Estruturas de Dados I

Prof. Dr. Jesmmer Alves*

Instituto Federal Goiano Campus Morrinhos
Curso Bacharel em Ciência da Computação

*jesmmer.alves@ifgoiano.edu.br

Agenda

Sobre o Curso

Informações Básicas

- Disciplina: Estrutura de Dados I
- Carga horária: 36.66h teóricas e 36.66h práticas

Ementa

Alocação dinâmica de memória. Estruturas dinâmicas: pilhas, filas, deck, listas encadeadas. Tipos abstratos de dados. Árvores. (Grafos - Introdução)

Bibliografia Básica

- CORMEN, Thomas H. et. al. Algoritmos - Teoria e Prática.
- GOODRICH, M. T., TAMASSIA, R. Estruturas de Dados e Algoritmos em Java.
- TENENBAUM, A.M. et al. Estruturas de Dados usando C.
- VINU V. Princípios de Estruturas de Dados Usando C e C++.

Agenda

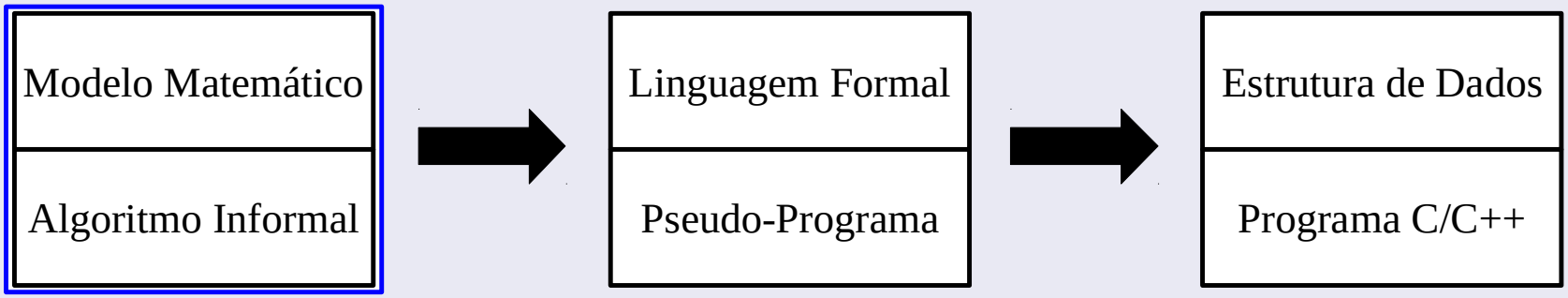
1. Sobre o Curso

2. Aspectos Preliminares
   - Estruturas de Dados
   - Análise de Algoritmos
   - Notação Big “OH”
   - Gerenciamento de Memória
   - Pilhas
   - Recursão
   - Filas

Introdução sobre Estruturas de Dados

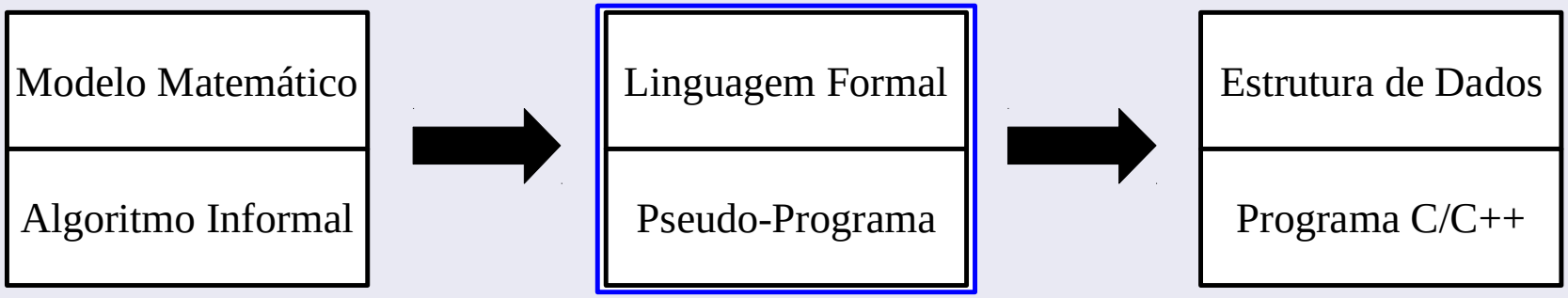
- Dados
  - entidade de um cálculo ou processo de manipulação
  - numéricos e alfanuméricos
  - simples ou conjunto de valores
- Estrutura de Dados
  - representação estrutural e relacionamentos + lógica funcional
  - dividir, conquistar e combinar
  - projeto e impacto na eficiência do programa

Passos para Elaboração de um Programa



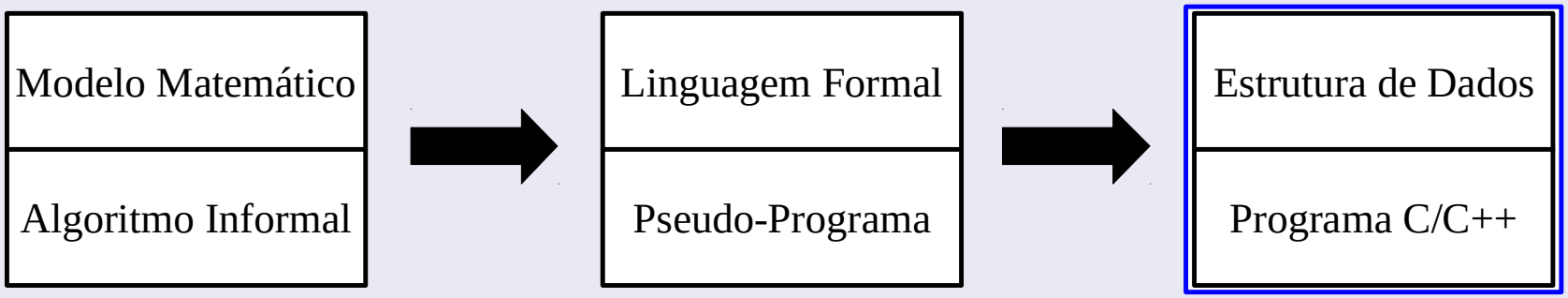
- visão de parte do sistema
- mapas mentais, fórmulas, ER, etc.
- algoritmo informal

