâmetros: por valor *vs.* por referência

Passagem de parâmetros para funções

A finalidade dos parâmetros é fazer a comunicação entre as funções e a função principal. Chamamos de passagem de parâmetros a passagem de valores entre as funções. Existem duas formas de passar parâmetros para uma função:



A passagem de parâmetros *por valor* é o que tem sido feito até então nos exemplos, onde os parâmetros declarados são variáveis. Ao serem usados na função, é feita uma *cópia* do valor da variável, que é usada e modificada, enquanto a variável original se mantém inalterada. Já a passagem de parâmetros *por referência* é feita utilizando *ponteiros*, que contém o endereço de memória da variável e permite a alteração do conteúdo da variável original usando-se esta referência. Ou seja, o valor da variável passada como argumento é modificado não somente no bloco da função, mas afetando todo o código.

Passar por referência é recomendado no caso de tipos complexos, como é o caso de

uma `struct`. Embora a passagem da cópia gaste mais memória, esta permite um acesso mais rápido dos valores, atualmente priorizado, dado que normalmente memória não é mais um problema.

Exemplo de passagem de parâmetros por valor e por referência:

```c
#include <stdio.h>

void soma(int a);     // Prototipo Passagem por valor
void somaref(int *a); // Prototipo Passagem por referencia

int main(void)
{
  int numero;
  printf("Digite um numero: ");
  scanf("%d", &numero);

  printf("O numero digitado: %d \n", numero);

  soma(numero);  //chamada da funcao
  printf("Agora o numero vale (por valor): %d \n", numero);

  somaref(&numero);  //chamada da funcao com ponteiro como parametro
  printf("Agora o numero vale (por referencia): %d \n", numero);
  return 0;
}

// Passagem por valor
void soma(int a)
{
    a = a + 10;
    printf("Soma por valor: %d\n", a);
}

// Passagem por referencia
void somaref(int *a)
{
    *a = *a + 10;
    printf("Soma por referencia: %d\n", *a);
}
```

```
Digite um numero: 10
O numero digitado: 10
Soma por valor: 20
Agora o numero vale (por valor): 10
Soma por referencia: 20
Agora o numero vale (por referencia): 20
```

Note que: a função `soma` que recebe o parâmetro por valor realiza sua operação e ao final o valor do número original se mantém o mesmo. Em contraste, a função `somaref` recebe o argumento por referência e ao final sua operação altera o valor da variável original, que é perdido.

Providências para se passar o endereço de uma variável para uma função:

1. Na chamada da função deve-se usar o operador de endereço & antes do nome da variável;
2. No cabeçalho da função, declarar o parâmetro como um ponteiro;
3. Dentro da função, deve-se usar o operador de derreferência * para alterar o conteúdo da variável.

9.3 Retorno de múltiplos valores em uma função

A linguagem C permite o retorno direto de apenas **um único valor** para uma dada função. No entanto, há maneiras de se contornar essa limitação, por meio de métodos indiretos:

- Uso de ponteiros;
- Uso de estruturas;
- Uso de arrays.

Retorno de múltiplos valores usando ponteiros

É simples: basta passar o argumento para função *por referência* (endereço de memória) e fazer mudanças utilizando ponteiros (Seção 9.2). Dessa forma, os valores são alterados no argumento original, e são mantidas mesmo fora do ambiente da função.

10 Estruturas (Struct)

Até então, a linguagem de programação C já vem equipada com diversos tipos de dados: `char`, `int`, `float`, *etc.* Contudo, muitas vezes desejamos poder usar construtos que misturem tipos de dados distintos, e que agreguem informações sobre um mesmo ente. Nesses casos, é possível criar um tipo complexo de dado (dado derivado) ou uma (nova) estrutura de dados em C. Uma delas[†] são as **estruturas**.

As estruturas (ou registros) são coleções de dados, normalmente de tipos diferentes, que atuam como um todo, permitindo o armazenamento de uma só vez dos dados de uma mesma entidade. Podem conter tipos de dados simples (caractere, float, array e enumerado) ou compostos (estruturas, array ou uniões). As variáveis internas contidas no registro são denominadas *membros* da `struct`. Sintaxe geral:

```
1    struct NomeDaEstrutura {
2       tipoDeDado membro1;
3       tipoDeDado membro2;
4       // Pode ter mais membros...
5    };
```

[†]Outras estruturas de dados, além das estruturas, seriam as arrays, uniões, cadeias e campos de bits.

Um exemplo clássico:

```
struct Aluno {
   char nome[50];
   int idade;
   float nota;
};
```

10.1 Criando structs: typedef

O comando `typedef` permite ao programador definir um novo nome para um determinado tipo. Sua forma geral é:

```
typedef antigo_nome novo_nome;
```

Como exemplo vamos dar o nome de inteiro para o tipo `int`:

```
typedef int inteiro;
```

Agora podemos declarar o tipo inteiro. O comando typedef também pode ser utilizado para dar nome a tipos complexos, como as estruturas. As estruturas criadas poderiam ser definidas como tipos através do comando typedef. O exemplo ficaria:

```
#include <stdio.h>

typedef struct tipo_endereco {
    char rua [50];
    int numero;
    char bairro [20];
    char cidade [30];
    char sigla_estado [3];
    long int CEP;
    } TEndereco;

typedef struct ficha_pessoal {
    char nome [50];
    long int telefone;
    TEndereco endereco;
    }TFicha;

void main(void){
    TFicha *ex;
    //...
}
```

A sentença `typedef` é utilizada para atribuir um nome novo a um tipo de dado derivado ou básico. `typedef` não define um novo tipo, mas simplesmente um nome novo para um tipo existente:

```
typedef struct {
   float x;
   float y;
} PONTO;
```

A declaração de uma variável de tipo `PONTO`: Ponto de origem = {0.0, 0.0}.

OBS: Os exemplos de `struct` lembram um pouco a funcionalidade dos dicionários em Python... Na linguagem de programação C, não existe uma estrutura de dados nativa chamada "dicionário" como em Python. Em Python, um dicionário é uma coleção associativa que mapeia chaves para valores, permitindo que você armazene e recupere valores com base em suas chaves.

Em C, você não tem um tipo de dado nativo chamado "dicionário" com a mesma facilidade de uso e funcionalidade integrada. No entanto, você pode implementar um dicionário ou uma estrutura de mapeamento semelhante usando outras estruturas de dados disponíveis na linguagem, como *arrays*, *structs* e até mesmo ponteiros para funções. Isso requer mais código e trabalho manual em comparação com a simplicidade de um dicionário em Python.

