Estruturas Lineares

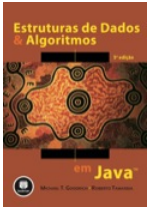
Roland Teodorowitsch

Algoritmos e Estruturas de Dados I - Escola Politécnica - PUCRS

4 de setembro de 2023

Introdução

Leitura(s) Recomendada(s)



Seções 3.2 (Listas simplesmente encadeadas), 3.3 (Listas duplamente encadeadas), 6.1 (Listas arranjo), 6.2 (Listas de nodos), 6,4 (Os TADs de lista e o *framework* de coleções)

GOODRICH, Michael T.; TAMASSIA, Roberto. **Estruturas de dados e algoritmos em Java**. Tradução: Bernardo Copstein. 5. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. xxii, 713 p. E-book. ISBN 9788582600191. Tradução de: Data Structures and Algorithms in Java, 5th Edition. Disponível em: <https://integrada.minhabiblioteca.com.br/#/books/9788582600191/>. Acesso em: 01 ago. 2023.

Tipos Abstratos de Dados

Abordagem OO

- Princípios da abordagem OO
  - **Abstração**: representação de um objeto do mundo real, "abstraindo-se" os detalhes desnecessários, de forma que o objeto possa ser utilizado sem se preocupar com como ele foi implementado
  - **Encapsulamento**: detalhes da implementação ficam escondidos e a manipulação dos dados acontede através de uma interface pública
  - **Modularidade**: vários componentes que interagem
- Abstração, Encapsulamento, Herança e Polimorfismo são considerados os 4 pilares da POO

Tipos Abstratos de Dados

- A aplicação de abstração ao projeto de estruturas de dados nos leva a **Tipos Abstratos de Dados (TAD)**
- TAD
  - É uma especificação de um conjunto de dados e operações que podem ser executadas sobre esses dados
  - Modelo matemático de estruturas de dados que especifica
    - O tipo dos dados armazenados
    - As operações definidas sobre esses dados
    - Os tipos dos parâmetros dessas operações
- A separação de especificação e implementação permite usar um TAD sem conhecer nada sobre a sua implementação
  - Assim, um TAD pode ter mais de uma implementação

TAD

- Usa “encapsulamento”
- Princípio: esconder detalhes de representação e direcionar o acesso aos objetos abstratos por meio de operações
- A representação fica protegida contra qualquer tentativa de manipulá-la diretamente (só através das operações disponíveis)
- Define o que cada operação faz, mas não como o faz

Tipos Abstratos de Dados

- Resumindo, TAD é uma estrutura de programa que contém
  - A especificação de uma estrutura de dados
  - Um conjunto de operações que podem ser realizadas sobre os dados encapsulados
- Exemplos de TADs
  - Pilhas, Filas, Deques e Listas
- Essas estruturas são classificadas como lineares
  - Representam coleções de elementos linearmente organizados que oferecem métodos para inserir, acessar e remover elementos
  - Tem a ordem interna de seus elementos definida pela forma como são feitas inserções e remoções na estrutura
  - Costuma ter duas extremidades (esquerda e direita; frente e traseira; cabeça e cauda; ...)

Estruturas Lineares

- **Lista**
  - Organiza os dados de maneira sequencial (não necessariamente de forma física, mas sempre existe uma ordem lógica entre os elementos)
  - Permite inserção, acesso e remoção de elementos
- **Pilha**
  - Usa a política *LIFO – Last In First Out* (o último elemento que entrou, é o primeiro a sair)
  - Possui apenas uma entrada, chamada de topo, a partir da qual os dados entram e saem dela
- **Fila**
  - Usa a política *FIFO – First In First Out* (o primeiro elemento a entrar será o primeiro a sair)
  - Os elementos entram por um lado ("cauda" ou parte de trás) e saem por outro ("cabeça" ou parte da frente)
- **Deque** (*Double-Ended QUEue*)
  - Os elementos entram e saem por qualquer uma das extremidades (cauda ou cabeça) da lista

Estruturas Lineares

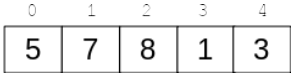
- Permitem representar um conjunto de dados de um mesmo tipo (com alguma afinidade) de forma a preservar a relação de ordem entre seus elementos
- Cada elemento da estrutura é chamado de nó, ou nodo.
- Uma estrutura linear é definida como:
  - Um conjunto de N nós, organizados de forma a refletir a posição relativa dos mesmos
  - Se $N > 0$, os nós da estrutura serão x_1, x_2, ..., x_N,
    - x_1 é o primeiro nó
    - Para $1 < k < N$, o nó x_k é precedido pelo nó x_{k-1} e seguido pelo nó x_{k+1}
    - x_N é o último nó
  - Quando $N = 0$, diz-se que a estrutura está vazia

Exemplos de Estruturas Lineares

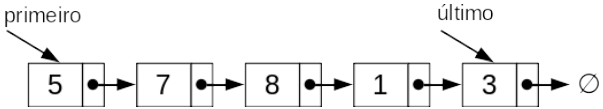
- Pessoas na fila de um caixa (ordem definida pela chegada e posição na fila)
- Pessoas na sala de espera de um consultório (ordem definida pela chegada)
- Conjunto de notas dos alunos de uma turma
- Itens no estoque de uma loja
- Palavras de um texto
- Letras de uma palavra
- Especificação de operações e operandos em uma expressão matemática
- Dias da semana
- Relação de compromissos
- Pilha de livros
- Cartas de um baralho
- etc.