Passos para Elaboração de um Programa



- padronização, regras
- algoritmo formal
- operações, expressões, funções

Passos para Elaboração de um Programa



- representação, relacionamento
- tipos de dados abstratos
- programa em uma linguagem e programação

Análise de Algoritmos

- analisar a corretude
- execução passo a passo
- prova matemática
- análise de simplicidade
- análise de performance
  - complexidade de espaço
  - complexidade de tempo

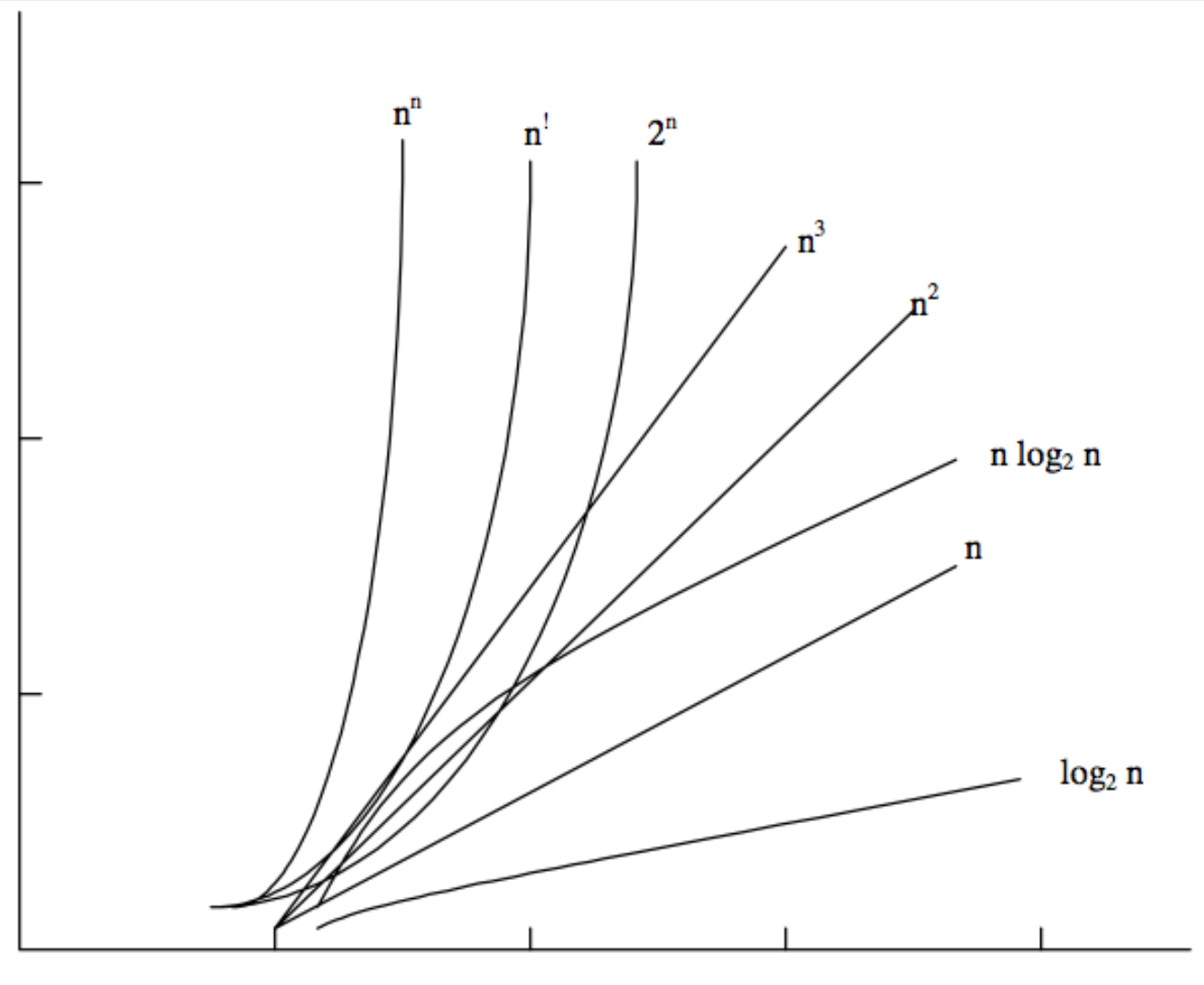
Complexidade de Espaço

- montante de memória necessário
- estimar tamanho do "problema"
- espaço de instrução (versão executável)
- espaço de dados
  - constantes e variáveis (fixo ou variável?)
  - variáveis estruturais (arrays e structures)
  - alocações dinâmicas
- espaço ambiente de pilha (chamada de funções)

Complexidade de Tempo

- montante de tempo necessário
- pode variar de acordo com o hardware
- analisar operações chave
- taxa de crescimento
  - $f(n)$ é uma função do tempo com relação à entrada n
  - funções exponenciais (2^n, n^n, ...)
    - muito lento exceto para n pequeno
  - funções polinomiais (n, n^2, n^3, ...)
- forma de análise
  - melhor caso, caso médio, pior caso

Complexidade de Tempo



Notação Big "OH"

- utilizado para analisar a performance do algoritmo
- determinar um limite superior para o tempo necessário
- busca sequencial (www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/Search.html)
  - $f(n) = n \rightarrow O(n)$ (pior caso)
  - $f(n) = 1$ (melhor caso)
  - $f(n) = n/2$ (caso médio)
- busca binária (qual complexidade de tempo?)