10.2 Acessando e alterando campos de structs

Os campos (ou membros) de uma `struct` podem ser acessados e alterados por meio do uso do operador ponto (.), caso se trate de uma variável do tipo da `struct` em questão, ou operador seta (->), caso se trate de um ponteiro:

```
1     typedef struct ficha_pessoal
2             {
3             char nome [50];
4             long int telefone;
5             TEndereco endereco;
6             }TFicha;
7
8     TFicha ficha1;  //Variavel do tipo TFicha
9     TFicha *ficha2; //Ponteiro do tipo TFicha
10
11    ficha1.telefone = 35353035;    //Operador ponto
12    ficha2 -> telefone = 35353035; //Operador seta (ponteiro)
13    (*ficha2).telefone = 35353035; //Operador ponto + derreferencia
14                                   //equivalente ao comando de cima
```

Parte II

Estrutura de Dados

Programa

Funções Recursivas. Introdução a análise de algoritmos: notação assintótica, análise do pior caso, melhor caso. Tipos abstratos de dados. Listas lineares: sequenciais, simplesmente e duplamente encadeadas, estáticas e dinâmicas. Pilhas, filas, filas de prioridade. Aplicações: matrizes esparsas e grandes números. Listas generalizadas: polinômios. Listas não-lineares: árvores, árvores binárias, operações básicas sobre árvores. Árvores binárias de busca, árvores binárias de busca balanceadas (AVL).

11 Funções recursivas

11.1 Recursão

Recursividade é o ato de chamar a si mesmo; propriedade de função, programa ou afim que se pode invocar a si próprio; do latim *recursio*, -onis, corrida de volta, retorno revolução* (Seção 11.1).

Figura 3: Ilustração de recursividade.

*Dicionário Priberam da Língua Portuguesa

Na lógica matemática e em ciência da computação, uma *definição recursiva* é usada para definir um objeto em termos de si próprio. Em computação, recursão pode ser empregada como um método de resolução de problemas, que consiste em quebrá-lo em casos menores do mesmo problema, ou, em outras palavras, em subproblemas (instâncias) do mesmo tipo do problema original (Fig 4): *dividir para conquistar*. No contexto de funções recursivas e algoritmos, pode-se separar as recursões em duas partes igualmente importantes:

- ***Casos base***: *inputs* para o qual a resposta da função é trivial;
- ***Casos recursivos***: *inputs* para os quais a função chama a si própria.

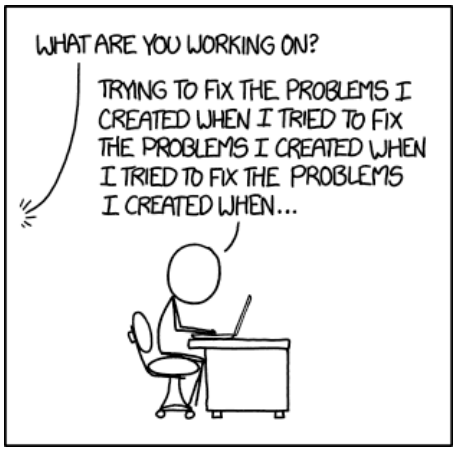


Figura 4: Resolvendo problemas por recursão.

Para garantir que não se caia em uma circularidade perigosa, desprovidos de esperança de sair de um *loop* eterno - que consumiria toda a memória disponível, é fundamental, além da lei da função de recursão, se definir um (ou mais) *casos base*. São eles os responsáveis por garantir que tenhamos uma solução para um problema pequeno o suficiente. Como os casos base quebram a cadeia de recursão, são também designados por "terminating case" (casos de encerremento).

Um dos exemplos matemáticos mais famosos e práticos, envolvem o fatorial de um número, a sequência de Fibonacci e a torre de Hanói.

Alguns fatos importantes para se ter em mente quando se fala de recursão e iteração em programação...

- Todo problema com solução recursiva pode ser resolvido iterativamente, no entanto, nem sempre é o caminho intuitivo dada a natureza do problema;
- Toda função recursiva é passível de ser reformulada como uma função iterativa;
- Há linguagens de programação que não suportam recursão, *i.e.* uma função chamando a ela própria;
- A solução recursiva geralmente é mais cara em termos computacionais de tempo e espaço de memória do que uma solução iterativa;

11.2 Iteração *vs.* Recursão

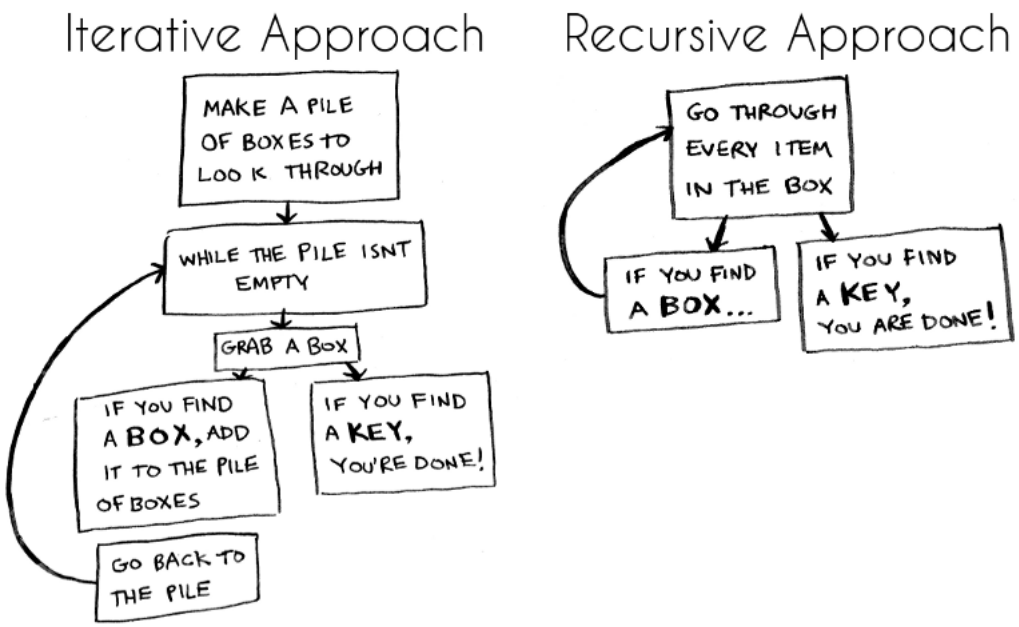


Figura 5: Programa iterativo *vs.* recursivo

Exercício. Determine o que a seguinte função recursiva em C calcula. Escreva uma função iterativa para atingir o mesmo objetivo.

```
1    func (int n)
2    {
3        if (n == 0)
4            return(0);
5        return(n + func(n-1));
6    }
```