Alocação de Estruturas Lineares

- Estruturas lineares podem ser alocadas de forma:
  - **Sequencial ou Contígua**
    Os nós, além de estarem em uma sequência lógica, também estão **fisicamente em sequência**



  - **Encadeada**
    Os nós são alocados dinamicamente e são ligados entre si, de forma que há uma sequência lógica, mas fisicamente os nós NÃO precisam estar contíguos



- Cada forma tem as suas vantagens e desvantagens

Alocação Sequencial ou Contígua de Estruturas Lineares

- Nós adjacentes na estrutura são armazenados em endereços contíguos na memória física e o tamanho da estrutura é fixo
- A implementação é feita com vetores (arranjos ou *arrays*), que podem ser alocados de forma estática ou dinâmica
- Pode-se trabalhar com vetores parcialmente prenchidos
- O acesso é rápido
- NÃO é possível ter espaços vazios (não utilizados) no meio da estrutura (a não ser no final, para vetores parcialmente preenchidos)
- Inserção e Remoção de elementos no meio exige movimentação de elementos
- Para estruturas alocadas dinamicamente, pode-se: alocar um novo vetor, copiar os elementos do antigo para o novo, desalocar o antigo e passar a usar o novo – mas isto pode ser custoso

Alocação Sequencial ou Contígua de Estruturas Lineares (vetores.cpp)

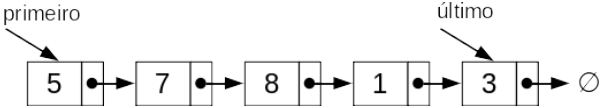
```
#include <iostream>
using namespace std;
int main() {

  int vetorEstatico[10];  // ALOCACAO ESTATICA
  for (int i=0; i<10; ++i) vetorEstatico[i] = i+1;
  for (int i=0; i<10; ++i) cout << vetorEstatico[i] << endl;

  const int TAM_MAX = 10;
  int vetorParcial[TAM_MAX];  // VETOR PARCIALMENTE PREENCHIDO
  int tamAtual = 0;           // tamanho atual do vetor parcialmente preenchido
  for (int i=0; i<TAM_MAX+1; ++i)
      if ( tamAtual < TAM_MAX)
         vetorParcial[ tamAtual++ ] = i+1;
  for (int i=0; i<tamAtual; ++i) cout << vetorParcial[i] << endl;

  int tam;
  cin >> tam;
  int *vetorDinamico = new int[tam];  // ALOCACAO DINAMICA
  for (int i=0; i<tam; ++i) vetorDinamico[i] = i+1;
  for (int i=0; i<tam; ++i) cout << vetorDinamico[i] << endl;
  delete[] vetorDinamico;

  return 0;
}
```

Alocação Sequencial ou Contígua de Estruturas Lineares (vetores2.cpp)

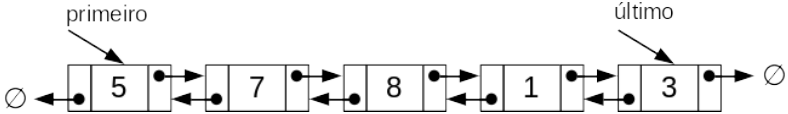
```
#include <iostream>

using namespace std;

int main() {

  const int TAM = 10;
  int *vetorExpansivel = new int[TAM];  // VETOR PARCIALMENTE PREENCHIDO DINAMICAMENTE EXPANSIVEL
  int tamAtual = 0, tam_max = TAM;
  for (int i=0; i<TAM+5; ++i) {
      if ( tamAtual == tam_max) {
         int *novo = new int[tam_max + TAM];
         for (int j=0; j<tamAtual; ++j) novo[j] = vetorExpansivel[j];
         delete[] vetorExpansivel;
         vetorExpansivel = novo;
         tam_max += TAM;
      }
      vetorExpansivel[ tamAtual++ ] = i+1;
  }
  for (int i=0; i<tamAtual; ++i) cout << vetorExpansivel[i] << endl;
  delete[] vetorExpansivel;

  return 0;
}
```

Alocação Encadeada de Estruturas Lineares

- Os elementos da estrutura seguem uma ordem lógica, mas **NÃO estão necessariamente armazenados sequencialmente na memória**
- A relação lógica de ordem é implementada através de uma ligação (referência ou armazenamento de endereço) entre os nodos
- Estruturas lineares encadeadas são chamadas de **listas encadeadas**, sendo que cada nodo pode armazenar uma referência para o próximo elemento (lista simplesmente encadeada)



- Ou para o elemento anterior e para o próximo elemento (lista duplamente encadeada)



- A estrutura pode aumentar e diminuir em tempo de execução

Alocação Encadeada de Estruturas Lineares

- Quando for necessário inserir um elemento na estrutura, deve-se:
  - Alocar um novo nodo
  - Preencher as informações no nodo
  - Inserir o novo nodo em determinada posição da estrutura (o que exige ajustes em alguns encadeamentos)
- Alocação encadeada será útil quando:
  - Não é possível prever o número de entradas de dados em tempo de compilação
  - For mais fácil aplicar determinada operação sobre a estrutura encadeada

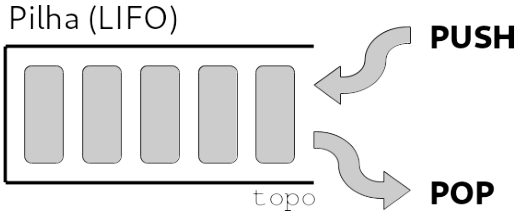
Operações Básicas sobre Estruturas Lineares

- Criação da estrutura
- Destruição da estrutura
- Inserção de um elemento na estrutura
- Remoção de um elemento da estrutura
- Acesso a um elemento da estrutura
- Alteração de um elemento da estrutura
- Combinação de duas ou mais estruturas
- Ordenação dos elementos da estrutura
- Cópia de uma estrutura
- Localização de um nodo através de alguma informação do nodo

Pilha (*Stack*)

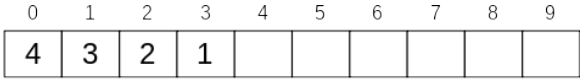
Pilha ou *Stack*

- Usa a política *LIFO – Last In First Out* (o último elemento que entrou, é o primeiro a sair)
- Possui apenas uma entrada, chamada de topo, a partir da qual os dados são inseridos e removidos



