Aula 07

Estruturas de dados recursivas

Listas ligadas

Programação II, 2019-2020

v1.4, 29-03-2020

DETI, Universidade de Aveiro

Sumário

Sumário

Como guardar colecções de dados?

- Temos utilizado vectores (***arrays***).
- Permitem guardar elementos preservando a sua ordem.
- Permitem **acesso aleatório**, i.e., acesso directo rápido a qualquer elemento, por qualquer ordem.
- No entanto, os **vectores têm limitações**:
  - A sua capacidade tem de ser fixada quando são criados.
  - Isto obriga a sobredimensionar um vector quando o número de elementos não é conhecido a partida.
  - Ou então, redimensionar o vector quando chegam novos elementos, com custos em tempo de processamento.
  - Inserir ou remover elementos numa posição intermédia pode demorar bastante tempo se for necessário deslocar muitos elementos.

Como guardar colecções de dados?

- Temos utilizado vectores (***arrays***).
- Permitem guardar elementos preservando a sua ordem.
- Permitem **acesso aleatório**, i.e., acesso direto rápido a qualquer elemento, por qualquer ordem.
- No entanto, os **vectores têm limitações**:
  - A sua capacidade tem de ser fixada quando são criados.
  - Isto obriga a sobredimensionar um vector quando o número de elementos não é conhecido à partida.
  - Ou então, redimensionar o vector quando chegam novos elementos, com custos em tempo de processamento.
  - Inserir ou remover elementos numa posição intermédia pode demorar bastante tempo se for necessário deslocar muitos elementos.

Como guardar colecções de dados?

- Temos utilizado vectores (***arrays***).
- Permitem guardar elementos preservando a sua ordem.
- Permitem **acesso aleatório**, i.e., acesso direto rápido a qualquer elemento, por qualquer ordem.
- No entanto, os **vectores têm limitações**:
  - A sua capacidade tem de ser fixada quando são criados.
  - Isto obriga a sobredimensionar um vector quando o número de elementos não é conhecido à partida.
  - Ou então, redimensionar o vector quando chegam novos elementos, com custos em tempo de processamento.
  - Inserir ou remover elementos numa posição intermédia pode demorar bastante tempo se for necessário deslocar muitos elementos.

Como guardar colecções de dados?

- Temos utilizado vectores (***arrays***).
- Permitem guardar elementos preservando a sua ordem.
- Permitem **acesso aleatório**, i.e., acesso direto rápido a qualquer elemento, por qualquer ordem.
- No entanto, os **vectores têm limitações**:
  - A sua capacidade tem de ser fixada quando são criados.
  - Isto obriga a sobredimensionar um vector quando o número de elementos não é conhecido à partida.
  - Ou então, redimensionar o vector quando chegam novos elementos, com custos em tempo de processamento.
  - Inserir ou remover elementos numa posição intermédia pode demorar bastante tempo se for necessário deslocar muitos elementos.

Como guardar colecções de dados?

- Temos utilizado vectores (***arrays***).
- Permitem guardar elementos preservando a sua ordem.
- Permitem **acesso aleatório**, i.e., acesso direto rápido a qualquer elemento, por qualquer ordem.
- No entanto, os **vectores têm limitações**:
  - A sua capacidade tem de ser fixada quando são criados.
  - Isto obriga a sobredimensionar um vector quando o número de elementos não é conhecido à partida.
  - Ou então, redimensionar o vector quando chegam novos elementos, com custos em tempo de processamento.
  - Inserir ou remover elementos numa posição intermédia pode demorar bastante tempo se for necessário deslocar muitos elementos.

Como guardar colecções de dados?

- Temos utilizado vectores (***arrays***).
- Permitem guardar elementos preservando a sua ordem.
- Permitem **acesso aleatório**, i.e., acesso direto rápido a qualquer elemento, por qualquer ordem.
- No entanto, os **vectores têm limitações**:
  - A sua capacidade tem de ser fixada quando são criados.
  - Isto obriga a sobredimensionar um vector quando o número de elementos não é conhecido à partida.
  - Ou então, redimensionar o vector quando chegam novos elementos, com custos em tempo de processamento.
  - Inserir ou remover elementos numa posição intermédia pode demorar bastante tempo se for necessário deslocar muitos elementos.

Como guardar colecções de dados?

- Temos utilizado vectores (***arrays***).
- Permitem guardar elementos preservando a sua ordem.
- Permitem **acesso aleatório**, i.e., acesso direto rápido a qualquer elemento, por qualquer ordem.
- No entanto, os **vectores têm limitações**:
  - A sua capacidade tem de ser fixada quando são criados.
  - Isto obriga a sobredimensionar um vector quando o número de elementos não é conhecido à partida.
  - Ou então, redimensionar o vector quando chegam novos elementos, com custos em tempo de processamento.
  - Inserir ou remover elementos numa posição intermédia pode demorar bastante tempo se for necessário deslocar muitos elementos.

Como guardar colecções de dados?

- Temos utilizado vectores (***arrays***).
- Permitem guardar elementos preservando a sua ordem.
- Permitem **acesso aleatório**, i.e., acesso direto rápido a qualquer elemento, por qualquer ordem.
- No entanto, os **vectores têm limitações**:
  - A sua capacidade tem de ser fixada quando são criados.
  - Isto obriga a sobredimensionar um vector quando o número de elementos não é conhecido à partida.
  - Ou então, redimensionar o vector quando chegam novos elementos, com custos em tempo de processamento.
  - Inserir ou remover elementos numa posição intermédia pode demorar bastante tempo se for necessário deslocar muitos elementos.

Como guardar colecções de dados?

- Temos utilizado vectores (***arrays***).
- Permitem guardar elementos preservando a sua ordem.
- Permitem **acesso aleatório**, i.e., acesso direto rápido a qualquer elemento, por qualquer ordem.
- No entanto, os **vectores têm limitações**:
  - A sua capacidade tem de ser fixada quando são criados.
  - Isto obriga a sobredimensionar um vector quando o número de elementos não é conhecido à partida.
  - Ou então, redimensionar o vector quando chegam novos elementos, com custos em tempo de processamento.
  - Inserir ou remover elementos numa posição intermédia pode demorar bastante tempo se for necessário deslocar muitos elementos.

Lista Ligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - No último elemento, a referência é `null`.
- Ao contrário do vector, é completamente **dinâmica**.
- No entanto, obriga a um **acesso sequencial**.
- Recorre a uma estrutura auxiliar (um *nó*) para armazenar cada elemento.
- O nó é uma estrutura de dados **recursiva**, dado que a sua definição contém uma referência para si própria.

Lista Ligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - No último elemento, a referência é `null`.
- Ao contrário do vector, é completamente **dinâmica**.
- No entanto, obriga a um **acesso sequencial**.
- Recorre a uma estrutura auxiliar (um *nó*) para armazenar cada elemento.
- O nó é uma estrutura de dados **recursiva**, dado que a sua definição contém uma referência para si própria.

Lista Ligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - No último elemento, a referência é `null`.
- Ao contrário do vector, é completamente **dinâmica**.
- No entanto, obriga a um **acesso sequencial**.
- Recorre a uma estrutura auxiliar (um *nó*) para armazenar cada elemento.
- O nó é uma estrutura de dados **recursiva**, dado que a sua definição contém uma referência para si própria.

Lista Ligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - No último elemento, a referência é `null`.
- Ao contrário do vector, é completamente **dinâmica**.
- No entanto, obriga a um **acesso sequencial**.
- Recorre a uma estrutura auxiliar (um *nó*) para armazenar cada elemento.
- O nó é uma estrutura de dados **recursiva**, dado que a sua definição contém uma referência para si própria.