Identificação das partes principais da função recursiva dada:

- Caso base: $f(0) = 0$
- Caso recursivo: $f(n) = n + f(n-1); \quad n > 0$

Testando para alguns valores de n:

$f(0) = 0$

$f(1) = 1 + f(0) = 1 + 0 = 1$

$f(2) = 2 + f(1) = 2 + 1 + f(0) = 2 + 1 + 0 = 3$

$f(3) = 3 + f(2) = 3 + 2 + f(1) = 3 + 2 + 1 + f(0) = 3 + 2 + 1 + 0 = 6$

Procurando por um padrão, vemos que a recursão tem por objetivo retornar a soma dos naturais (considerando $0 \in N$) até n: $\sum_{i=0}^{n} i$.

```
1    // funcao iterativa
2    int soma (int n)
3    {
4        return((n + 1)*n/2); // soma de Gauss
5    }
```

12 Análise de algoritmos

Algoritmos são conjuntos de instruções para se realizar certa tarefa e obter uma resposta. Para se solucionar um problema computacional, algoritmos são *implementados* em uma certa linguagem de programação, em um ambiente de trabalho, sujeitos a compiladores e ao processador empregados para tal, *etc.* Invocando Platão, os algoritmos habitam o mundo das ideias, consistem na essência, enquanto os **programas** vivem no mundo sensível, a realidade imperfeita com a qual nos defrontamos no dia-a-dia, que influenciam o desempenho prático do algoritmo. Portanto, deve-se prestar atenção para a utilização dos termos de maneira intercambiável: algoritmo $\neq$ programa. Isso posto, a comunidade de computação começou a pesquisar formas de comparar *algoritmos* de forma independente de hardware, linguagem de programação, habilidade do programador, entre outros fatores externos. Portanto, quer-se comparar algoritmos e não programas.

A **análise de complexidade** de algoritmos é uma etapa fundamental de boas práticas na Ciência da Computação e consiste em estimar uma previsão para o desempenho do código implementado em termos do **número de computações** efetuadas. De modo geral, o melhor algoritmo é aquele capaz de resolver o problema com o menor número de operações sobre a entrada, pois é o mais rápido. É importante ressaltar que esse tipo de análise encontra sentido e utilidade no caso assintótico, para o qual o tamanho da entrada assume valores grandes ($n \to \infty$), que de fato vão exigir poder computacional e tempo para serem resolvidos.

A notação *Big Oh* é, entre outras, a mais usada quando se fala em complexidade e permite comparar a taxa de crescimento das funções correspondentes aos algoritmos, conforme o tamanho do *input* aumenta (Fig 6).

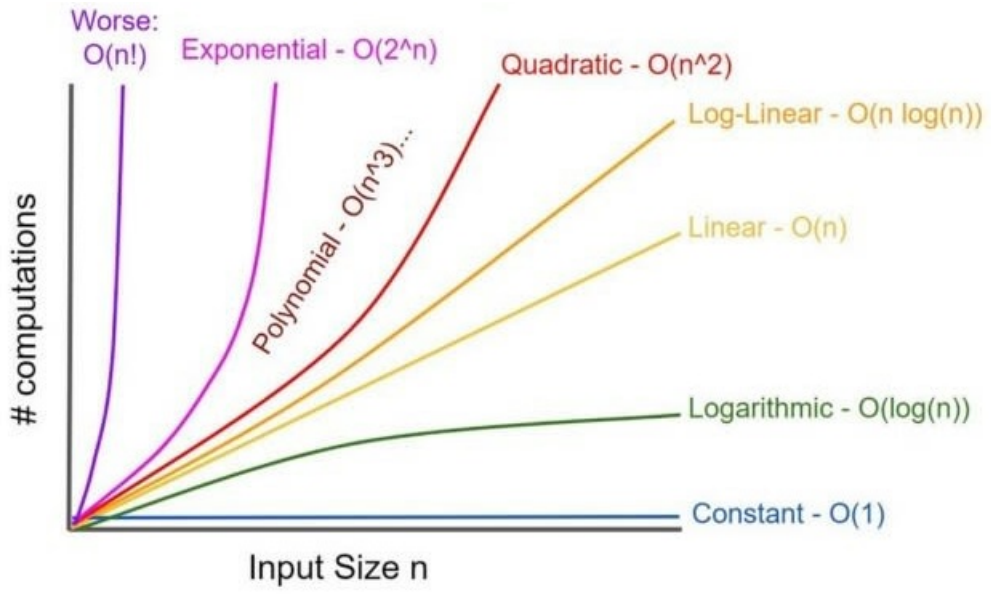


Figura 6: Complexidade de algoritmos - Big Oh

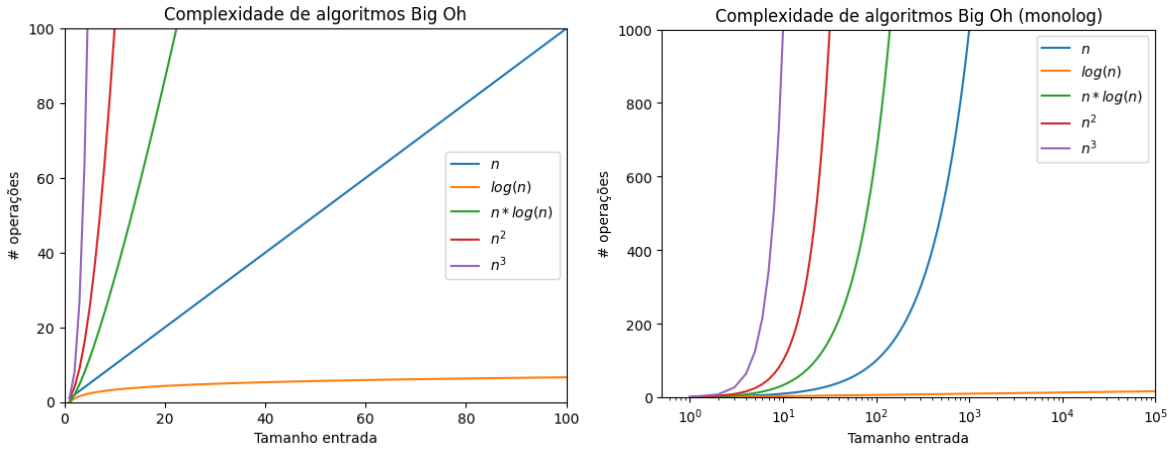


Figura 7: Complexidade de algoritmos - Big Oh, representação do comportamento das curvas em escala linear (*à esquerda*) e mono-log *à direita*.