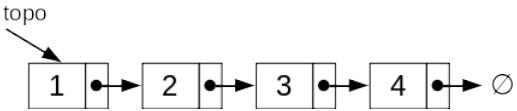
Pilha: Implementações Possíveis

- **Arranjo**

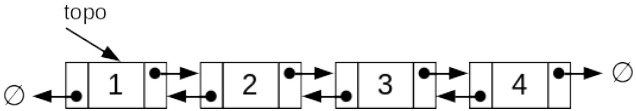


tamMax = 10 / tam = 4 / posTopo = 3 / valTopo = 1

- **Lista Simplesmente Encadeada**



- **Lista Duplamente Encadeada**



Aplicações que Usam Pilha

- Operações de edição de desfazer/refazer
- Histórico de visitação de páginas em navegadores *web* (botão *back*)
- Cadeia de chamada de métodos em interpretadores e máquinas virtuais
- Auxiliar para implementação de outras estruturas de dados e algoritmos
- Implementação de compiladores
- Computação Gráfica (operações com matrizes)
- Manipulação de expressões aritméticas: infixada, pós-fixada, pré-fixada

Métodos do TAD Pilha

- `bool push(e)`: insere o elemento no topo da pilha (retorna `true`, em caso de sucesso, ou `false`, se NÃO houver espaço)
- `bool pop(&e)`: remove e retorna (por referência) o elemento do topo da pilha (retorna `true`, em caso de sucesso, ou `false`, a pilha estiver vazia)
- `bool top(&e)` ou `bool peek(&e)`: retorna (por referência) o elemento do topo da pilha, mas não o remove da pilha (retorna `true`, em caso de sucesso, ou `false`, a pilha estiver vazia)
- `int size()`: retorna o número de elementos da pilha
- `int maxSize()`: retorna o número máximo de elementos suportado pela pilha
- `bool isEmpty()`: retorna `true`, se a pilha estiver vazia, ou `false`, em caso contrário
- `bool isFull()`: retorna `true`, se a pilha estiver cheia, ou `false`, em caso contrário
- `void clear()`: esvazia a pilha

Exemplo de Implementação: IntStack.hpp

```
#ifndef _INTSTACK_HPP
#define _INTSTACK_HPP

#include <string>

using namespace std;

class IntStack {
private:
  int numElements;
  int maxElements;
  int *stack;
public:
  IntStack(int mxSz = 10);
  ~IntStack();
  int size() const;
  int maxSize() const;
  bool isEmpty() const;
  bool isFull() const;
  void clear();
  bool push(const int &e);
  bool pop(int &e);
  bool top(int &e) const;
  string str() const;
};
#endif
```

Exemplo de Implementação: IntStack.cpp

```
#include <sstream>
#include "IntStack.hpp"

IntStack::IntStack(int mxSz) {
  numElements = 0;   maxElements =  ( mxSz < 1 ) ? 10 : mxSz;
  stack = new int[maxElements];
}

IntStack::~IntStack() {  delete[] stack;  }
int IntStack::size() const { return numElements; }
int IntStack::maxSize() const { return maxElements; }
bool IntStack::isEmpty() const { return numElements == 0; }
bool IntStack::isFull() const { return numElements == maxElements; }
void IntStack::clear() { numElements = 0; }

bool IntStack::push(const int &e) {
  if ( numElements == maxElements ) return false;
  else { stack[ numElements++ ] = e;  return true; }
}

bool IntStack::pop(int &e) {
  if ( numElements == 0 ) return false;
  else { e = stack[ --numElements ];  return true; }
}

bool IntStack::top(int &e) const {
  if ( numElements < 1 ) return false;
  else { e = stack[ numElements-1 ];  return true; }
}

string IntStack::str() const {
  int i;   stringstream ss;
  ss << "|";
  for (i=0; i<numElements; ++i) ss << stack[i] << "|";
  for (; i<maxElements; ++i) ss << "␣|";
  return ss.str();
}
```

Exemplo de Implementação: IntStackMain.cpp

```
#include <iostream>
#include "IntStack.hpp"

using namespace std;

void print(IntStack &stack) {
  cout << "␣␣" << stack.str() << "␣␣size=" << stack.size() << "/" << stack.maxSize() << "␣␣top=";
  int t;   bool res = stack.top(t);
  if (res) cout << t; else cout << "X";
  cout << "␣␣isEmpty=" << stack.isEmpty() << "␣␣isFull=" << stack.isFull() << endl;
}

int main() {
  int e;
  bool res;
  cout << "IntStack(4):␣";  IntStack stack(4);  print(stack);
  e = 1;  cout << "push(" << e << "):␣"; res = stack.push(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(stack);
  e = 2;  cout << "push(" << e << "):␣"; res = stack.push(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(stack);
  e = 3;  cout << "push(" << e << "):␣"; res = stack.push(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(stack);
  res = stack.pop(e); cout << "pop(" << e << "):␣␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(stack);
  e = 4;  cout << "push(" << e << "):␣"; res = stack.push(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO"); print(stack);
  e = 5;  cout << "push(" << e << "):␣"; res = stack.push(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO"); print(stack);
  e = 6;  cout << "push(" << e << "):␣"; res = stack.push(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO"); print(stack);
  res = stack.pop(e); cout << "pop(" << e << "):␣␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(stack);
  res = stack.pop(e); cout << "pop(" << e << "):␣␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(stack);
  res = stack.pop(e); cout << "pop(" << e << "):␣␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(stack);
  res = stack.pop(e); cout << "pop(" << e << "):␣␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(stack);
  res = stack.pop(e); cout << "pop(X):␣␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(stack);
  e = 7;  cout << "push(" << e << "):␣"; res = stack.push(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO"); print(stack);
  cout << "clear():␣OK␣␣";  stack.clear();  print(stack);
  return 0;
}
```