Lista Ligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - No último elemento, a referência é `null`.
- Ao contrário do vector, é completamente **dinâmica**.
- No entanto, obriga a um **acesso sequencial**.
- Recorre a uma estrutura auxiliar (um *nó*) para armazenar cada elemento.
- O nó é uma estrutura de dados **recursiva**, dado que a sua definição contém uma referência para si própria.

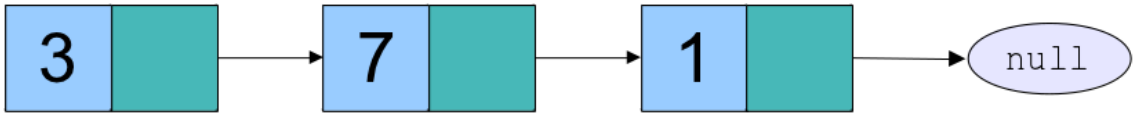
Lista Ligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - No último elemento, a referência é `null`.
- Ao contrário do vector, é completamente **dinâmica**.
- No entanto, obriga a um **acesso sequencial**.
- Recorre a uma estrutura auxiliar (um *nó*) para armazenar cada elemento.
- O nó é uma estrutura de dados **recursiva**, dado que a sua definição contém uma referência para si própria.

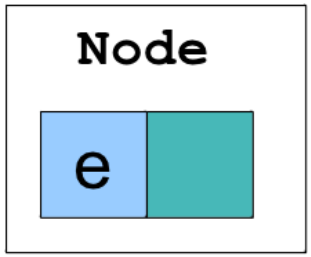
Lista Ligada

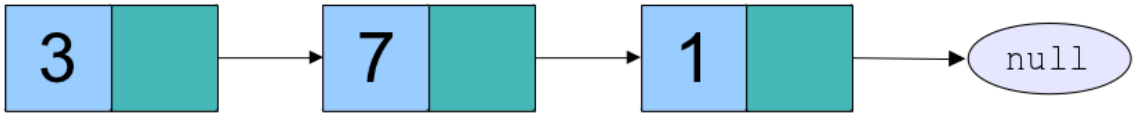
- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - No último elemento, a referência é `null`.
- Ao contrário do vector, é completamente **dinâmica**.
- No entanto, obriga a um **acesso sequencial**.
- Recorre a uma estrutura auxiliar (um *nó*) para armazenar cada elemento.
- O nó é uma estrutura de dados **recursiva**, dado que a sua definição contém uma referência para si própria.

Lista ligada simples: exemplo

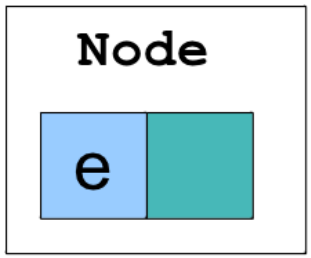


Lista ligada simples: exemplo

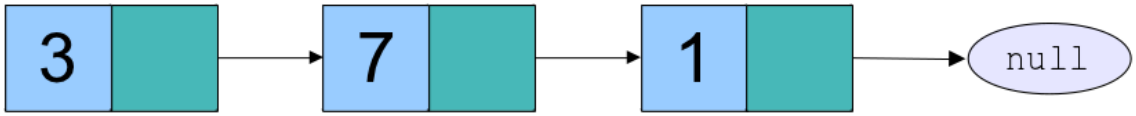




Lista ligada simples: exemplo




```
class Node
{
  int e;
  Node next;
}
```



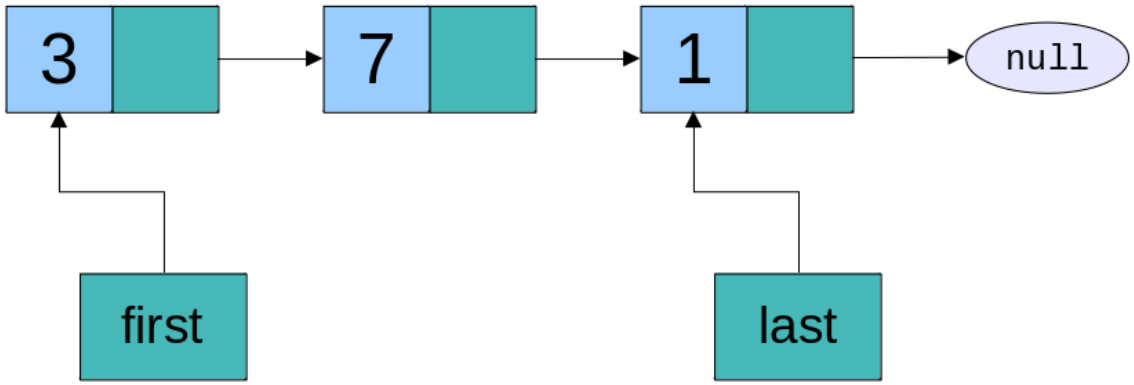
Lista ligada com dupla entrada

- Exemplo: lista com os elementos 3, 7 e 1.

- A lista possui acesso direto ao primeiro e último elementos.
- É fácil acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É fácil remover elementos do início da lista.

Lista ligada com dupla entrada

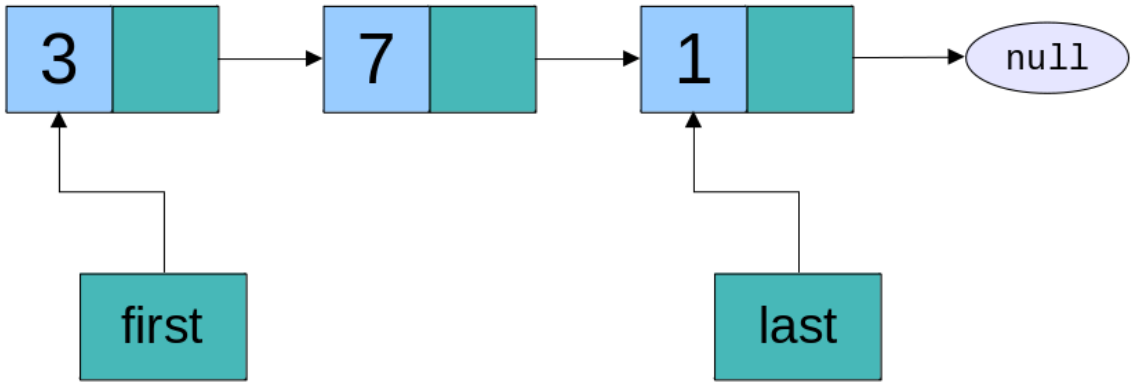
- Exemplo: lista com os elementos 3, 7 e 1.



- A lista possui acesso direto ao primeiro e último elementos.
- É fácil acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É fácil remover elementos do início da lista.

Lista ligada com dupla entrada

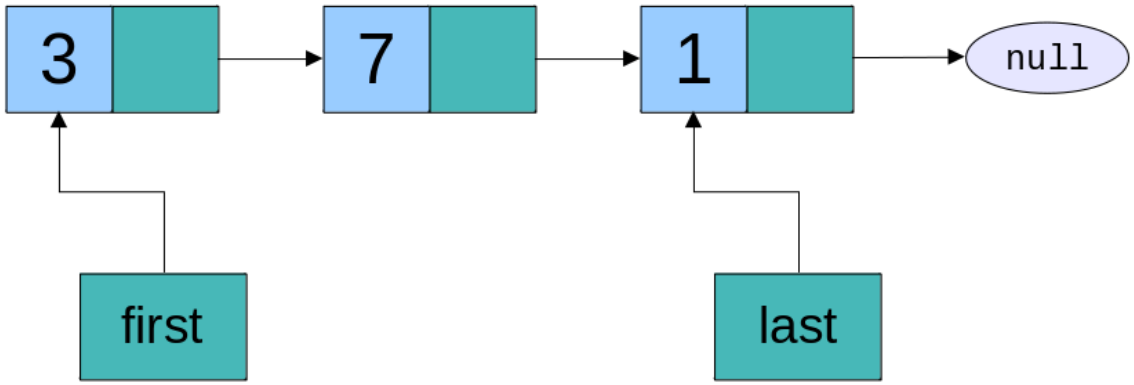
- Exemplo: lista com os elementos 3, 7 e 1.