Para a análise de *Big Oh*, o importante é o **termo de maior ordem** da contagem de operações, de modo que um algoritmo de $3n^2 + n$ operações é da ordem de $\mathcal{O}(n^2)$. Além disso, de modo geral, cada *loop* contribui com um termo n; *for* encadeados m-vezes elevam o número de operações a m-ésima potência de n, devendo ser evitados quando possível, devido ao alto custo computacional.

13 Listas lineares

Lista linear é uma estrutura de dados na qual elementos de um mesmo tipo de dado estão organizados de maneira sequencial. Não necessariamente, estes elementos estão fisicamente em sequência, mas a ideia é que exista uma ordem lógica entre eles. Cada elemento, exceto o primeiro, possui um e apenas um antecessor, e cada elemento, exceto o último, possui um e apenas um sucessor.

Alocação de uma lista na memória

1. Sequencial (ou contígua): ordem lógica = ordem física
2. Encadeada: ordem lógica ≠ ordem física

Operações com listas

- Criação de uma lista
- Remoção de uma lista
- Inserção de um elemento da lista
- Remoção de um elemento da lista
- Acesso de um elemento da lista
- Alteração de um elemento da lista
- Cópia da lista

- Localizar nodo[‡] através de info

As operações com a lista são implementadas separadamente, por meio de funções de gerenciamento (modularização do código).

Implementação de listas lineares

A implementação de listas lineares é feita por meio da criação e definição de estruturas: uso de `struct`'s. Existem diversos modelos de listas lineares, cada uma apresentando características próprias que devem ser respeitadas e incluídas ao se definir a estrutura em questão.

13.1 Listas lineares sequenciais

Lista cuja alocação na memória ocorre de maneira contígua, assim como a ordem lógica dos elementos. Ou seja, elementos adjacentes da lista ocupam posições vizinhas na memória física: ordem lógica = ordem física.

Vantagens	*Desvantagens*
✓Acesso direto pelo índice	× Exige grandes movimentações para inclusão e exclusão de elementos
✓Tempo é constante	

A forma mais comum de implementação: uso de um vetor de elementos estático do tipo `REGISTRO` de tamanho `MAX`:

```
1   // Definicao da estrutura: lista linear sequencial
2   #define MAX 50 // Tamanho vetor
3
4   typedef struct{
5       int chave;
6       // outros campos...
7   } REGISTRO;
8
9   typedef struct {
10      REGISTRO A[MAX]; // Vetor de elementos
11      int nElem;       // Numero de posicoes efetivamente ocupadas
12  } LISTA_LINEAR_SEQ;
```

- A estrutura `REGISTRO` é a que define e guarda informação de cada nó. Nesse caso, um nó contém apenas sua `chave`, que é o valor a ser armazenado;
- A lista sequencial é definida de fato em uma outra `struct`: `LISTA_LINEAR_SEQ`. Nessa estrutura, temos no caso duas informações:
    - Um vetor `A[MAX]` do tipo `REGISTRO`, que armazenará os múltiplos nós que comporão a lista;
    - Um inteiro `nElem` para indicar quantos nós a lista tem de fato, *i.e.* estão preenchidos.

[‡]Cada elemento da lista é chamado de nó, ou nodo.

13.2 Listas ligadas (ou encadeadas)

Lista linear na qual a ordem lógica dos elementos da lista ("nós") não necessariamente coincide com sua posição física na memória: ordem lógica $\neq$ ordem física.

O diferencial das listas ligadas (ou encadeadas) é que elas surgem para lidar melhor com a tarefa de inserção e exclusão de elementos em listas. Se em uma lista sequencial a adição ou retirada de um elemento em uma posição n implica no reposicionamento de todos os outros elementos seguintes para a casa vizinha, ação que exige muitas movimentações e operações, a lista encadeada contorna o problema com uma simples solução: permite que os dados ocupem qualquer posição em termos do endereço de memória, para tal criando um sistema de gerenciamento dos nós que guarda a informação da sua ordem e quais nós estão livres e ocupados.

Note que esse tipo de estrutura só é possível em linguagens que permitam a manipulação de memória, como C.

13.2.1 Implementação estática

A implementação estática de uma lista ligada (ou encadeada) se baseia no uso de vetores e inteiros. Consiste em uma `struct` para o nó e outra para lista em si. Elementos essenciais:

→ `Lista ligada`:
- Vetor de `REGISTRO`: guarda os nós presentes na lista;
- Campo `inicio`: indica o início da estrutura;
- Campo `dispo`: indica o início das posições livres da lista.

→ `REGISTRO`:
- Campo `chave` (e outros);
- Campo `prox`: indica o sucessor do elemento.

Na prática, `inicio` e `dispo` são as entradas de duas listas que compartilham o mesmo vetor, sendo uma para os elementos efetivos da lista, e a outra para armazenar as posições livres.

```
1    // Definicao da estrutura: lista ligada estatica
2    #define MAX 50
3
4    typedef struct{ // NO
5        int chave;  // Valor do no
6        int prox;   // Sucessor do no
7    } REGISTRO;
8
9    typedef struct{ // LISTA
10       REGISTRO A[MAX]; // Vetor de nos
11       int inicio;      // Indica primeiro nO efetivo (ocupado)
12       int dispo;       // Inicio posicoes livres
13   } LISTA_LIGADA_ESTATICA;
```

Inicialização da lista

Função `void`: tarefa que exige a passagem da lista por referência, alteração da lista original. Para inicializar uma lista, seja ela qual for, é preciso, após declará-la, preencher todos os seus campos. No caso da lista ligada estática, isso implica em associar um valor para os campos `inicio`, `dispo`, e, como a lista será apenas criada (mas não preenchida), encadear os nós, preenchendo o campo `prox` do vetor de `REGISTRO`.