Exemplo de Implementação (Saída)

```
IntStack(4):    | | | | |   size=0/4   top=X   isEmpty=1   isFull=0
push(1): OK     |1| | | |   size=1/4   top=1   isEmpty=0   isFull=0
push(2): OK     |1|2| | |   size=2/4   top=2   isEmpty=0   isFull=0
push(3): OK     |1|2|3| |   size=3/4   top=3   isEmpty=0   isFull=0
pop(3):  OK     |1|2| | |   size=2/4   top=2   isEmpty=0   isFull=0
push(4): OK     |1|2|4| |   size=3/4   top=4   isEmpty=0   isFull=0
push(5): OK     |1|2|4|5|   size=4/4   top=5   isEmpty=0   isFull=1
push(6): ERRO   |1|2|4|5|   size=4/4   top=5   isEmpty=0   isFull=1
pop(5):  OK     |1|2|4| |   size=3/4   top=4   isEmpty=0   isFull=0
pop(4):  OK     |1|2| | |   size=2/4   top=2   isEmpty=0   isFull=0
pop(2):  OK     |1| | | |   size=1/4   top=1   isEmpty=0   isFull=0
pop(1):  OK     | | | | |   size=0/4   top=X   isEmpty=1   isFull=0
pop(X):  ERRO   | | | | |   size=0/4   top=X   isEmpty=1   isFull=0
push(7): OK     |7| | | |   size=1/4   top=7   isEmpty=0   isFull=0
clear(): OK     | | | | |   size=0/4   top=X   isEmpty=1   isFull=0
```

Exercícios

Exercícios

1. Considerando como base a implementação da classe `IntStack` (apresentadas nas lâminas anteriores), implemente uma classe em C++ para gerenciar uma pilha de caracteres (`CharStack`).
2. Usando a classe da questão anterior, escreva um programa em C++, que inverte as letras de cada palavra de um texto terminado por ponto (.) preservando a ordem das palavras.
   Por exemplo, dado o texto:

   ```
   ESTE EXERCICIO E MUITO FACIL.
   ```

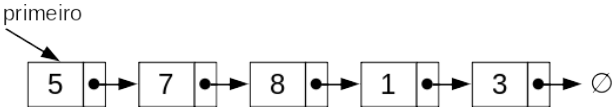
   A saída deve ser:

   ```
   ETSE OICICREXE E OTIUM LICAF
   ```
3. Considerando ainda a classe `CharStack`, escreva uma função que verifique se uma palavra (`string`) é um palíndromo.
4. Implemente uma função em C++ para testar se duas pilhas de caracteres (objetos da classe `CharStack`), `P1` e `P2`, são iguais.
5. Implemente uma função em C++ para copiar os elementos de uma pilha Desenvolva uma operação para copiar elementos de uma pilha `P1` para uma pilha `P2` (sem destruir `P1`).

Implementando uma Pilha Encadeada

Estruturas Lineares Encadeadas

- Uma estrutura encadeada é uma estrutura composta por nodos, que possuem campos que apontam para outros nodos
- Por exemplo, em uma lista simplesmente encadeada, tipicamente:
  - Há um ponteiro para o primeiro elemento da lista
  - Cada nodo tem um campo que aponta para o próximo elemento da lista
  - O campo de encadeamento do último elemento contém uma referência inválida



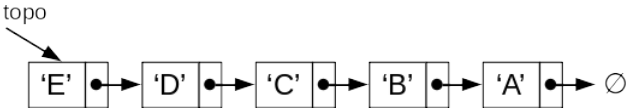
- Ao inserir um elemento, deve-se alocar um nodo, preenchê-lo e colocá-lo na posição desejada na estrutura (ajustando as referências necessárias)
- Ao remover um elemento, é preciso removê-lo (ajustando as referências necessárias) e desalocá-lo

Estruturas Encadeadas em C++

- Pode-se declarar um nodo em C++, para armazenar caracteres, da seguinte forma:

```
struct Nodo {
  char letra;
  Nodo *prox;
  Nodo(char l) {
    letra = l;
    next = nullptr;
  }
};
```

- `nullptr` é usado para indicar uma estrutura vazia ou fim da estrutura
- Exemplo: construção da seguinte pilha simplesmente encadeada

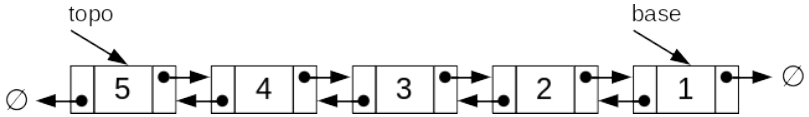


Exemplo: pilha_simplesmente_encadeada.cpp

```cpp
#include <iostream>

using namespace std;

struct Nodo {
  char letra;
  Nodo *prox;
  Nodo(char l) {  letra = l;  prox = nullptr;  cout << "Nodo " << letra << " criado..." << endl;  }
  ~Nodo() {  cout << "Nodo " << letra << " destruido..." << endl;  }
};

int main() {
  Nodo *nodo1 = new Nodo('A');
  Nodo *nodo2 = new Nodo('B');
  Nodo *nodo3 = new Nodo('C');
  Nodo *nodo4 = new Nodo('D');
  Nodo *nodo5 = new Nodo('E');

  Nodo *topo = nodo5;
  nodo5->prox = nodo4;
  nodo4->prox = nodo3;
  nodo3->prox = nodo2;
  nodo2->prox = nodo1;

  for (Nodo *aux = topo; aux != nullptr; aux = aux->prox)
      cout << aux->letra << endl;

  while (topo != nullptr) {
        Nodo *aux = topo;
        topo = topo->prox;
        delete aux;
  }

  return 0;
}
```

Exercícios 6 e 7

6. Modifique o programa da lâmina anterior para que a lista seja criada **com um laço**, exatamente com o mesmo conteúdo e na mesma ordem lógica. Faça as inserções sempre pela mesma extremidade da estrutura encadeada.
7. Usando como modelo o programa da lâmina anterior, construa em C++ a seguinte lista duplamente encadeada. Percorra a lista, mostrando o conteúdo de seus nodos, tanto do início para o fim, quanto do fim para o início.



Exercício 8

8. Usando como ponto de partida a classe `IntStack`, apresentada anteriormente e implementada usando alocação sequencial ou contígua, implemente a classe `IntLinkedStack`, que funciona da mesma forma, porém usando alocação encadeada. Observações:
   - A versão usando alocação encadeada eliminará a necessidade de se trabalhar com um limite máximo de elementos, consequentemente, os métodos `maxSize()` e `isFull()` NÃO farão parte da nova implementação.
   - A definição da classe (arquivo `IntLinkedStack.hpp`) e um programa de teste ((arquivo `IntLinkedStackMain.cpp`)) estão listados nas lâminas a seguir.