- A lista possui acesso direto ao primeiro e último elementos.
- É fácil acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É fácil remover elementos do início da lista.

Lista ligada com dupla entrada

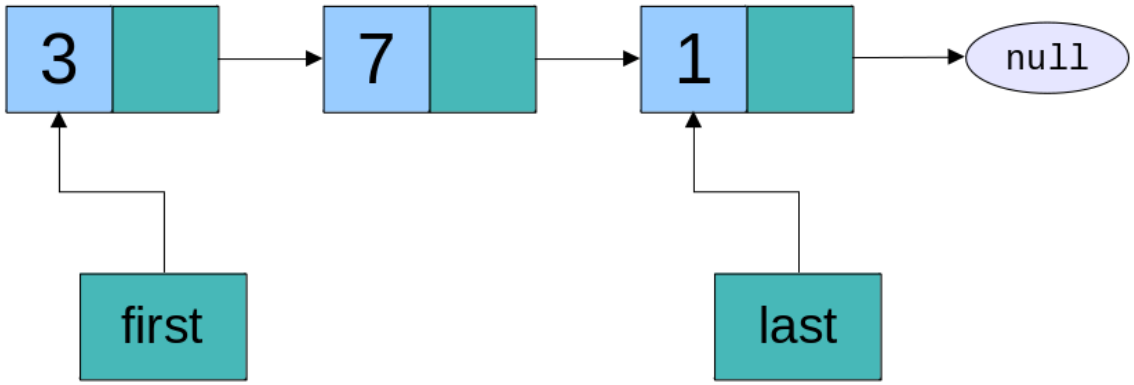
- Exemplo: lista com os elementos 3, 7 e 1.



- A lista possui acesso direto ao primeiro e último elementos.
- É fácil acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É fácil remover elementos do início da lista.

Lista ligada com dupla entrada

- Exemplo: lista com os elementos 3, 7 e 1.



- A lista possui acesso direto ao primeiro e último elementos.
- É fácil acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É fácil remover elementos do início da lista.

Nós para uma lista de inteiros

```
class NodeInt {

   final int elem;
   NodeInt next;

   NodeInt(int e, NodeInt n) {
      elem = e;
      next = n;
   }

   NodeInt(int e) {
      elem = e;
      next = null;
   }
}
```

Nós para uma lista de inteiros

```
class NodeInt {

   final int elem;
   NodeInt next;

   NodeInt(int e, NodeInt n) {
      elem = e;
      next = n;
   }

   NodeInt(int e) {
      elem = e;
      next = null;
   }
}
```

Lista ligada: tipo de dados abstracto

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento da lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Lista ligada: tipo de dados abstracto

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento da lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Lista ligada: tipo de dados abstracto

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento da lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Lista ligada: tipo de dados abstracto

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento da lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Lista ligada: tipo de dados abstracto

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento da lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Lista ligada: tipo de dados abstracto

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento da lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Lista ligada: tipo de dados abstracto

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento da lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Lista ligada: tipo de dados abstracto

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento da lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Lista ligada: tipo de dados abstracto

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento da lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Lista ligada: tipo de dados abstracto

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento da lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Lista ligada: tipo de dados abstracto

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento da lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Lista ligada: tipo de dados abstracto

- Nome do módulo:
  - `LinkedList`
- Serviços:
  - `addFirst`: insere um elemento no início da lista.
  - `addLast`: insere um elemento no fim da lista.
  - `first`: devolve o primeiro elemento da lista.
  - `last`: devolve o último elemento da lista.
  - `removeFirst`: retira o elemento no início da lista.
  - `size`: devolve a dimensão actual da lista.
  - `isEmpty`: verifica se a lista está vazia.
  - `clear`: limpa a lista (remove todos os elementos).

Lista ligada: semântica

- **addFirst(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && first() == v`
- **addLast(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && last() == v`
- **removeFirst()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
- **first()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Lista ligada: semântica

- **addFirst(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (first() == v)`
- **addLast(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (last() == v)`
- **removeFirst()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
- **first()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Lista ligada: semântica

- **addFirst(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (first() == v)`
- **addLast(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (last() == v)`
- **removeFirst()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
- **first()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Lista ligada: semântica

- **addFirst(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (first() == v)`
- **addLast(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (last() == v)`
- **removeFirst()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
- **first()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Lista ligada: semântica

- **addFirst(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (first() == v)`
- **addLast(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (last() == v)`
- **removeFirst()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
- **first()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Lista ligada: semântica

- **addFirst(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (first() == v)`
- **addLast(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (last() == v)`
- **removeFirst()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
- **first()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Lista ligada: semântica

- **addFirst(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (first() == v)`
- **addLast(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (last() == v)`
- **removeFirst()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
- **first()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Lista ligada: semântica

- **addFirst(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (first() == v)`
- **addLast(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (last() == v)`
- **removeFirst()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
- **first()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Lista ligada: semântica

- **addFirst(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (first() == v)`
- **addLast(v)**
  - Pós-condição: `!isEmpty() && (last() == v)`
- **removeFirst()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`
- **first()**
  - Pré-condição: `!isEmpty()`

Lista de inteiros: esqueleto da implementação

```
public class LinkedListInt {
   private NodeInt first=null, last=null;
   private int size;

   public LinkedListInt() { }
   public void addFirst(int e) {
      ...
      assert !isEmpty() && first()==e;
   }
   public void addLast(int e) {
      ...
      assert !isEmpty() && last()==e;
   }
   public int first() {
      assert !isEmpty();
      ...
   }
   public int last() {
      assert !isEmpty();
      ...
   }
   public void removeFirst() {
      assert !isEmpty();
      ...
   }
   public boolean isEmpty() { ... }
   public int size() { ... }
   public void clear() {
      ...
      assert isEmpty();
   }
}
```

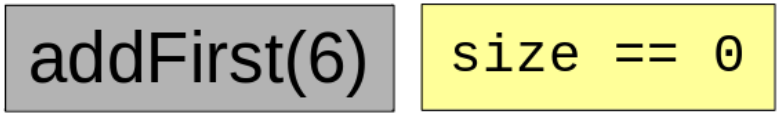
Lista de inteiros: esqueleto da implementação

```
public class LinkedListInt {
   private NodeInt first=null, last=null;
   private int size;

   public LinkedListInt() { }
   public void addFirst(int e) {
      ...
      assert !isEmpty() && first()==e;
   }
   public void addLast(int e) {
      ...
      assert !isEmpty() && last()==e;
   }
   public int first() {
      assert !isEmpty();
      ...
   }
   public int last() {
      assert !isEmpty();
      ...
   }
   public void removeFirst() {
      assert !isEmpty();
      ...
   }
   public boolean isEmpty() { ... }
   public int size() { ... }
   public void clear() {
      ...
      assert isEmpty();
   }
}
```