Notação Big "OH" (exemplo 1)

```
A(){
    int i;
    for (i = 1 to n)
        printf("Texto");
}
```

- melhor caso?
- caso médio?
- pior caso?

Notação Big "OH" (exemplo 1)

```
A(){
    int i;
    for (i = 1 to n)
        printf("Texto");
}
```

- melhor caso? $\Rightarrow O(n)$
- caso médio?
- pior caso?

Notação Big "OH" (exemplo 1)

```
A(){
    int i;
    for (i = 1 to n)
        printf("Texto");
}
```

- melhor caso? $\Rightarrow O(n)$
- caso médio? $\Rightarrow O(n)$
- pior caso? $\Rightarrow O(n)$

Notação Big "OH" (exemplo 2)

```
B(){
    int i, j;
    for (i = 1 to n)
        for (j = 1 to n)
            printf("Texto");
}
```

- melhor caso?
- caso médio?
- pior caso?

Notação Big "OH" (exemplo 2)

```
B(){
    int i, j;
    for (i = 1 to n)
        for (j = 1 to n)
            printf("Texto");
}
```

- melhor caso? $\Rightarrow O(n^2)$
- caso médio? $\Rightarrow O(n^2)$
- pior caso? $\Rightarrow O(n^2)$

Notação Big “OH” (exemplo 3)

```
C(){
    int i, j, k, n;
    for (i = 1; i <= n; i++)
        for (j = 1; j <= i; j++)
            for (k = 1; k <= 100; k++)
                 printf("Texto");
}
```

$$\left|\begin{array}{ll} \text{i} = & 1 \\ \text{j} = & \text{quantas vezes?} \\ \text{k} = & ? \end{array}\right|$$

Notação Big “OH” (exemplo 3)

```
C(){
    int i, j, k, n;
    for (i = 1; i <= n; i++)
        for (j = 1; j <= i; j++)
            for (k = 1; k <= 100; k++)
                 printf("Texto");
}
```

$$\left| \begin{array}{ll} \text{i} = & 1 \\ \text{j} = & \text{quantas vezes?} \\ \text{k} = & ? \end{array} \right|$$

Notação Big “OH” (exemplo 3)

```
C(){
    int i, j, k, n;
    for (i = 1; i <= n; i++)
        for (j = 1; j <= i; j++)
            for (k = 1; k <= 100; k++)
                 printf("Texto");
}
```

$$\left| \begin{array}{ll} \text{i} = & 1 \\ \text{j} = & 1 \text{ vez} \\ \text{k} = & ? \end{array} \right|$$

Notação Big "OH" (exemplo 3)

```
C(){
    int i, j, k, n;
    for (i = 1; i <= n; i++)
        for (j = 1; j <= i; j++)
            for (k = 1; k <= 100; k++)
                 printf("Texto");
}
```

$$\left| \begin{array}{ll} \mathrm{i} = & 1 \\ \mathrm{j} = & 1 \\ \mathrm{k} = & 100 \end{array} \right|$$

Notação Big "OH" (exemplo 3)

```
C(){
    int i, j, k, n;
    for (i = 1; i <= n; i++)
        for (j = 1; j <= i; j++)
            for (k = 1; k <= 100; k++)
                 printf("Texto");
}
```

$$\left|\begin{array}{lcl} \mathrm{i} = & 1 & 2 \\ \mathrm{j} = & 1 & ? \\ \mathrm{k} = & 100 & ? \end{array}\right|$$

Notação Big "OH" (exemplo 3)

```
C(){
    int i, j, k, n;
    for (i = 1; i <= n; i++)
        for (j = 1; j <= i; j++)
            for (k = 1; k <= 100; k++)
                 printf("Texto");
}
```

i =	1	2
j =	1	2
k =	100	2 * 100

Notação Big "OH" (exemplo 3)

```
C(){
    int i, j, k, n;
    for (i = 1; i <= n; i++)
        for (j = 1; j <= i; j++)
            for (k = 1; k <= 100; k++)
                 printf("Texto");
}
```

i =	1	2	3
j =	1	2	3
k =	100	2 * 100	3 * 100

Notação Big "OH" (exemplo 3)

```
C(){
    int i, j, k, n;
    for (i = 1; i <= n; i++)
        for (j = 1; j <= i; j++)
            for (k = 1; k <= 100; k++)
                 printf("Texto");
}
```

i =	1	2	3	...	n
j =	1	2	3	...	n
k =	100	2 * 100	3 * 100	...	n * 100

Notação Big "OH" (exemplo 3)

```
C(){
    int i, j, k, n;
    for (i = 1; i <= n; i++)
        for (j = 1; j <= i; j++)
            for (k = 1; k <= 100; k++)
                 printf("Texto");
}
```

i =	1	2	3	...	n
j =	1	2	3	...	n
k =	100	2 * 100	3 * 100	...	n * 100

$$100 + 2 * 100 + 3 * 100 + \ldots + n * 100$$
$$100(1 + 2 + 3 + \ldots + n)$$
$$100\ (\frac{n(n+1)}{2}) = O(n^2)$$