Campo	Valor inicial
`inicio`	-1
`dispo`	0
`A[i].prox`	i + 1
`A[MAX - 1].prox`	-1

Tabela 4: Valores de inicialização dos campos da lista ligada estática

Na criação da lista, não há nós preenchidos, portanto, `inicio` = -1 (índice fora do vetor), indicando que a lista está vazia. Por outro lado, a lista estar vazia implica que todos os nós a partir do primeiro (índice 0) estão disponíveis, logo `dispo` = 0. É preciso encadear os nós, ligá-los entre si, sendo isso feito através da associação do campo `prox` de cada elemento (nó) do vetor de `REGISTRO` ao índice do elemento sucessor. Como estamos implementando com o uso de vetor, `A[i].prox` é simplesmente a posição do índice seguinte do elemento: i + 1, para todos, exceto para o último, que não apresenta sucessor: `A[MAX - 1].prox` = -1 (fim da lista). E *voilà*: *fiat* lista ligada estática!

Exibição da lista

É importantíssimo ter em mente, que o importante é a todo custo manter a *ordem lógica* entre as informações e valores armazenados na lista. Ao se exibir a lista ligada, deseja-se os seus elementos em ordem lógica (não a ordem conforme foram adicionados à memória).

```
1    // * Exibicao da lista
2    void exibirListaLigEstat(LISTA_LIGADA_ESTATICA lista){
3        int i = lista.inicio;
4        while (i > -1){
5            printf("%d ", lista.A[i].chave);
6            i = lista.A[i].prox;
7        }
8        printf("\n");
9    }
```

Função `void` com passagem por valor (cópia): a lista é percorrida partindo do elemento na posição do vetor dada pelo campo `inicio` da lista, e seguindo o índice apontado pelo campo `prox` de cada nó, até que se chegue ao nó do último elemento preenchido da lista, que não apresenta sucessor, portanto `prox` = -1.

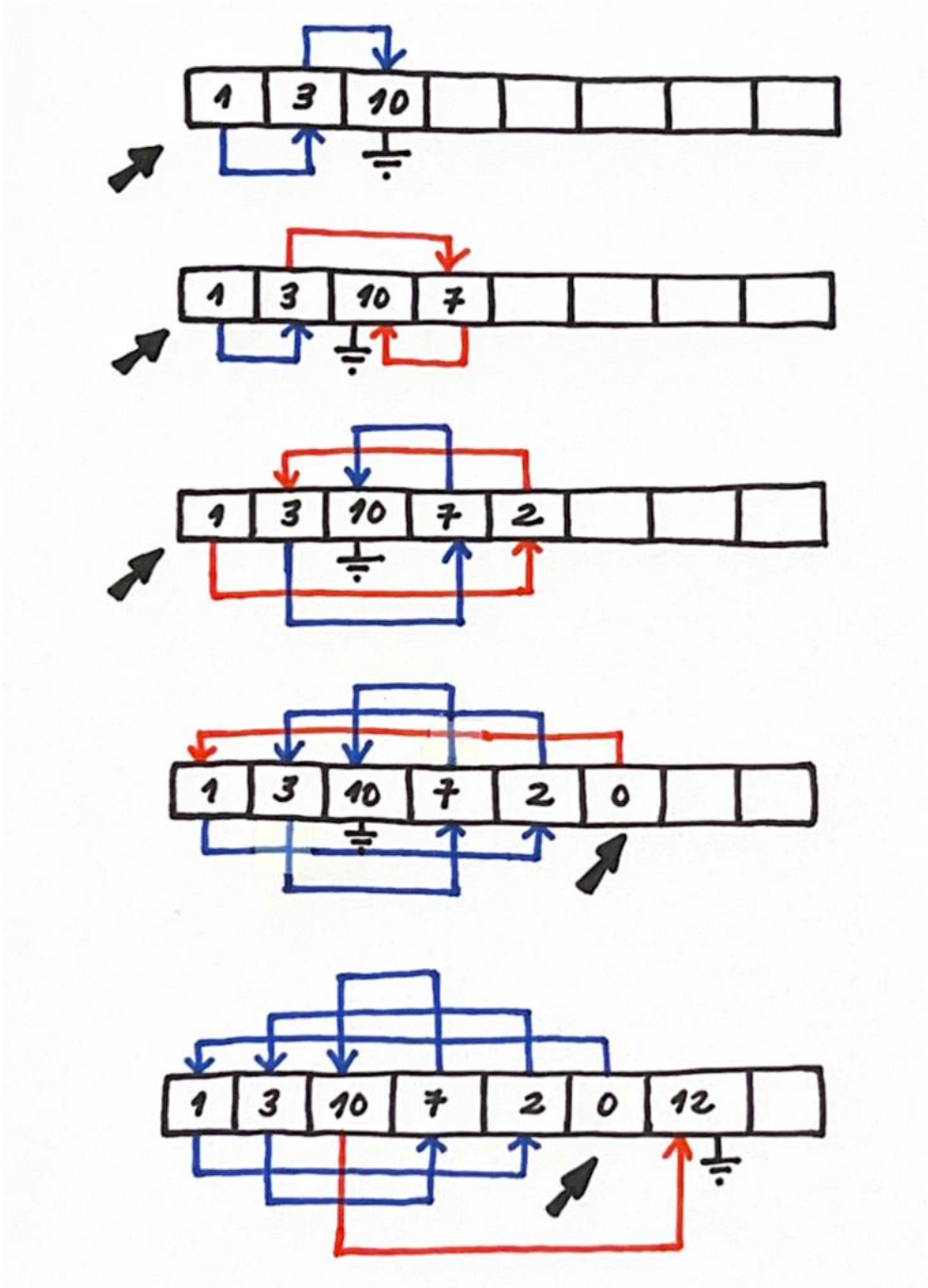


Figura 8: Esquema visual implementação lista ligada estática, múltiplas inserções de elementos. A seta (→) indica o início da lista, enquanto o símbolo de aterramento indica o final dos elementos da lista. Ao se adicionar mais um elemento à lista, uma série de ações deve ser feita: obtenção de um nó livre para a nova chave, atribuição do campo ponteiro `prox` para o novo nó, além da reconexão do campo `prox` do nó antecessor, de modo a manter a ordem lógica da lista encadeada. Note que, ao se inserir um elemento na lista que ocupe a primeira posição na ordem lógica, o campo `inicio` da estrutura da lista deve ser alterado, de modo a indicar a posição do elemento inicial da lista (não necessariamente o índice 0 do vetor).

Inserção ordenada de elementos sem duplicações

Checkouts necessários (`return` false):

✓Se há espaço na lista, *i.e.* `dispo` ! = -1;

✓Busca para checar se o elemento já não está presente.

Inserção de elemento (`return` true):

1 - Associar um nó para o novo valor (pegar um nó na lista dos disponíveis);

2 - Realizar as devidas ligações dos ponteiros `prox` para garantir a ordem lógica.