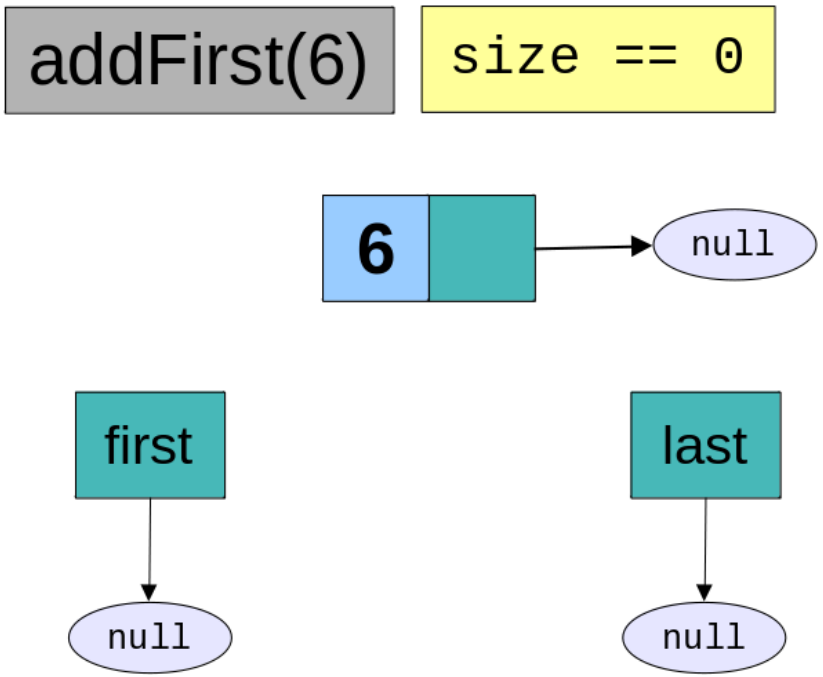
Implementação de lista ligada: `addFirst`

- `addFirst` - inserir o primeiro elemento.



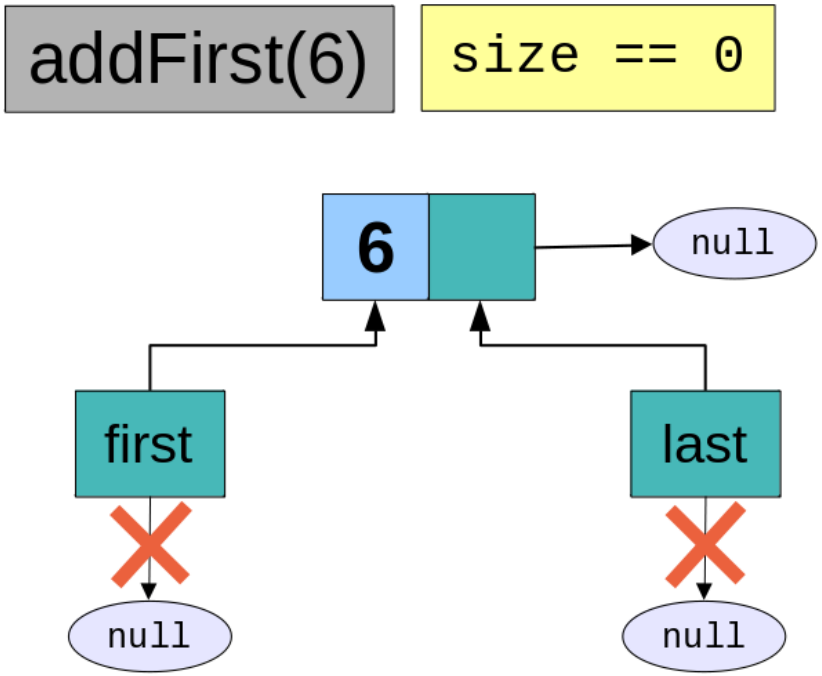
Implementação de lista ligada: `addFirst`

- `addFirst` - inserir o primeiro elemento.



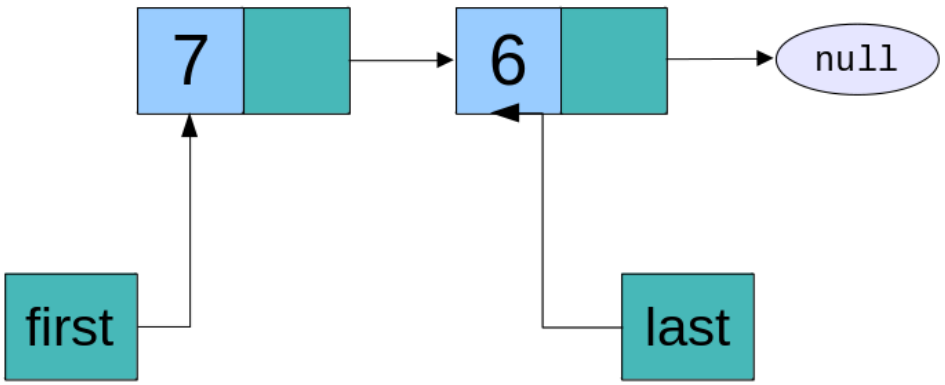
Implementação de lista ligada: `addFirst`

- `addFirst` - inserir o primeiro elemento.



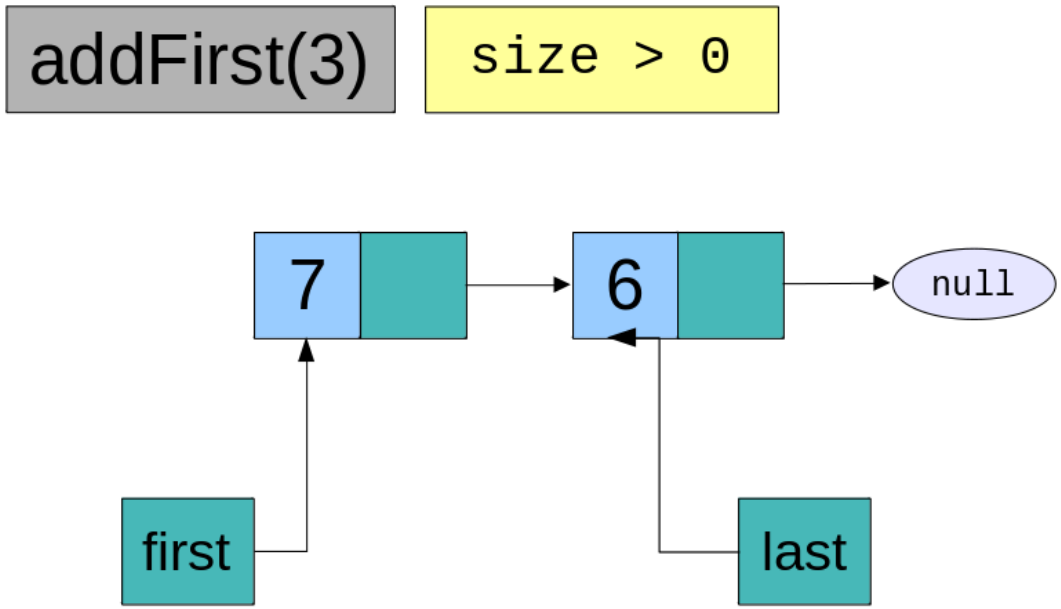
Implementação de lista ligada: `addFirst`

- `addFirst` - inserir novo elemento no início.