Exercício 8: IntLinkedStack.hpp

```
#ifndef _INTLINKEDSTACK_HPP
#define _INTLINKEDSTACK_HPP
#include <string>
using namespace std;

class IntLinkedStack {
private:
  int numElements;
  struct Reg {
    int data;
    Reg *next;
    Reg(int d) {  data = d;  next = nullptr;  }
  };
  Reg *stack;
public:
  IntLinkedStack();
  ~IntLinkedStack();
  void push(const int e);
  bool pop(int &e);
  bool top(int &e) const;
  int size() const;
  bool isEmpty() const;
  void clear();
  string str() const;
};
#endif
```

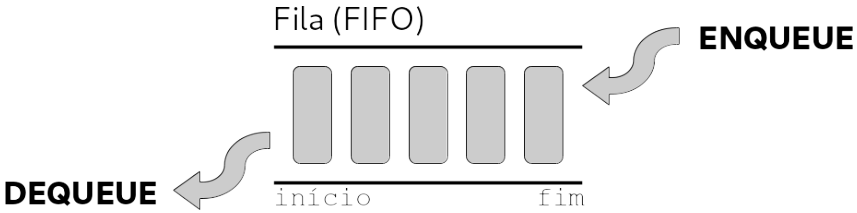
Exercício 8: IntLinkedStackMain.cpp

```
#include <iostream>
#include "IntLinkedStack.hpp"

using namespace std;

void print(IntLinkedStack &stack) {
  cout << "␣␣" << stack.str() << "␣␣size=" << stack.size() << "␣␣top=";
  int t;   bool res = stack.top(t);
  if (res) cout << t; else cout << "X";
  cout << "␣␣isEmpty=" << stack.isEmpty() << endl;
}

int main() {
  int vet[] = {0,1,2,3,4,5,6,7,8,9};
  int numElements = sizeof(vet)/sizeof(int);
  IntLinkedStack stack;
  cout << "␣␣␣␣␣␣␣␣␣␣"; print(stack);
  for (int i=0; i<numElements; ++i) {
      cout << "push(" << vet[i] << "):␣␣";
      stack.push( vet[i] );
      print(stack);
  }
  for (int i=0; i<numElements+1; ++i) {
      int e;
      bool res = stack.pop( e );
      if ( !res ) cout << "pop(X):␣␣␣";
      else cout << "pop(" << e << "):␣␣␣";
      print(stack);
  }
  return 0;
}
```

Fila (*Queue*)

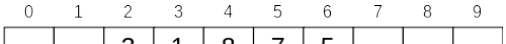
Fila ou *Queue*

- Usa a política *FIFO – First In First Out* (o primeiro que entrou, é o primeiro a sair)
- Possui uma entrada (fim), a partir da qual os dados são inseridos, e uma saída (início), a partir da qual os dados são removidos

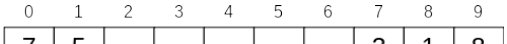


Fila: Implementações Possíveis

- **Arranjo circular**

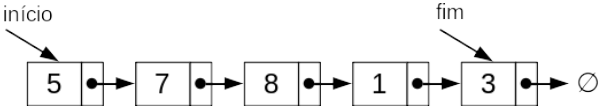


tam = 5 / tamMax = 10 / posInicio = 2 / posFim = 6

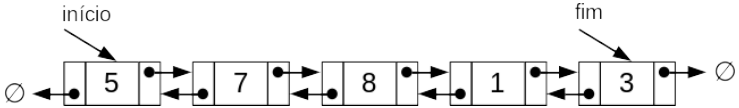


tam = 5 / tamMax = 10 / PosInicio = 7 / posFim = 1

- **Lista Simplesmente Encadeada**



- **Lista Duplamente Encadeada**



Implementação de um Arranjo Circular

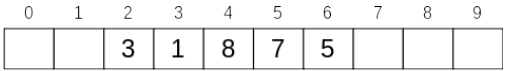
- Usam-se índices para inserção (`insertPos`) e remoção (`removePos`) que percorrem o arranjo (`queue`) de forma "circular"
- Para inserir pode-se usar:

```
queue[ insertPos++ ] = e;
insertPos %= maxElements; // Ou: if ( insertPos == maxElements ) insertPos = 0;
```

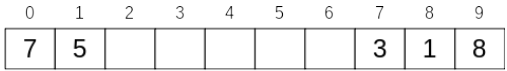
- Para remover pode-se usar:

```
e = queue[ removePos++ ];
removePos %= maxElements; // Ou: if ( removePos == maxElements ) removePos = 0;
```

- Deve-se verificar as situações de arranjo cheio (na inserção) e arranjo vazio (na remoção)
- Exemplos:



tam = 5 / tamMax = 10 / posInicio = 2 / posFim = 6



tam = 5 / tamMax = 10 / PosInicio = 7 / posFim = 1

Aplicações que Usam Fila

- Desenvolvimento de aplicativos
  - Gerenciamento de transações para aplicativos de lojas, teatros, centros de reserva, etc.
- Simulações
  - Listas de espera na simulação de sistemas de atendimento (banco, supermercado, etc.)
- Sistemas Operacionais
  - Fila de documentos para impressão
  - Escalonamento de processos em um sistema operacional
  - Fila de requisições de acesso a disco
  - Fila de espera por recursos
  - Fila (*buffering*) de mensagens e pacotes
- Estruturas de Dados
  - Suporte na implementação de algoritmos sobre árvores e grafos
- etc.