Exclusão de elemento da lista

Checkout necessário (`return` false):

✓Busca para checar se o elemento está presente.

Exclusão de elemento (`return` true):

1 - Devolver o nó para a lista dos nós disponíveis (alteração `dispo`);

2 - Realizar as devidas ligações dos ponteiros `prox` para garantir a ordem lógica.

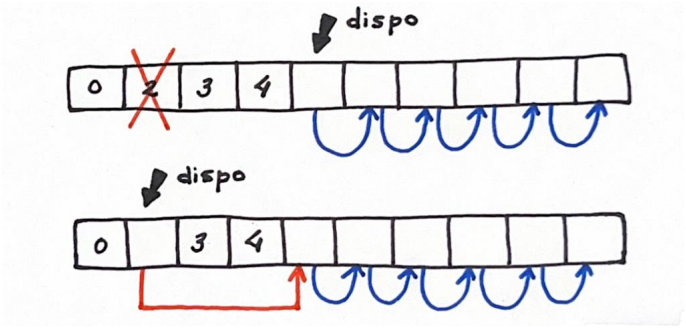


Figura 9: Esquema visual implementação lista ligada estática, exclusão de um elemento. A seta (→) indica o início da lista de *nós disponíveis*: campo `dispo` da estrutura de lista ligada.

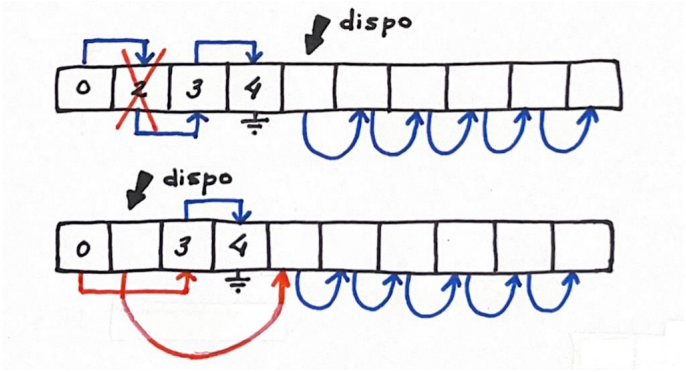


Figura 10: Esquema visual implementação lista ligada estática, exclusão de um elemento, mostrando conexões dos ponteiros `prox` tanto entre nós preenchidos da lista, quanto entre os nós disponíveis. A tarefa de exclusão de um elemento deixa claro como, de fato, há duas listas sendo mantidas em uma: nós ocupados (começo indicado por `inicio`) e nós disponíveis (indicada por `dispo`).

13.2.2 Implementação dinâmica

A implementação dinâmica de uma lista ligada (ou encadeada) se baseia no uso dos recursos de alocação dinâmica (`<malloc.h>`), *i.e.* ponteiros. Evita a necessidade da definição antecipada do tamanho máximo da lista, como acontece na implementação estática, sendo sua grande vantagem o efeito sanfona: usa tanta memória quanto necessário. No entanto, o controle do ponteiro é essencial; a perda do ponteiro implica na perda do acesso à lista.

Consiste em uma `struct` para os nós e outra para lista em si. Elementos essenciais:
→ `NÓ`:
- Campo `chave` (e outros);
- Campo `*prox`: indica o sucessor do elemento, note que temos um ponteiro de fato, autorreferente, pois aponta para outros nós.

→ `Lista ligada dinâmica`:
- Campo `*inicio`: apenas um ponteiro do tipo `NO`, indica o início da estrutura.

Na estrutura da lista ligada dinâmica, não há mais um vetor de nós (como na estática). A lista em si consta apenas do ponteiro para o nó inicial, a partir daí a lista é continuada apenas com nós apontando para nós por meio de autorreferência. Não é necessário gerir lista de nós disponíveis, a memória é alocada para cada elemento, e cada elemento tem o *endereço* de memória do próximo nó (não mais a posição no arranjo).

Sintaxe básica lista ligada dinâmica:

```
typedef struct estrutura {
    TIPOCHAVE chave;
    struct estrutura *prox;
} NO;

typedef struct {
    NO* inicio;
} LISTA;
```

Implementação estrutura de lista ligada dinâmica:

```
1   // Definicao da estrutura
2   typedef struct estrutura{
3       int chave;              // valor do no
4       // int info;            // outros campos
5       struct estrutura *prox; // sucessor do no (autorreferencia)
6   } NO;
7
8   typedef struct{
9       NO *inicio;             // ponteiro para o primeiro no
10  } LISTA_LIGADA_DINAMICA;
```

13.3 Listas dinâmicas com nó cabeça e circularidade

As listas dinâmicas com nó cabeça e circularidade mantém a estrutura de lista ligada dinâmica, com características adicionais:

- Circular: último elemento aponta para o primeiro;
- Nó cabeça: encabeça a lista, que passa a nunca estar vazia. A presença do nó cabeça (não conhecido pelo usuário) implica na existência sempre de um antecessor, facilitando o gerenciamento da lista nas tarefas de inserção e exclusão de elementos.

A definição da estrutura segue o mesmo padrão da lista ligada dinâmica, no entanto, para explicitar o uso e presença do nó cabeça, o campo do ponteiro da `LISTA` (antes intitulado `inicio`) passa a se chamar `cabeca`. A presença do **nó cabeça facilita muito a inserção e exclusão** de elementos, além do que, este pode ser usado como sentinela na tarefa de busca ordenada (importante como função auxiliar para se obter o antecessor do elemento a ser inserido).

Inicialização da lista

Função `void`, passagem da lista por referência. Diferentemente da criação da lista ligada dinâmica simples, cuja inicialização bastava apenas apontar o ponteiro da lista `inicio` para `NULL`, a lista com nó cabeça nunca está vazia, logo esse nó auxiliar fantasma deve ser criado juntamente com o nascimento da lista, alocando-se memória para tal e ligando corretamente os ponteiros. A inicialização da lista consiste em 3 etapas:

1 - Criar nó cabeça (alocar memória);
2 - Apontar campo `cabeca` da `LISTA` para nó cabeça;
3 - Apontar `prox` nó cabeça para ele mesmo (circularidade).