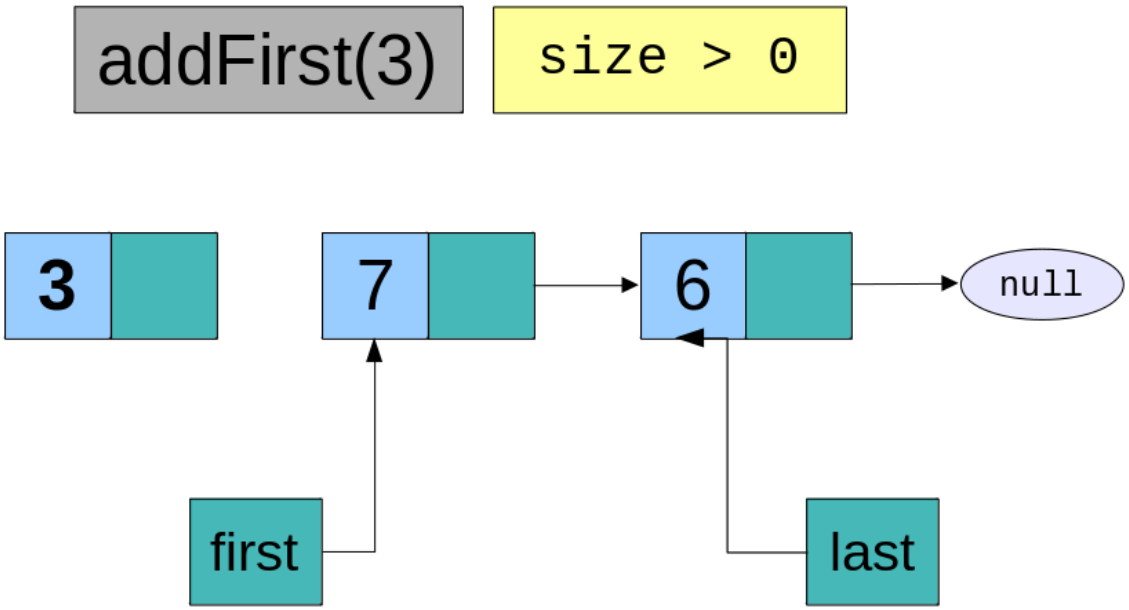
Implementação de lista ligada: `addFirst`

- `addFirst` - inserir novo elemento no início.



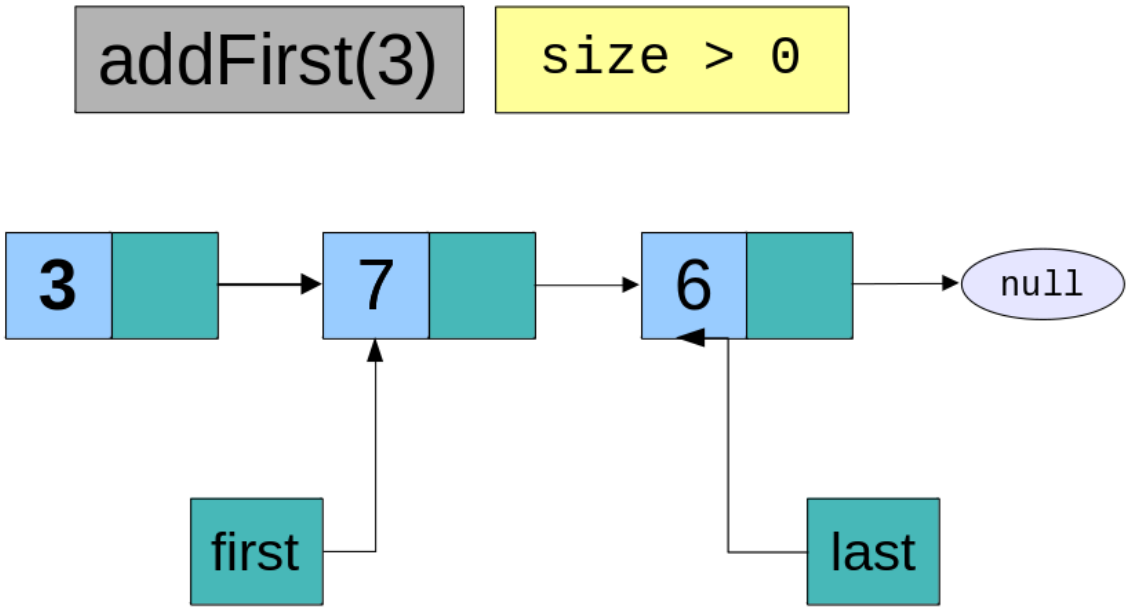
Implementação de lista ligada: `addFirst`

- `addFirst` - inserir novo elemento no início.



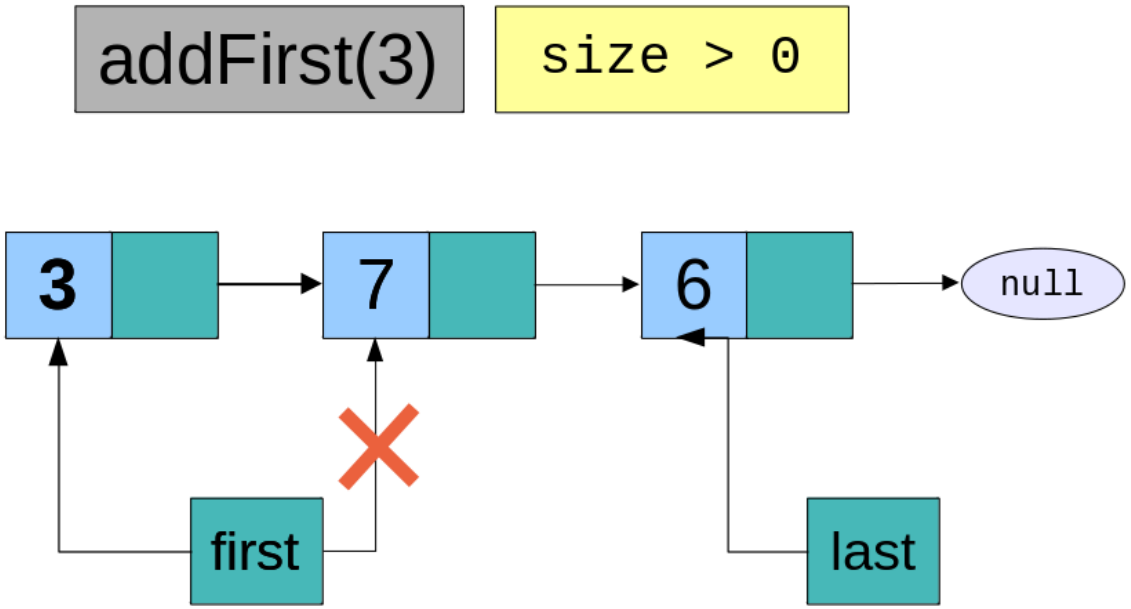
Implementação de lista ligada: `addFirst`

- `addFirst` - inserir novo elemento no início.



Implementação de lista ligada: `addFirst`

- `addFirst` - inserir novo elemento no início.



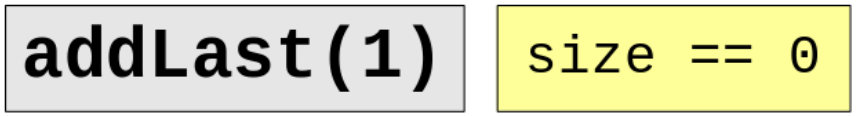
Implementação de lista ligada: `addLast`

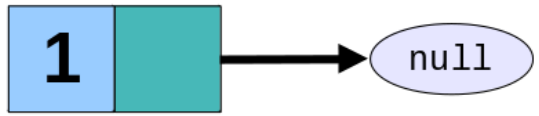
- `addLast` - acrescentar novo elemento no fim.
- Caso de lista vazia: similar a `addFirst`.

addLast(1) `size == 0`

Implementação de lista ligada: `addLast`

- `addLast` - acrescentar novo elemento no fim.
- Caso de lista vazia: similar a `addFirst`.