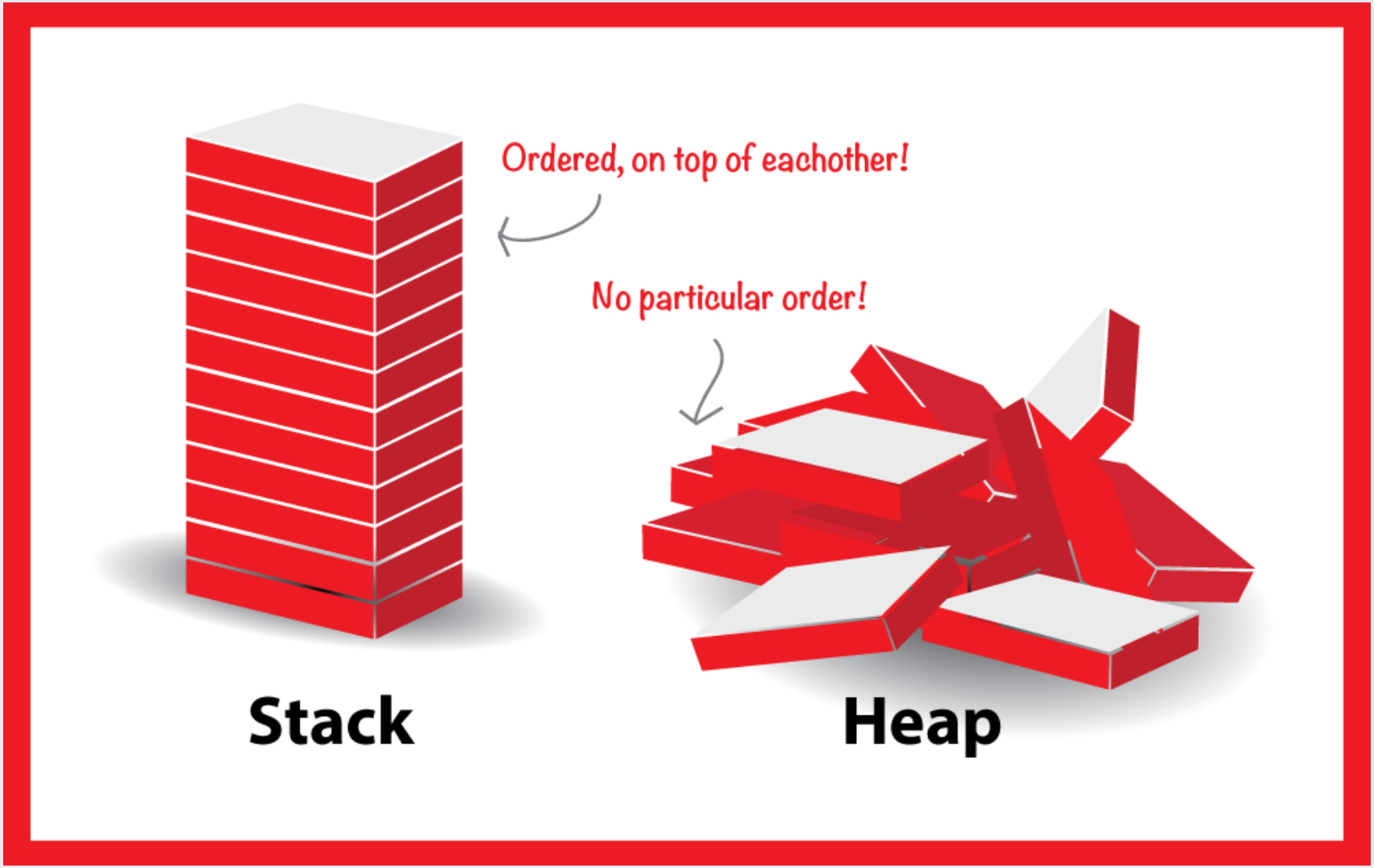
Exercícios de Revisão

1. Diferencie complexidade de tempo e complexidade de espaço.
2. Fale sobre gerenciamento de alocação de memória dinâmica.
3. O que são tipos primitivos?
4. O que é mais importante analisar em um algoritmo: melhor caso, pior caso ou caso médio?
5. Considere a função "desfazer" de um editor de texto. Qual a melhor estrutura para implementar, pilhas ou filas?
6. Identifique uma situação que é conveniente utilizar a implementação filas.

Sobre Gerenciamento de Memória

1. Endereçamento de células de memória.
2. Gerenciar manualmente solicitações de alocação e liberação de memória .
3. Estruturas de dados dinâmica (adicionar, liberar e reorganizar).
4. Gerenciamento de memória dinâmica (em tempo de execução).
5. Aplicações: `linked list, tree, etc.`

Stack vs Heap



Stack vs Heap - Exemplos

```
int main () {
  int valor = 5; //alocacao Stack

  int *hvalor = new int; //alocacao Heap
  *hvalor = 5;

  return 0;
}
```

Stack vs Heap - Exemplos

```
int main () {
  int array[5]; //alocacao Stack

  int *harray = new int[5]; //alocacao Heap
  ...

  return 0;
}
```

Stack vs Heap

1. Stack: alocação estática (quando compilar)
   - `int i, j;` *//dois bytes para inteiro*
   - `float a[5], f;` *//quatro bytes para real*
   - limitação no armazenamento
   - desperdício de espaço
2. Heap: alocação dinâmica (durante execução)
   - reservar exatamente o espaço necessário
   - `malloc(); calloc(); realloc(); new(); free().`

Stack vs Heap

1. Stack: alocação estática (quando compilar)
   - `int i, j;` *//dois bytes para inteiro*
   - `float a[5], f;` *//quatro bytes para real*
   - limitação no armazenamento
   - desperdício de espaço
2. Heap: alocação dinâmica (durante execução)
   - reservar exatamente o espaço necessário
   - `malloc(); calloc(); realloc(); new(); free().`

Alocação de memória em C/C++ - `malloc()`

- reserva um bloco de bytes de memória
- retorna um ponteiro *void**
- o conteúdo não é inicializado
- sintaxe:

```
void* malloc (size_t size);
```

- exemplo:

```
buffer = (char*) malloc (sizeof(int));
```

Alocação de memória em C/C++ - malloc()

```
#include <stdlib.h> /* malloc, free, rand */
#include <iostream>
using namespace std;
int main () {
  int i,n;
  char * buffer;
  srand((unsigned)time(0));
  cout << "Qual o tamanho da string? "; cin >> i;

  buffer = (char*) malloc (i+1);
  if (buffer==NULL) exit (1);

  for (n = 0; n < i; n++)
    buffer[n] = rand()%26 + 97;
  buffer[i] = '\0';

  cout << "String aleatoria:" << buffer;
  free (buffer);

  return 0;
}
```