Tamanho da lista

Função `int`, deve percorrer a estrutura. Pequena diferença: apenas os elementos válidos devem ser contabilizados (nó cabeça não conta). O primeiro elemento válido é aquele cujo nó cabeça aponta:

```
NO *end = lista->cabeca->prox;
```

Além disso, diferentemente da implementação básica da lista ligada dinâmica, nunca passaremos por um ponteiro `NULL`, sempre há um endereço válido, devido à circularidade. Isso altera o modo como a lista é percorrida e o critério de parada no *loop*:

```
while (end != lista->cabeca) end = end->prox;
```

($\star$) Essa mesma lógica é usada em todas as tarefas que exigem que a lista seja percorrida: **exibição da lista**, **reinicialização da lista**, **último elemento da lista**, *etc.*

13.4 Listas dinâmicas duplamente encadeadas com nó cabeça e circularidade

Lista ligada dinâmica com as características adicionais de circularidade e nó cabeça e mais uma nova *feature*: encadeamento duplo. Ou seja, cada nó apresenta um campo não só para o seu sucessor (`prox`), como também um campo para o seu antecessor (`ant`), de modo que a lista passa a poder ser percorrida nos dois sentidos:

```
typedef struct estrutura {
    TIPOCHAVE chave;
    struct estrutura *prox;
    struct estrutura *ant;
} NO;

typedef struct {
    NO* cabeca;
} LISTA;
```

Devido à adição de mais um ponteiro, é preciso ter cuidado em dobro ao se ajustar os ponteiros após inserir e excluir elementos. Se antes a lista ligada dinâmica exigia o ajuste de dois ponteiros (`i->prox` e `ant->prox`), com o encadeamento duplo são 4 ponteiros.

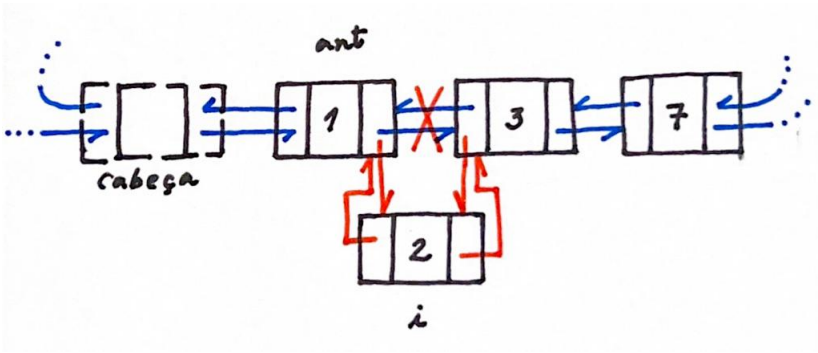


Figura 11: Esquema visual lista dinâmica duplamente ligada com nó cabeça e circularidade. A inserção de um novo elemento exige o ajuste de 4 ponteiros: `prox` e `ant` do novo nó, além dos ponteiros dos vizinhos `prox` do antecessor e `ant` do sucessor.

13.5 Filas

Filas são estruturas de listas lineares que seguem a disciplina de acesso: "first-in, first-out" (FIFO). As operações de inserção e exclusão só ocorrem nas extremidades da estrutura:

- Inserção: final da fila;
- Exclusão: início da fila.

A regra de acesso torna mais fácil lidar com filas do que com uma lista, devido à manipulação mais simples, restrita às extremidades.

Figura 12: Representação de filas estática e dinâmica, respectivamente.

13.5.1 Implementação estática

A implementação estática de uma fila consiste no uso de um vetor circular.

```
#define MAX 50

// Definicao estrutura
// Implementacao estatica - arranjo tam pre-defenido
typedef struct{
    int chave;
} REGISTRO;

typedef struct {
    REGISTRO A[MAX];
    int inicio; // indice do comeco da fila
    int nElem;  // numero de elementos
} FILA_ESTATICA;
```

13.5.2 Implementação dinâmica

A implementação dinâmica de uma fila se baseia no uso de ponteiros.

```
typedef struct estrutura {
    int chave;
    struct estrutura *prox;
} NO;

typedef struct {
    NO *inicio; // util para exclusao
    NO *fim;    // util para insercao
} FILA_DINAMICA;
```

13.5.3 Filas com prioridade

Por ironia do destino, as filas com prioridade não tiveram prioridade alguma dentre as estruturas de dados de listas lineares...

13.6 Deques

Deques são filas de duas pontas: permitem a retirada e inserção de elementos em ambas extremidades: `inicio` e `fim` passam a ser vistos como de mesma natureza, `inicio1` e `inicio2`. É possível implementar de forma estática (uso de vetor circular) ou dinâmica, eis uma implementação da dinâmica:

```
typedef struct estrutura {
    TIPOCHAVE chave;
    struct estrutura *prox;
    struct estrutura *ant;
} NO;

typedef struct {
    NO* inicio1;
    NO* inicio2;
} DEQUE;
```

A estrutura do `NO` é idêntica ao da **lista dinâmica duplamente encadeada** com nó cabeça e circularidade, no entanto, a estrutura da lista em si `LISTA` é igual ao da **fila**, com a pequena alteração do campo ponteiro `fim` para `inicio2`.

13.7 Pilhas

Pilhas são listas lineares com disciplina de acesso "last-in, first-out" (LIFO). As operações de manipulação inserção e exclusão de elementos são trabalhadas apenas no topo da pilha. Ou seja, embora seja, estruturas de dados distintas, que servem a diferentes propósitos, uma pilha poderia ser vista com uma fila ainda mais restrita: operações apenas em uma das extremidades.

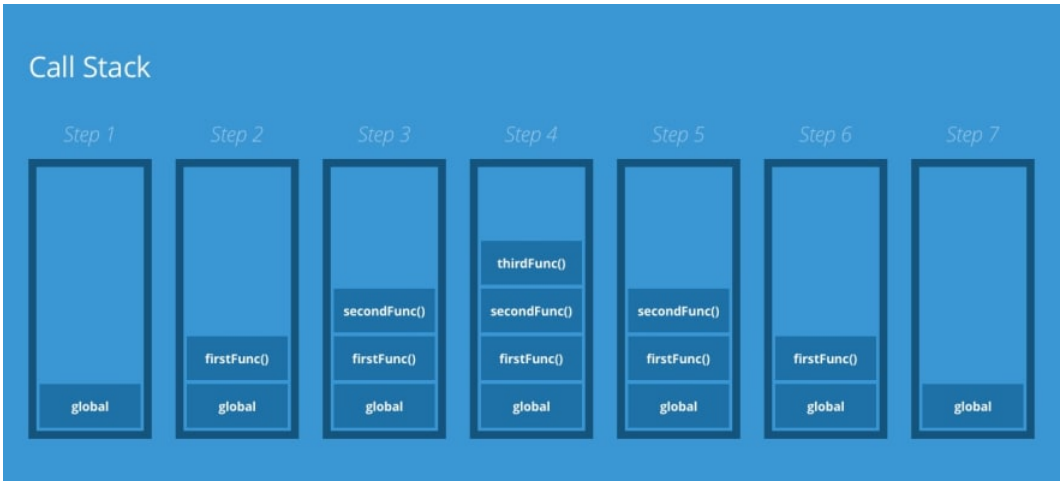


Figura 13: A estrutura de dados pilha (ou *stack* em inglês) é muito utilizada em sistemas operacionais, especialmente no retorno de funções: *main* A → B → C; ordem de `return` C → B → A → *main*.