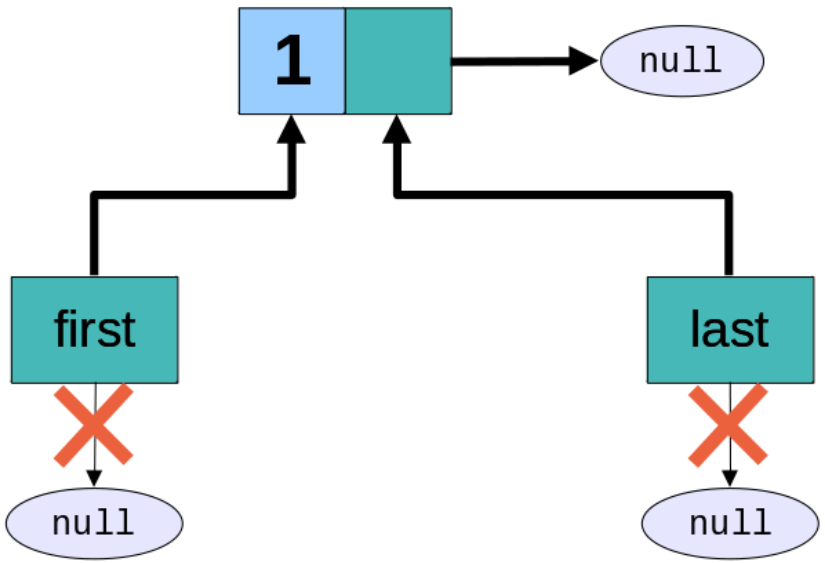




Implementação de lista ligada: `addLast`

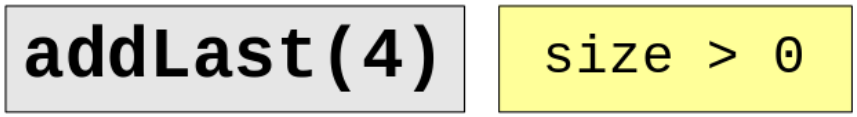
- `addLast` - acrescentar novo elemento no fim.
- Caso de lista vazia: similar a `addFirst`.

addLast(1) `size == 0`



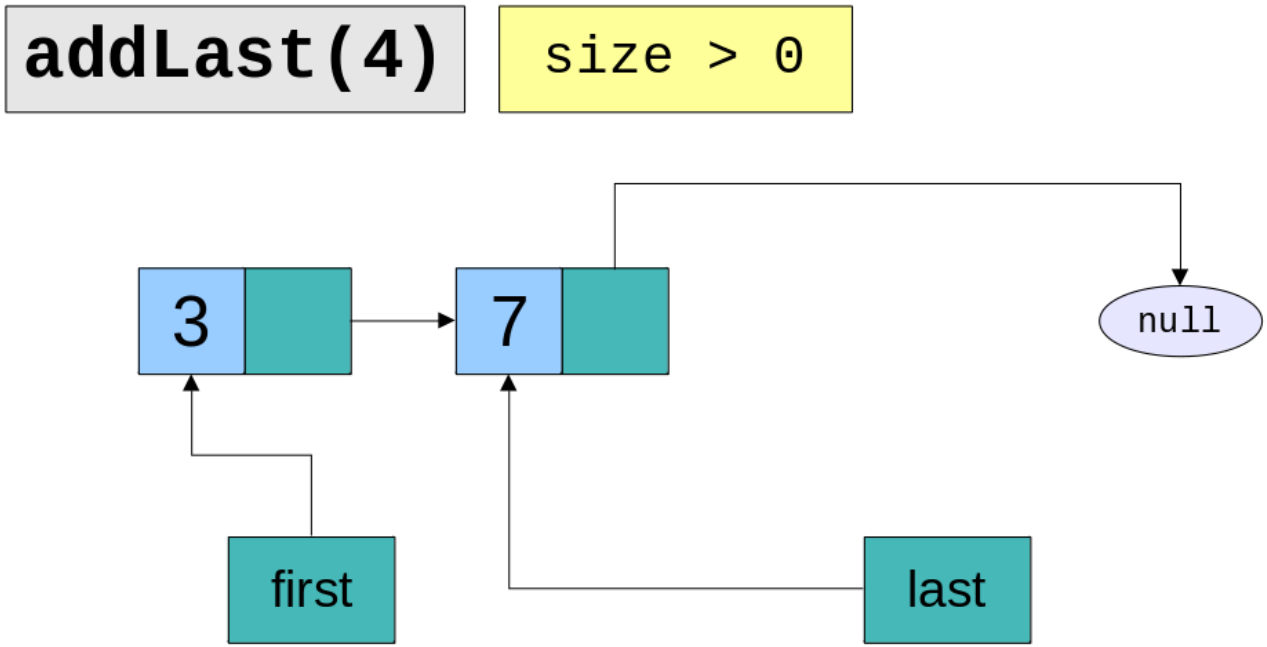
Implementação de lista ligada: `addLast`

- `addLast` - acrescentar novo elemento no fim.



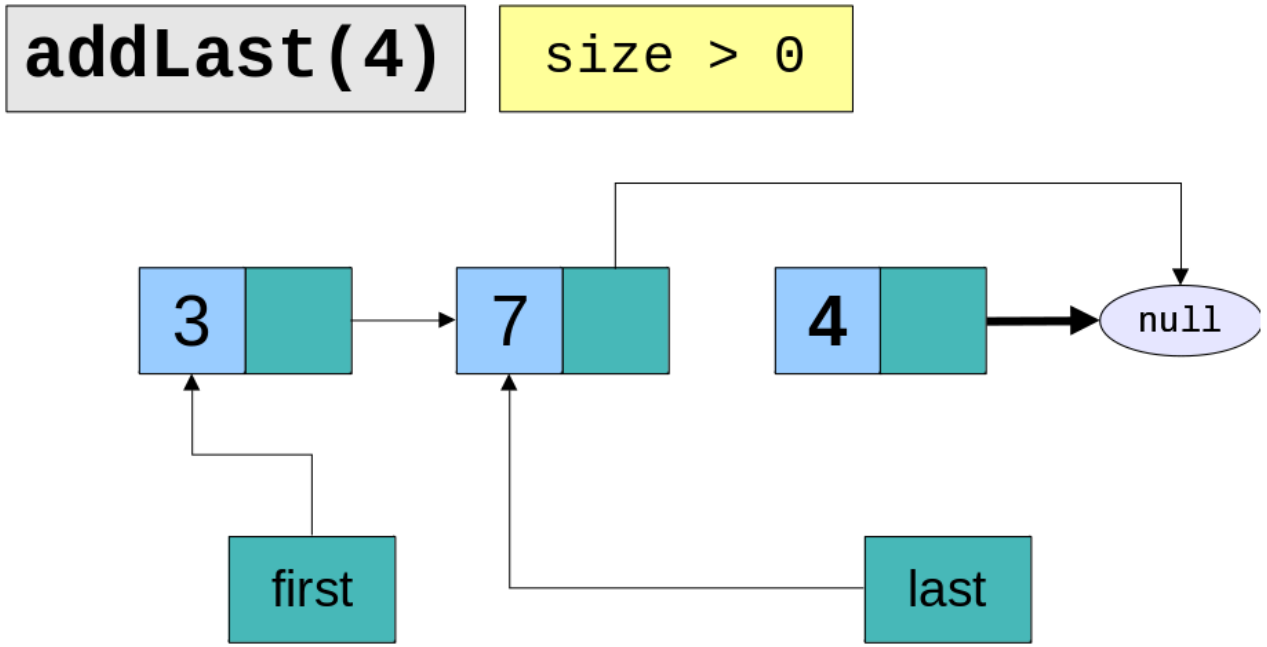
Implementação de lista ligada: `addLast`

- `addLast` - acrescentar novo elemento no fim.