Alocação de memória em C/C++ - `calloc()`

- bloco de bytes de memória para um *array*
- retorna um ponteiro *void**
- conteúdo é inicializado com zero
- sintaxe:

```
void* calloc (size_t num, size_t size);
```

- exemplo:

```
pData = (int*) calloc (i, sizeof(int));
```

Alocação de memória em C/C++ - calloc()

```
#include <stdlib.h> /* malloc, free, rand */
#include <iostream>
using namespace std;
int main () {
    int i, n;
    int *pData;
    cout << "Qtd de numeros: ";
    cin >> i;
    pData = (int*) calloc (i,sizeof(int));
    if (pData == NULL) exit (1);

    for (n = 0; n < i; n++){
        cout << "Digite o " << n + 1 << "o. numero: ";
        cin >> pData[n];
    }

    cout << "Voce digitou: ";
    for (n = 0; n < i; n++) cout << pData[n] << " ";
    free(pData);
    return 0;
}
```

Alocação de memória em C/C++ - `free()`

- Libera o bloco de memória alocado por *malloc*, *calloc* ou *realloc*
- Evita *memory leak*
- Não retorna valores
- Sintaxe:

```
void free (void* ptr);
```

- Exemplo:

```
B1= (int*) malloc (100*sizeof(int));
free (B1);
```

"Hey! Your application has a memory leak."

Alocação de memória em C/C++ - `free()`

```
#include <stdlib.h> /* malloc, calloc, realloc, free */

int main () {
  int *buffer1, *buffer2, *buffer3;

  buffer1 = (int*) malloc (100*sizeof(int));
  buffer2 = (int*) calloc (100,sizeof(int));
  buffer3 = (int*) realloc (buffer2,500*sizeof(int));

  free (buffer1);
  free (buffer3);

  return 0;
}
```

Alocação de memória em C/C++ - `realloc()`

- Muda o tamanho do bloco de memória
- Muda o bloco de memória para outra localização
- Conteúdo é preservado
- Retorna um ponteiro para o novo bloco de memória
- Sintaxe:

```
void* realloc (void* ptr, size_t size);
```

- Exemplo:

```
array2 = (int*) realloc (array1, qtd * sizeof(int));
```

Alocação de memória em C/C++ - realloc()

```
#include <stdlib.h> /* malloc, free, rand */
#include <iostream>
using namespace std;

int main () {
  int entrada, n;
  int qtd = 0;
  int *numeros = NULL;
  int *mais_numeros = NULL;
  do {
    cout << "Digite um valor inteiro (0 para terminar): ";
    cin >> entrada;
    qtd++;
    mais_numeros = (int*) realloc (numeros, qtd * sizeof(int));
    if (mais_numeros != NULL) {
      numeros = mais_numeros;
      numeros[qtd-1] = entrada;
    }
     ...
```

Alocação de memória em C/C++ - `realloc()` - continuação

```
    ...
    else {
      free (numeros);
      cout << "Erro na re-alocacao de memoria";
      exit(1);
    }
  } while (entrada != 0);

  cout << "Numeros digitados: ";
  for (n = 0; n < qtd; n++)
      cout << numeros[n] << " ";

  free (numeros);

  return 0;
}
```

Alocação de memória em C/C++ - `new` e `delete`

- new

```
int *A = new int[n];
```

- delete

```
delete[] A;
```

Alocação de memória em C/C++ - `new` x `malloc`

new	**malloc**
Construtor	não é Construtor
retorna um tipo de dado	retorna void *
se falhar, `throws`	se falhar, NULL
usa memória livre	usa memória heap
permite sobreposição	não permite sobreposição
tamanho calculado pelo compilador	calculado manualmente

Atividades

1. Refaça todos os exemplos utilizando `new` e `delete`.
2. Diferencie `malloc` e `new`.
3. Diferencie `delete` e `free`.
4. Escreva um programa para encontrar o maior elemento de um conjunto de valores digitados, usando alocação dinâmica de memória.
5. Compare a alocação de memória Stack com alocação Heap.

Pilhas (*Stacks*)

Características

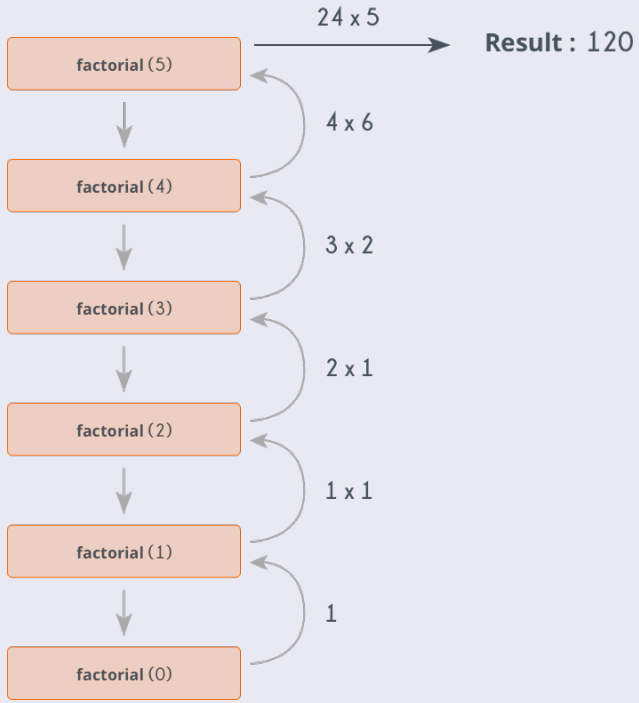
- Coleção de itens ordenada
- Estrutura de dados linear
- Estrutura de dados recursiva
- Somente uma opção para inserir ou remover (Topo)
- *Last-in-First-out*
- Implementada com *arranjos* ou *listas*

Aplicações

- **Avaliar expressões *prefix*, *postfix* e *infix***
  - $5 + 6 * 7$?
- *Backtracking*
- Inverter *Strings*
- Chamadas de Funções