Métodos do TAD Fila (*Queue*)

- `bool enqueue(e)`: insere o elemento no final da fila (retorna `true`, em caso de sucesso, ou `false`, se NÃO houver espaço)
- `bool dequeue(&e)`: remove e retorna (por referência) o elemento do início da fila (retorna `true`, em caso de sucesso, ou `false`, a fila estiver vazia)
- `bool head(&e)`: retorna (por referência) o elemento do início da fila, mas não o remove da fila (retorna `true`, em caso de sucesso, ou `false`, a fila estiver vazia)
- `int size()`: retorna o número de elementos da fila
- `int maxSize()`: retorna o número máximo de elementos suportado pela fila
- `bool isEmpty()`: retorna `true`, se a fila estiver vazia, ou `false`, em caso contrário
- `bool isFull()`: retorna `true`, se a fila estiver cheia, ou `false`, em caso contrário
- `void clear()`: esvazia a fila

Exemplo de Implementação: IntQueue.hpp

```
#ifndef _INTQUEUE_HPP
#define _INTQUEUE_HPP

#include <string>

using namespace std;

class IntQueue {
private:
  int numElements, maxElements;
  int insertPos, removePos;
  int *queue;
public:
  IntQueue(int mxSz = 10);
  ~IntQueue();
  int size() const;
  int maxSize() const;
  bool isEmpty() const;
  bool isFull() const;
  void clear();
  bool enqueue(const int &e);
  bool dequeue(int &e);
  bool head(int &e) const;
  string str() const;
};
#endif
```

Exemplo de Implementação: IntQueue.cpp

```
#include <sstream>
#include "IntQueue.hpp"

IntQueue::IntQueue(int mxSz) {
  numElements = insertPos = removePos = 0;   maxElements =  ( mxSz < 1 ) ? 10 : mxSz;  queue = new int[maxElements];
}

IntQueue::~IntQueue() {  delete[] queue;  }
int IntQueue::size() const { return numElements; }
int IntQueue::maxSize() const { return maxElements; }
bool IntQueue::isEmpty() const { return numElements == 0; }
bool IntQueue::isFull() const { return numElements == maxElements; }
void IntQueue::clear() { numElements = insertPos = removePos = 0; }

bool IntQueue::enqueue(const int &e) {
  if ( numElements == maxElements ) return false;
  else { queue[ insertPos++ ] = e;  insertPos %= maxElements;  ++numElements;  return true; }
}

bool IntQueue::dequeue(int &e) {
  if ( numElements == 0 ) return false;
  else { e = queue[ removePos++ ];  removePos %= maxElements; --numElements; return true; }
}

bool IntQueue::head(int &e) const {
  if ( numElements < 1 ) return false;
  else { e = queue[ removePos ];  return true; }
}

string IntQueue::str() const {
  stringstream ss;   ss << "|";
  for (int i=0; i<maxElements; ++i)
      if ( (removePos == insertPos && numElements != 0) ||
           (removePos < insertPos && (i >= removePos && i < insertPos)) ||
           (removePos > insertPos && (i >= removePos || i < insertPos)) ) ss << queue[i] << "|";
      else ss << " |";
  return ss.str();
}
```

Exemplo de Implementação: IntQueueMain.cpp

```
#include <iostream>
#include "IntQueue.hpp"

using namespace std;

void print(IntQueue &queue) {
  cout << "␣␣" << queue.str() << "␣␣size=" << queue.size() << "/" << queue.maxSize() << "␣␣head=";
  int h;   bool res = queue.head(h);
  if (res) cout << h; else cout << "X";
  cout << "␣␣isEmpty=" << queue.isEmpty() << "␣␣isFull=" << queue.isFull() << endl;
}

int main() {
  int e;
  bool res;
  cout << "IntQueue(4):␣␣␣␣"; IntQueue queue(4); print(queue);
  e = 1;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; res = queue.enqueue(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  e = 2;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; res = queue.enqueue(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  e = 3;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; res = queue.enqueue(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  res = queue.dequeue(e); cout << "dequeue(" << e << "):␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  e = 4;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; res = queue.enqueue(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO"); print(queue);
  e = 5;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; res = queue.enqueue(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO"); print(queue);
  e = 6;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; res = queue.enqueue(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO"); print(queue);
  res = queue.dequeue(e); cout << "dequeue(" << e << "):␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  res = queue.dequeue(e); cout << "dequeue(" << e << "):␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  res = queue.dequeue(e); cout << "dequeue(" << e << "):␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  res = queue.dequeue(e); cout << "dequeue(" << e << "):␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  res = queue.dequeue(e); cout << "dequeue(X):␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  e = 7;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; res = queue.enqueue(e);  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO"); print(queue);
  cout << "clear():␣␣␣␣OK␣␣"; queue.clear();  print(queue);
  return 0;
}
```

Exemplo de Implementação (Saída)

```
IntQueue(4):        | | | | |   size=0/4   head=X   isEmpty=1   isFull=0
enqueue(1): OK      |1| | | |   size=1/4   head=1   isEmpty=0   isFull=0
enqueue(2): OK      |1|2| | |   size=2/4   head=1   isEmpty=0   isFull=0
enqueue(3): OK      |1|2|3| |   size=3/4   head=1   isEmpty=0   isFull=0
dequeue(1): OK      | |2|3| |   size=2/4   head=2   isEmpty=0   isFull=0
enqueue(4): OK      | |2|3|4|   size=3/4   head=2   isEmpty=0   isFull=0
enqueue(5): OK      |5|2|3|4|   size=4/4   head=2   isEmpty=0   isFull=1
enqueue(6): ERRO    |5|2|3|4|   size=4/4   head=2   isEmpty=0   isFull=1
dequeue(2): OK      |5| |3|4|   size=3/4   head=3   isEmpty=0   isFull=0
dequeue(3): OK      |5| | |4|   size=2/4   head=4   isEmpty=0   isFull=0
dequeue(4): OK      |5| | | |   size=1/4   head=5   isEmpty=0   isFull=0
dequeue(5): OK      | | | | |   size=0/4   head=X   isEmpty=1   isFull=0
dequeue(X): ERRO    | | | | |   size=0/4   head=X   isEmpty=1   isFull=0
enqueue(7): OK      | |7| | |   size=1/4   head=7   isEmpty=0   isFull=0
clear():    OK      | | | | |   size=0/4   head=X   isEmpty=1   isFull=0
```

Exercício 9

9. Considere duas estrutura de dados do tipo fila, chamadas `A` e `B`. Na fila `A`, foram inseridos (nessa ordem) os seguintes valores: 10, 20 e 30. E, na fila `B`, foram inseridos (nessa ordem) os seguintes valores: 30, 20 e 10. Para ambas as estruturas, considere as seguintes operações:
   - `dequeue(F)`: que remove um elemento da fila `F` e retorna esse elemento;
   - `enqueue(F, E)`: que insere o elemento `E` na fila `F`;
   - `head(F)`: que retorna o elemento do início da fila, sem removê-lo da estrutura.