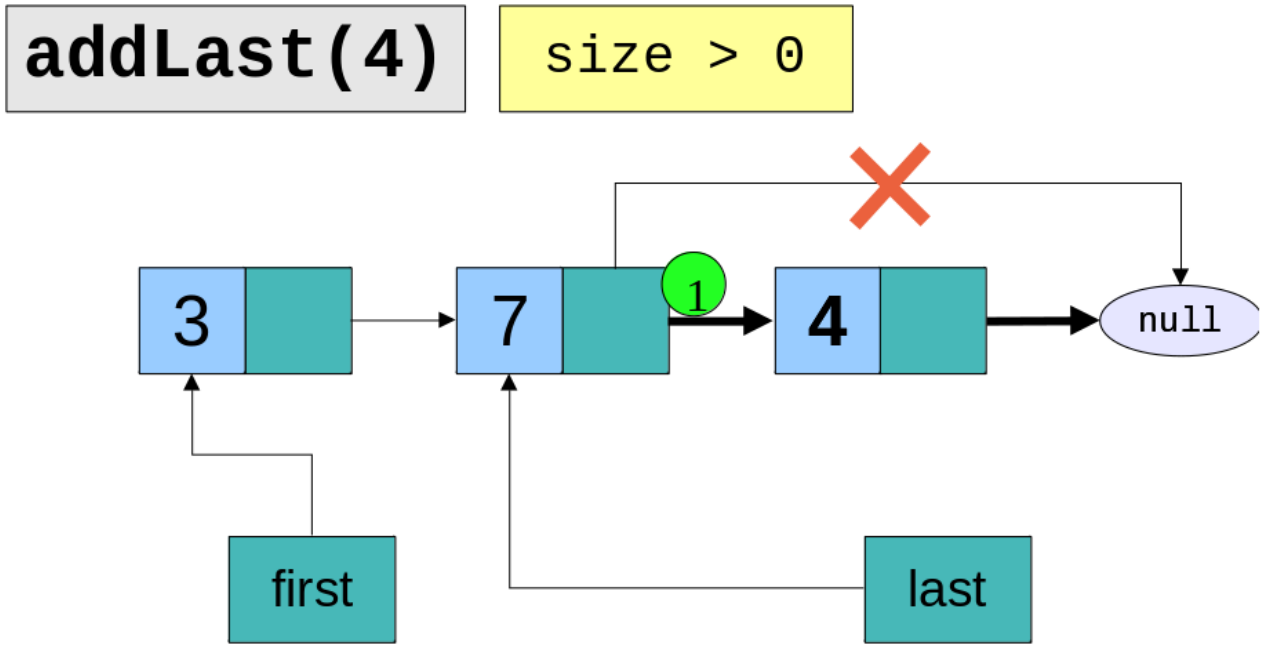
Implementação de lista ligada: `addLast`

- `addLast` - acrescentar novo elemento no fim.



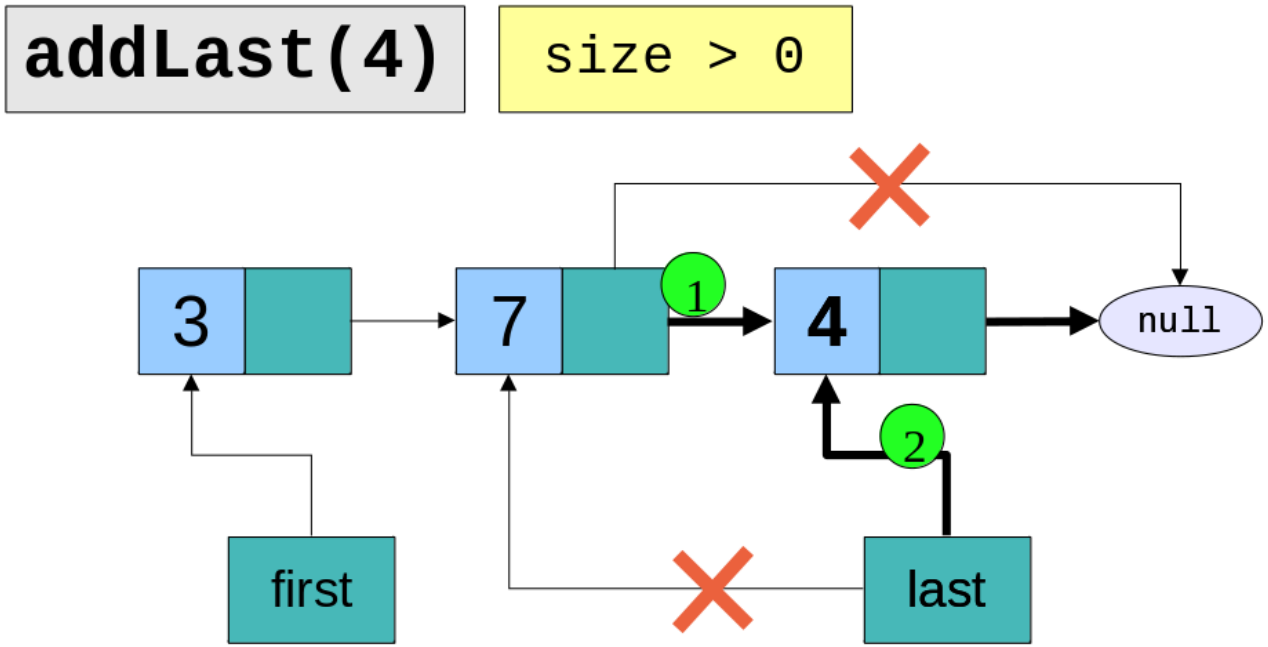
Implementação de lista ligada: `addLast`

- `addLast` - acrescentar novo elemento no fim.



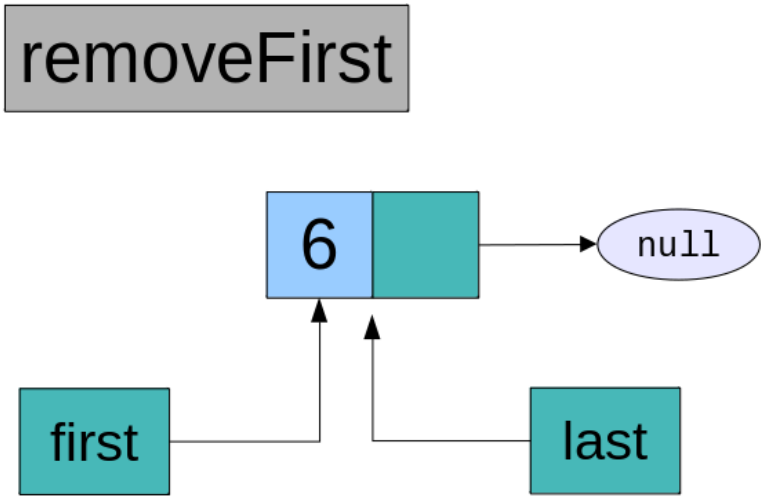
Implementação de lista ligada: `addLast`

- `addLast` - acrescentar novo elemento no fim.



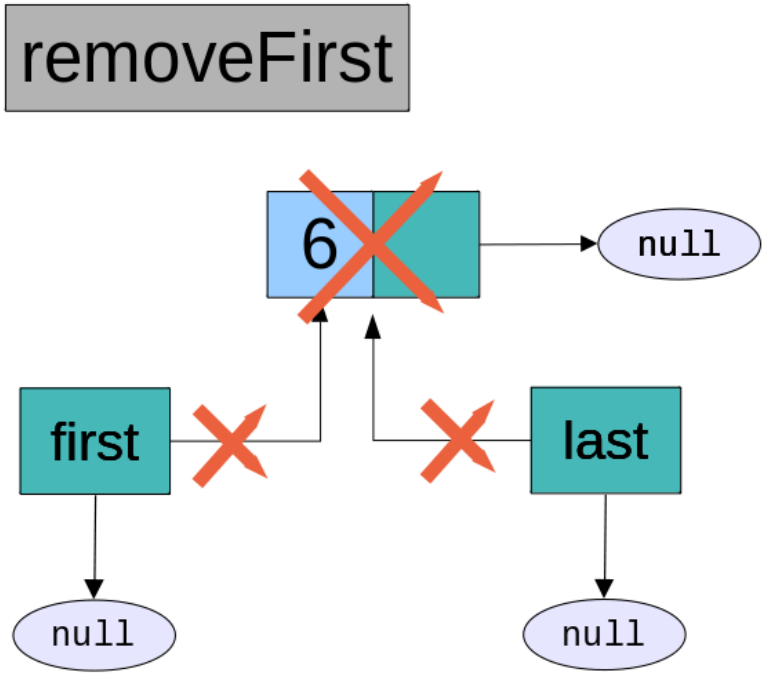
Implementação de lista ligada: `removeFirst`