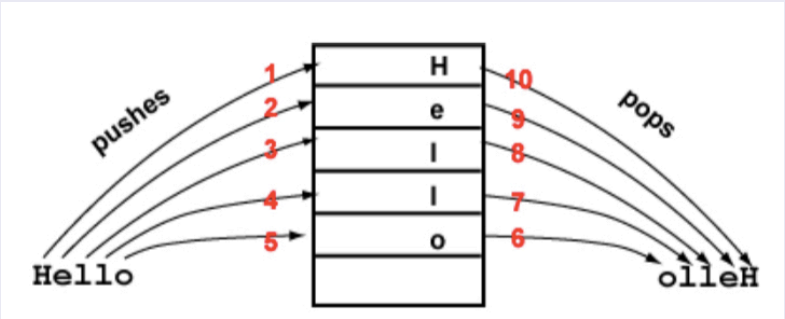
Aplicações

- Avaliar expressões *prefix*, *postfix* e *infix*
  - $5 + 6 * 7$?
- ***Backtracking***
- Inverter *Strings*
- Chamadas de Funções



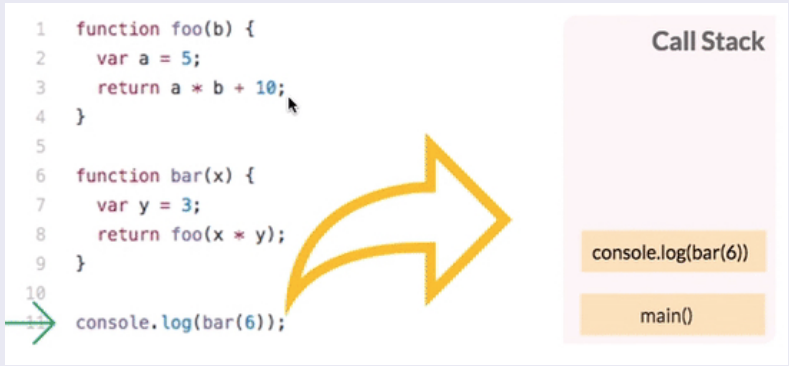
Aplicações

- Avaliar expressões *prefix*, *postfix* e *infix*
  - $5 + 6 * 7$?
- *Backtracking*
- **Inverter *Strings***
- Chamadas de Funções



Aplicações

- Avaliar expressões *prefix*, *postfix* e *infix*
  - $5 + 6 * 7$?
- *Backtracking*
- Inverter *Strings*
- **Chamadas de Funções**



Pilhas (*Stacks*)

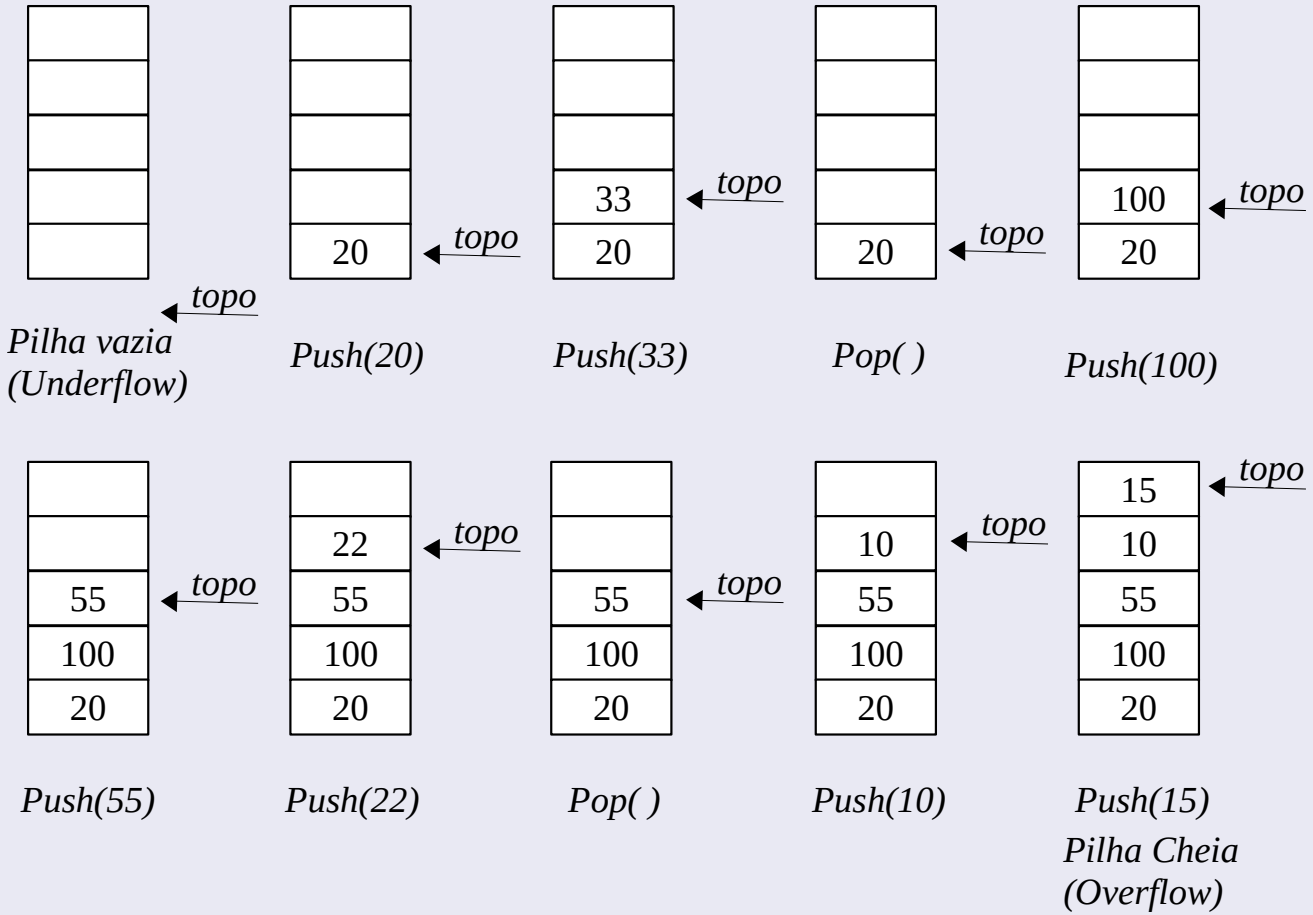
Exemplos de Implementações

- Pilhas com Arrays (www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/StackArray.html)
- Pilhas com Ponteiros e Listas (www.cs.usfca.edu/~galles/visualization/StackI