Operações em pilhas, realizadas no seu **topo**:

- Inserção: *push*;
- Exclusão: *pop*.

13.7.1 Implementação estática

A implementação pode ser estática (usando um vetor simples) ou dinâmica (com ponteiros) sem diferenças significativas em termos de eficiência, uma vez que a estrutura só admite estas operações em seu topo.

13.7.2 Implementação dinâmica

Implementação dinâmica da pilha:

```
1  // Definicao estrutura
2  typedef struct estrutura{
3      int chave;
4      struct estrutura prox*
5  } NO;
6
7  typedef struct {
8      NO *topo;
9  } PILHA_DINAMICA;
```

A definição da estrutura de pilha na implementação dinâmica é idêntica a da **lista ligada dinâmica**, com leve alteração no nome do campo do ponteiro da estrutura em si (na lista temos `inicio` marcando o primeiro nó, enquanto na pilha temos `topo`).

13.7.3 Representação de duas pilhas em um único vetor

Trata-se de um caso extra para um pilha estática, onde duas pilhas compartilham o mesmo espaço (pré-definido) do vetor que representa o esqueleto da estrutura da pilha. Duas pilhas de implementação estática que não necessitam de toda sua capacidade simultaneamente podem ser representadas economicamente em um único vetor compartilhado. Vantagens: uma pilha pode crescer mais rápido do que a outra, compartilhando há economia do espaço de memória que precisa ser reservado para a tarefa. Cada uma das pilhas é posicionada em uma das extremidades do vetor, e crescem em direção ao centro, conforme elementos lhes são adicionados.

```
typedef struct {
    int topo1;
    int topo2;
    int A[MAX];
} PILHADUPLA;
```

A Ambiente de trabalho: minha máquina

Na minha máquina...

- **Ambiente de trabalho**: Visual Studio Code (VS Code) - IDE;
- **Compilador**: gcc - instalado no terminal Ubuntu, mas com *set up* já pronto para rodar no terminal do próprio VS Code;
- **Depurador**: gdb.

Como programar: No VS Code, abrir pasta de interesse - salva na seção do Linux (Ubuntu) no meu computador, já conectada via WSL. Abrir ou criar arquivo com extensão *.c* para começar a programar em C.

B Comandos terminal Linux

B.1 Diretório de trabalho

Ao usar o terminal, é preciso ter em mente que você trabalha de dentro de uma pasta específica em seu computador. É sempre possível acessar itens de outras pastas em seu computador, mas o terminal controlará a pasta na qual você está atualmente. Isso é conhecido como seu **diretório de trabalho**.

Comando	Ação
`pwd`	Informa pasta do diretório de trabalho atual (*print working directory*)
`ls`	Lista todos os arquivos e pastas em seu diretório de trabalho (*list*)
`cd`	Altera diretório de trabalho, desce um nível (*change directory*)
`cd ..`	Altera diretório de trabalho, sobe para a pasta anterior

Tabela 5: Escrever os comandos no terminal e pressionar Enter

Para compilar e rodar um programa, é preciso estar no seu respectivo diretório de trabalho. Estando no lugar correto, em seguida é possível usar com sucesso as linhas de comando para compilar, rodar e debugar o arquivo de interesse.

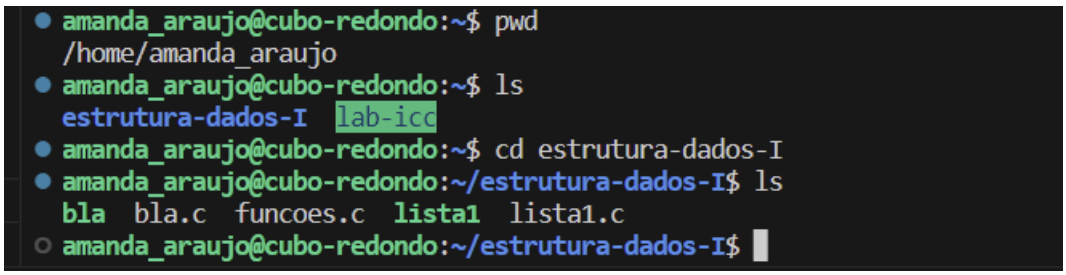


Figura 14: Acessando diretório de trabalho de interesse, onde os códigos em C estão salvos.

Dica: Seta para cima no teclado (↑) permite navegar pelos comandos anteriormente escritos no terminal. Evita o trabalho de reescrever o mesmo comando novamente.

B.2 Compilar, rodar e debugar

Linha de comando (terminal dentro do VS Code)

Compilar	`gcc nomedoarquivo.extensão -o nomedoarquivo`
Rodar	`./nomedoarquivo`
Debug	`gdb ./nomedoarquivo`

Atalho de teclado (shortcut)

Compilar + rodar	*Ctrl* + *Shift* + *B*
Rodar + Debug	*F5*
Comentário linha (//)	*Ctrl* + *;*
Comentário bloco (/**/)	*Shift* + *Alt* + *A*

Referências

1. "Pointers in Python: What's the Point?", *Real Python*, https://realpython.com/pointers-in-python/
2. "Ponteiros em C", https://linguagemc.com.br/ponteiros-em-c/
3. "Manual de Sintaxe da Linguagem C", https://www.feg.unesp.br/
4. "Estrutura de Dados e Algoritmos - COS-121", Ricardo Farias, https://www.cos.ufrj.br/~rfarias/cos121/aula_10.html
5. "ACH2023 - Algoritmos e Estruturas de Dados I", Willian Yukio Honda & Ivandré Paraboni, EACH-USP, http://each.uspnet.usp.br/digiampietri/ACH2023/ACH2023.pdf
6. "Como navegar em arquivos e pastas em um terminal", *Terminal Cheat Sheet*, https://terminalcheatsheet.com/pt-BR/guides
7. "Recursion (Computer Science)", *Wikipedia*, https://en.wikipedia.org/wiki/Recursion_(computer_science)