   Quais serão as sequências de elementos nas filas `A` e `B`, após executar a expressão "`enqueue(A, dequeue(A) + dequeue(B) + head(A))`"?

Exercício 10

10. Usando como ponto de partida a classe `IntQueue`, apresentada anteriormente e implementada usando alocação sequencial ou contígua, implemente a classe `IntLinkedQueue`, que funciona da mesma forma, porém usando alocação encadeada. Observações:
    - A versão usando alocação encadeada eliminará a necessidade de se trabalhar com um limite máximo de elementos, consequentemente, os métodos `maxSize()` e `isFull()` NÃO farão parte da nova implementação.
    - A definição da classe (arquivo `IntLinkedQueue.hpp`) e um programa de teste ((arquivo `IntLinkedQueueMain.cpp`)) estão listados nas lâminas a seguir.

Exercício 10: IntLinkedQueue.hpp

```
#ifndef _INTLINKEDQUEUE_HPP
#define _INTLINKEDQUEUE_HPP
#include <string>
using namespace std;

class IntLinkedQueue {
private:
  int numElements;
  struct Reg {
    int data;
    Reg *next;
    Reg(int d) {  data = d;  next = nullptr;  }
  };
  Reg *queueHead, *queueTail;
public:
  IntLinkedQueue();
  ~IntLinkedQueue();
  int size() const;
  bool isEmpty() const;
  void enqueue(const int e);
  bool dequeue(int &e);
  bool head(int &e) const;
  void clear();
  string str() const;
};
#endif
```

Exercício 10: IntLinkedQueueMain.cpp

```
#include <iostream>
#include "IntLinkedQueue.hpp"

using namespace std;

void print(IntLinkedQueue &queue) {
  cout << "␣␣" << queue.str() << "␣␣size=" << queue.size() << "␣␣head=";
  int h;   bool res = queue.head(h);
  if (res) cout << h; else cout << "X";
  cout << "␣␣isEmpty=" << queue.isEmpty() << endl;
}

int main() {
  int e;
  bool res;
  cout << "IntLinkedQueue:␣";  IntLinkedQueue queue;  print(queue);
  e = 1;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; queue.enqueue(e);  cout << "OK␣␣";  print(queue);
  e = 2;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; queue.enqueue(e);  cout << "OK␣␣";  print(queue);
  e = 3;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; queue.enqueue(e);  cout << "OK␣␣";  print(queue);
  res = queue.dequeue(e); cout << "dequeue(" << e << "):␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  e = 4;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; queue.enqueue(e);  cout << "OK␣␣"; print(queue);
  e = 5;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; queue.enqueue(e);  cout << "OK␣␣"; print(queue);
  e = 6;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; queue.enqueue(e);  cout << "OK␣␣"; print(queue);
  res = queue.dequeue(e); cout << "dequeue(" << e << "):␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  res = queue.dequeue(e); cout << "dequeue(" << e << "):␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  res = queue.dequeue(e); cout << "dequeue(" << e << "):␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  res = queue.dequeue(e); cout << "dequeue(" << e << "):␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  res = queue.dequeue(e); cout << "dequeue(X):␣";  cout << (res?"OK␣␣":"ERRO");  print(queue);
  e = 7;  cout << "enqueue(" << e << "):␣"; queue.enqueue(e);  cout << "OK␣␣"; print(queue);
  cout << "clear():␣␣␣␣OK␣␣";  queue.clear();  print(queue);
  return 0;
}
```

Créditos

Créditos

- Estas lâminas contêm trechos inspirados em materiais criados e disponibilizados pelos professores Isabel Harb Manssour e Iaçanã Ianiski Weber.

Soluções

Exercício 1: CharStack.hpp

```
#ifndef _CHARSTACK_HPP
#define _CHARSTACK_HPP

#include <string>

using namespace std;

class CharStack {
private:
  int numElements;
  int maxElements;
  char *stack;
public:
  CharStack(int mxSz = 10);
  ~CharStack();
  bool push(const char &e);
  bool pop(char &e);
  bool top(char &e) const;
  int size() const;
  int maxSize() const;
  bool isEmpty() const;
  bool isFull() const;
  void clear();
  string str() const;
};
#endif
```

Exercício 1: CharStack.cpp

```cpp
#include <sstream>
#include "CharStack.hpp"

CharStack::CharStack(int mxSz) {
  numElements = 0;   maxElements =  ( mxSz < 1 ) ? 10 : mxSz;
  stack = new char[maxElements];
}

CharStack::~CharStack() {  delete[] stack;  }

bool CharStack::push(const char &e) {
  if ( numElements == maxElements ) return false;
  else { stack[ numElements++ ] = e;  return true; }
}

bool CharStack::pop(char &e) {
  if ( numElements == 0 ) return false;
  else { e = stack[ --numElements ];  return true; }
}

bool CharStack::top(char &e) const {
  if ( numElements < 1 ) return false;
  else { e = stack[ numElements-1 ];  return true; }
}

int CharStack::size() const { return numElements; }
int CharStack::maxSize() const { return maxElements; }
bool CharStack::isEmpty() const { return numElements == 0; }
bool CharStack::isFull() const { return numElements == maxElements; }
void CharStack::clear() { numElements = 0; }

string CharStack::str() const {
  int i;   stringstream ss;
  ss << "|";
  for (i=0; i<numElements; ++i) ss << stack[i] << "|";
  for (; i<maxElements; ++i) ss << "␣|";
  return ss.str();
}
```