Operações na Pilha

- *Push(x)*
  - Inserir um novo elemento na Pilha
  - *topo* é incrementado em 1
  - Pode ocorrer o *Overflow* (pilha cheia)
- *Pop()*
  - Remover um elemento da Pilha
  - *topo* é decrementado em 1
  - Pode ocorrer o *Underflow* (pilha vazia)

Operações na Pilha



Implementação com *Arranjos* ou *Ponteiros*

- Implementação com *Arranjo*
  - Fácil implementação
  - Tamanho não flexível
  - Otimização de memória ruim
- Implementação com *Ponteiros*
  - Implementação mais difícil
  - Tamanho flexível
  - Otimização de memória boa

Implementação com *Arranjos (Push)*

```
void Push(int x){
    if (top == MAX_SIZE - 1){
        cout << "\n Erro: A Pilha esta cheia!";
        return;
    }
    top = top + 1;
    A[top] = x;
    // A[++top] = x
}
```

Implementação com Arrays (Pop)

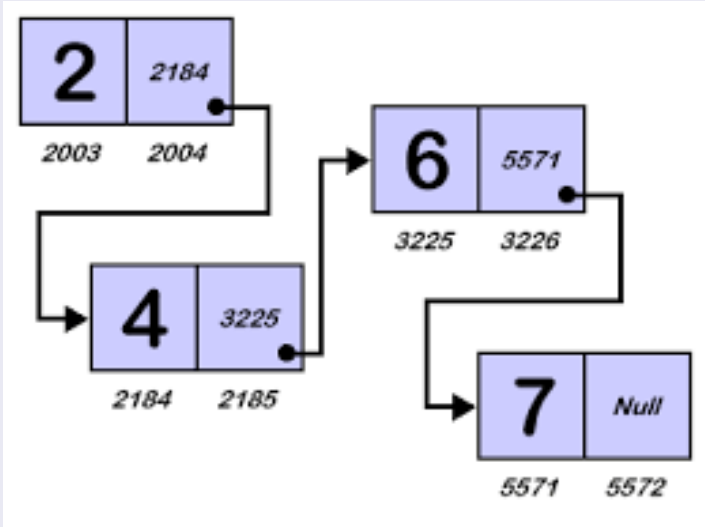
```
void Pop(){
    if (top == -1){
        cout << "\n Erro: A Pilha esta vazia!";
        return;
    }
    top--;
}
```

Atividades - Implementação de *Pilhas* com *Arranjos*

1. Utilize os exemplos dos *Slides* para escrever um programa em *C++* para fazer a implementação de uma *pilha* utilizando *arranjos*.
2. Insira a função *Estado* para: mostrar o elemento que está no topo da *pilha*; mostrar a quantidade de elementos; e informar se está vazia, cheia ou funcionando.
3. Insira a função *Imprimir* para escrever todos os elementos na *pilha*.
4. A função *main* deve disponibilizar um *Menu* para interagir com a *pilha*.
5. Identifique vantagens e desvantagens na implementação de *pilhas* com *Arranjos*.
6. Utilize a biblioteca *C++ STL* para implementar *pilhas*.

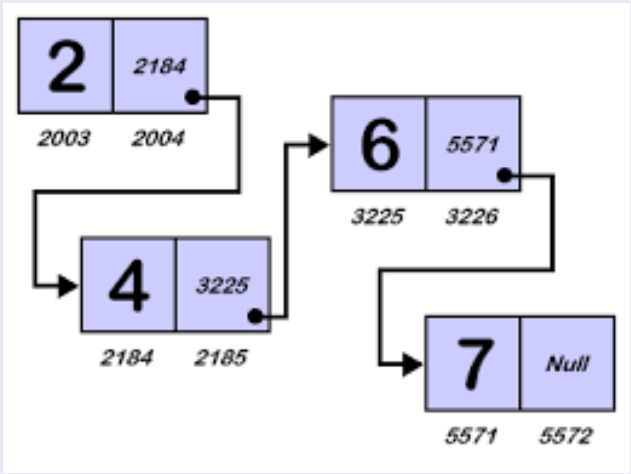
Listas Lincadas

- Elementos são ligados com ponteiros
- Possui tamanho dinâmico
- Fácil manipulação
- Porque usar?
  - Tamanho de *arranjos* é fixo
  - Manipulação de *arranjos* não é eficiente (*push* e *pop*)
- Desvantagens
  - Acesso aleatório não permitido
  - Espaço extra para um ponteiro



Listas Lincadas - Representação em C/C++

- Um ponteiro para o primeiro nó na lista
- O primeiro nó é chamado *head*
- Se a lista está vazia, então $head = NULL$
- Cada nó consiste em pelo menos duas partes:
  1. valor
  2. ponteiro para o próximo nó
- Em C, pode-se representar um nó através de uma *struct*
- Em Java ou C++, pode ser feito com *Classes*



Listas Lincadas - Operações

- *Remover()*
- *Inserir()*
- *Imprimir()*
- *Pesquisar()*
- ...
- Qual o custo de cada uma destas operações?
  - Operações para *Pilhas*? Compare com *Arranjos*