Exercício 2: questao2.cpp

```
#include <iostream>
#include "CharStack.hpp"

using namespace std;

string invertePalavrasDaFrase(string frase) {
  char ch;
  CharStack stack(1000);
  string res = "";
  for (int i=0; i<frase.size(); ++i) {
      char c = frase[i];
      if (c == '.' || c == ' ') {
         while ( stack.pop(ch) ) res += ch;
         res += c;
      }
      else if ( !stack.push(c) ) cerr << "ERRO!" << endl;
  }
  while ( stack.pop(ch) ) res += ch;
  return res;
}

int main() {
  string frase1 = "ESTE EXERCICIO E MUITO FACIL.";
  cout << frase1 << endl;
  cout << invertePalavrasDaFrase(frase1) << endl;
  return 0;
}
```

Exercício 6: pilha_simplesmente_encadeada2.cpp

```cpp
#include <iostream>

using namespace std;

struct Nodo {
  char letra;
  Nodo *prox;
  Nodo(char l) {  letra = l;  prox = nullptr;  cout << "Nodo " << letra << " criado..." << endl;  }
  ~Nodo() {  cout << "Nodo " << letra << " destruido..." << endl;  }
};

int main() {
  Nodo *topo = nullptr;
  for (char c = 'A'; c <= 'E'; ++c) {
      Nodo *nodo = new Nodo(c);
      nodo->prox = topo;
      topo = nodo;
  }

  for (Nodo *aux = topo; aux != nullptr; aux = aux->prox)
      cout << aux->letra << endl;

  while (topo != nullptr) {
        Nodo *aux = topo;
        topo = topo->prox;
        delete aux;
  }

  return 0;
}
```

Exercício 7: pilha_duplamente_encadeada.cpp

```cpp
#include <iostream>

using namespace std;

struct Nodo {
  int valor;
  Nodo *prev;
  Nodo *prox;
  Nodo(int v) {  valor = v;  prev = nullptr;  prox = nullptr;  cout << "Nodo " << valor << " criado..." << endl;  }
  ~Nodo() {  cout << "Nodo " << valor << " destruido..." << endl;  }
};

int main() {
  Nodo *nodo1 = new Nodo(1);
  Nodo *nodo2 = new Nodo(2);
  Nodo *nodo3 = new Nodo(3);
  Nodo *nodo4 = new Nodo(4);
  Nodo *nodo5 = new Nodo(5);

  Nodo *topo  = nodo5;       nodo5->prox = nodo4;
  nodo4->prev = nodo5;       nodo4->prox = nodo3;
  nodo3->prev = nodo4;       nodo3->prox = nodo2;
  nodo2->prev = nodo3;       nodo2->prox = nodo1;
  nodo1->prev = nodo2;       Nodo *base  = nodo1;

  for (Nodo *aux = topo; aux != nullptr; aux = aux->prox)
      cout << aux->valor << endl;
  for (Nodo *aux = base; aux != nullptr; aux = aux->prev)
      cout << aux->valor << endl;

  while (topo != nullptr) {
        Nodo *aux = topo;
        topo = topo->prox;
        delete aux;
  }

  return 0;
}
```

Exercício 8: IntLinkedStack.cpp

```cpp
#include <sstream>
#include "IntLinkedStack.hpp"

IntLinkedStack::IntLinkedStack() {  numElements = 0;  stack = nullptr;  }
IntLinkedStack::~IntLinkedStack() {  clear();  }
int IntLinkedStack::size() const {  return numElements;  }
bool IntLinkedStack::isEmpty() const {  return numElements == 0;  }

void IntLinkedStack::push(const int e) {
  Reg *aux = new Reg(e);
  aux->next = stack;   stack = aux;
  ++numElements;
}

bool IntLinkedStack::pop(int &e) {
  if ( numElements == 0 ) return false;
  --numElements;       e = stack->data;
  Reg *aux = stack;   stack = stack->next;    delete aux;
  return true;
}

bool IntLinkedStack::top(int &e) const {
  if ( numElements == 0 ) return false;
  else {  e = stack->data;  return true;  }
}

void IntLinkedStack::clear() {
  while (stack != nullptr) {  Reg *aux = stack;   stack = stack->next;   delete aux;  }
  numElements = 0;
}

string IntLinkedStack::str() const {
  stringstream ss;
  ss << "|";
  for (Reg *aux = stack; aux != nullptr; aux = aux->next)
      ss << aux->data << "|";
  return ss.str();
}
```

Exercício 9

```
A = { 20, 30, 60 }
B = { 20, 10 }
```

Exercício 8: IntLinkedQueue.cpp

```cpp
#include <sstream>
#include "IntLinkedQueue.hpp"

IntLinkedQueue::IntLinkedQueue() {  numElements = 0;  queueHead = queueTail = nullptr;  }
IntLinkedQueue::~IntLinkedQueue() {  clear();  }
int IntLinkedQueue::size() const {  return numElements;  }
bool IntLinkedQueue::isEmpty() const {  return numElements==0;  }

void IntLinkedQueue::enqueue(const int e) {
  Reg *aux = new Reg(e);
  if ( queueHead == nullptr) {  queueHead = queueTail = aux;  }
  else {  queueTail->next = aux;   queueTail = aux;  }
  ++numElements;
}

bool IntLinkedQueue::dequeue(int &e) {
  if ( numElements == 0 ) return false;
  --numElements;  e = queueHead->data;  Reg *aux = queueHead;  queueHead = queueHead->next;  delete aux;
  return true;
}

bool IntLinkedQueue::head(int &e) const {
  if ( numElements == 0 ) return false;
  else {  e = queueHead->data;  return true; }
}

void IntLinkedQueue::clear() {
  while (queueHead != nullptr) {  Reg *aux = queueHead;   queueHead = queueHead->next;   delete aux;  }
  numElements = 0;
}

string IntLinkedQueue::str() const {
  stringstream ss;
  ss << "|";
  for (Reg *aux = queueHead; aux != nullptr; aux = aux->next)
      ss << aux->data << "|";
  return ss.str();
}
```