Listas Lincadas - Operações

- *Remover()* $\Rightarrow O(1)$ ou $O(n)$
- *Inserir()* $\Rightarrow O(1)$ ou $O(n)$
- *Imprimir()* $\Rightarrow O(n)$
- *Pesquisar()* $\Rightarrow O(n)$
- ...
- Qual o custo de cada uma destas operações?
  - Operações para *Pilhas*? Compare com *Arranjos*

Listas Lincadas - Representação em C/C++

Lista lincada simples com 3 nós em C:

```
#include <stdio.h>
#include <iostream>
using namespace std;

//definindo a estrutura para cada no
struct No {
        int valor;
        struct No *proximo;
};
...
```

Listas Lincadas - Representação em C/C++

```
...
int main() {
//criar 3 nos
        struct No* primeiro = NULL;
        struct No* segundo = NULL;
        struct No* terceiro = NULL;

//alocar espaco para cada no
        primeiro = (struct No*)malloc(sizeof(struct No));
        segundo = (struct No*)malloc(sizeof(struct No));
        terceiro = (struct No*)malloc(sizeof(struct No));

//definir valores para cada no
        primeiro->valor = 1;
        primeiro->proximo = segundo;
        segundo->valor = 2;
        segundo->proximo = terceiro;
        terceiro->valor = 3;
        terceiro->proximo = NULL;
}
```

Listas Lincadas - Representação em C/C++

Percorrendo a lista:

```
void imprimirLista(struct No *n) {
        while (n != NULL) {
                printf("%d ", n->valor);
                n = n->proximo;
        }
}
```

Pilhas através de Listas Lincadas

Escreva um programa que implemente a utilização de pilhas através de listas lincadas. Este programa deve ter uma estrutura para armazenar cada nó da lista, e as funções *Push(valor)*, *Pop()* e *Imprimir()*.

Pilhas (*Stacks*)

Pilhas através de Listas Lincadas

1. declare a estrutura *No* com dois membros *valor* e *proximo*
2. declare o ponteiro *topo* com valor *NULL* e declare as funções
3. todas as funções devem ser acionadas pela *main*

Implementação

```
#include <stdio.h>
#include <iostream>
using namespace std;

struct No{
   int valor;
   struct No *proximo;
}
*topo = NULL;
void Push(int);
void Pop();
void Imprimir();
```

Pilhas (*Stacks*)

Pilhas através de Listas Lincadas

1. declare a estrutura *No* com dois membros *valor* e *proximo*
2. declare o ponteiro *topo* com valor *NULL* e declare as funções
3. todas as funções devem ser acionadas pela *main*

Implementação

```
#include <stdio.h>
#include <iostream>
using namespace std;

struct No{
   int valor;
   struct No *proximo;
}
*topo = NULL;
void Push(int);
void Pop();
void Imprimir();
```

Pilhas através de Listas Lincadas - Função *Push(valor)*

1. defina um novo Nó com o valor especificado
2. se pilha vazia, então defina $novoNo \rightarrow proximo = NULL$
3. senão, então defina $novoNo \rightarrow proximo = topo$
4. finalmente, defina $topo = novoNo$

Implementação

```
void Push(int valor){
   struct No *novoNo;
   novoNo = (struct No*)malloc(sizeof(struct No));
   novoNo->valor = valor;
   if(topo == NULL)
       novoNo->proximo = NULL;
   else
       novoNo->proximo = topo;
   topo = novoNo;
}
```

Pilhas (*Stacks*)

Pilhas através de Listas Lincadas - Função *Push(valor)*

1. defina um novo Nó com o valor especificado
2. se pilha vazia, então defina $novoNo \rightarrow proximo = NULL$
3. senão, então defina $novoNo \rightarrow proximo = topo$
4. finalmente, defina $topo = novoNo$

Implementação

```
void Push(int valor){
   struct No *novoNo;
   novoNo = (struct No*)malloc(sizeof(struct No));
   novoNo->valor = valor;
   if(topo == NULL)
        novoNo->proximo = NULL;
   else
        novoNo->proximo = topo;
   topo = novoNo;
}
```

Pilhas através de Listas Lincadas - Função *Pop()*

1. se pilha vazia, então mostre "Pilha vazia!" e termine
2. senão, então defina o ponteiro *temp* e defina como *topo*
3. defina $topo = topo \rightarrow proximo$
4. finalmente apague *temp*

Implementação

```
void Pop(){
   if(topo == NULL)
        cout << "Pilha Vazia !!!\n";
   else{
        struct No *temp = topo;
        cout << "Elemento apagado: " << temp->valor << "\n";
        topo = temp->proximo;
        free(temp);
   }
}
```

Pilhas através de Listas Lincadas - Função *Pop()*

1. se pilha vazia, então mostre "Pilha vazia!" e termine
2. senão, então defina o ponteiro *temp* e defina como *topo*
3. defina $topo = topo \rightarrow proximo$
4. finalmente apague *temp*

Implementação

```
void Pop(){
   if(topo == NULL)
        cout << "Pilha Vazia !!!\n";
   else{
        struct No *temp = topo;
        cout << "Elemento apagado: " << temp->valor << "\n";
        topo = temp->proximo;
        free(temp);
   }
}
```

Pilhas (*Stacks*)

Atividades

1. Modifique os exemplos para usar a função *new()* e *delete*.
2. Defina uma função para verificar se a *pilha* está vazia.
3. Defina uma função para imprimir o elemento no *topo*.
4. Defina uma função para retornar a quantidade de elementos na *pilha*.
5. Defina uma função para mostrar a *pilha* na ordem inversa.
6. Defina um novo projeto para implementar *filas*.

Bibliografia


VINU V. DAS: Princípios de Estruturas de Dados Usando C e C++, MIT Press, (2006)


THOMAS H. et. al., Algoritmos - Teoria e Prática, (1989)


TENENBAUM, A.M. et al, Estruturas de Dados usando C., Pearson, (2010)


GOODRICH, M. T. e TAMASSIA, R., Estruturas de Dados e Algoritmos em Java., Bookman, (2013)