- `removeFirst` - remover o primeiro elemento.
- Quando `size==1`



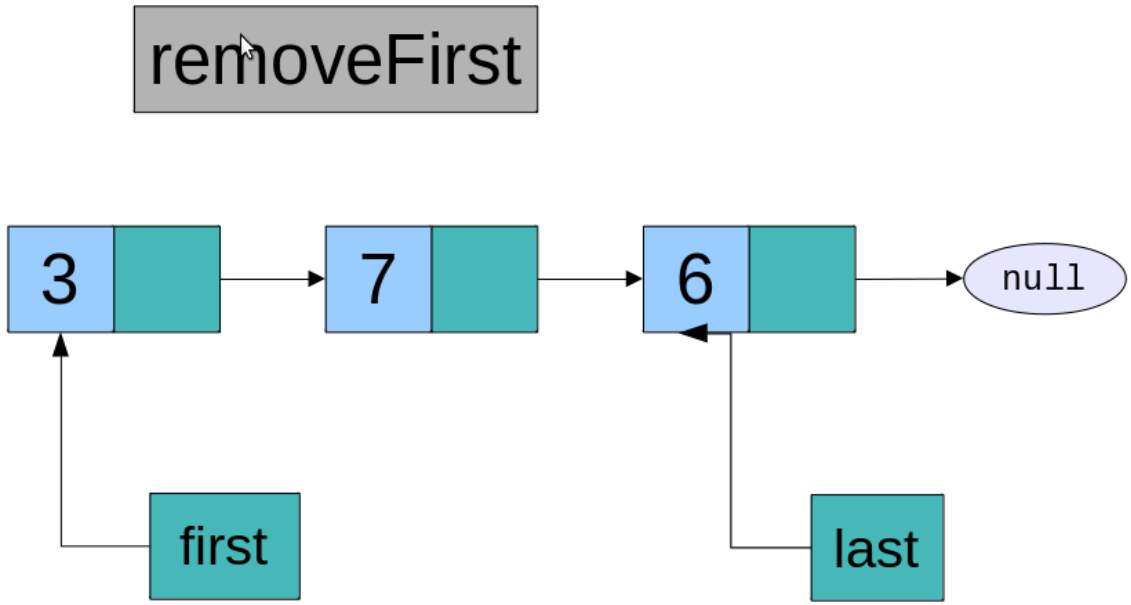
Implementação de lista ligada: `removeFirst`

- `removeFirst` - remover o primeiro elemento.
- Quando `size==1`



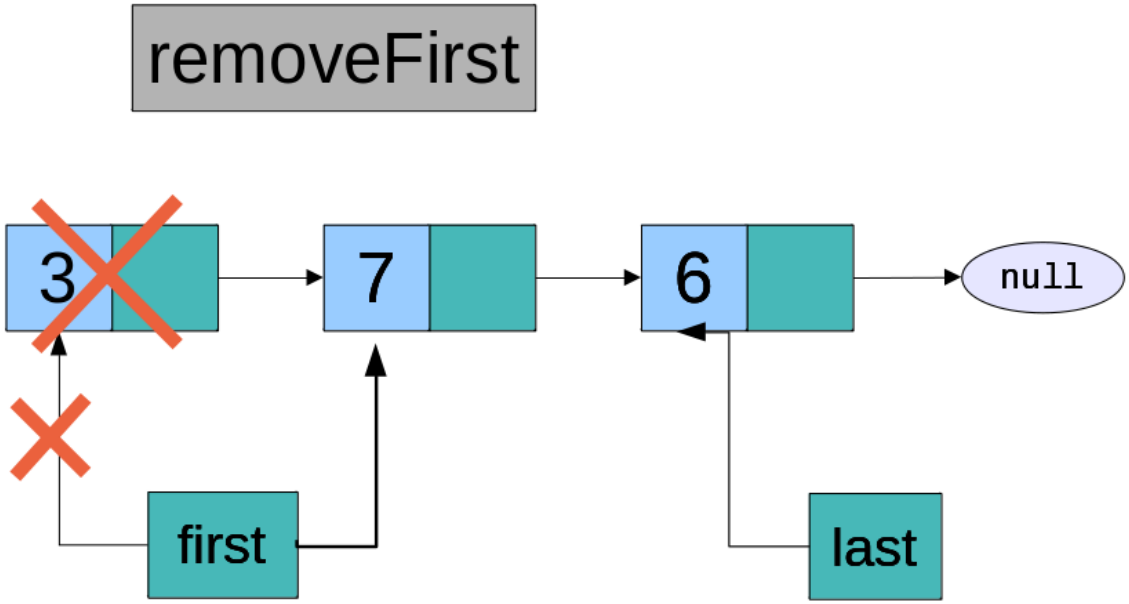
Implementação de lista ligada: `removeFirst`

- `removeFirst` - remover o primeiro elemento.
- Quando `size>1`



Implementação de lista ligada: `removeFirst`

- `removeFirst` - remover o primeiro elemento.
- Quando `size>1`



Lista de inteiros: implementação completa

```
public class LinkedListInt {

   public void addFirst(int e) {
      first = new NodeInt(e, first);
      if (size == 0)
         last = first;
      size++;

      assert !isEmpty() && first()==e;
   }

   public void addLast(int e) {
      NodeInt n = new NodeInt(e);
      if (size == 0)
         first = n;
      else
         last.next = n;
      last = n;
      size++;

      assert !isEmpty() && last()==e;
   }

   public int size() {
      return size;
   }

   public boolean isEmpty() {
      return size == 0;
   }
```

```
   public void removeFirst() {
      assert !isEmpty();

      first = first.next;
      size--;
      if (first == null)
         last = null;
   }

   public int first() {
      assert !isEmpty();

      return first.elem;
   }

   public int last() {
      assert !isEmpty();

      return last.elem;
   }

   public void clear() {
      first = last = null;
      size = 0;
   }

   private NodeInt first = null;
   private NodeInt last = null;
   private int size = 0;
}
```

Lista de inteiros: implementação completa

```
public class LinkedListInt {

   public void addFirst(int e) {
      first = new NodeInt(e, first);
      if (size == 0)
         last = first;
      size++;

      assert !isEmpty() && first()==e;
   }

   public void addLast(int e) {
      NodeInt n = new NodeInt(e);
      if (size == 0)
         first = n;
      else
         last.next = n;
      last = n;
      size++;

      assert !isEmpty() && last()==e;
   }

   public int size() {
      return size;
   }

   public boolean isEmpty() {
      return size == 0;
   }
```

```
   public void removeFirst() {
      assert !isEmpty();

      first = first.next;
      size--;
      if (first == null)
         last = null;
   }

   public int first() {
      assert !isEmpty();

      return first.elem;
   }

   public int last() {
      assert !isEmpty();

      return last.elem;
   }

   public void clear() {
      first = last = null;
      size = 0;
   }

   private NodeInt first = null;
   private NodeInt last = null;
   private int size = 0;
}
```

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Permite guardar apenas elementos inteiros.
  - Para termos listas com elementos de outros tipos, teríamos de duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código seria praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" do código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Definir classes aplicáveis a qualquer tipo.
  - Diz-se que são classes parametrizadas por tipo, ou seja, o tipo de elemento passa a ser um parâmetro da classe.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como polimorfismo paramétrico.

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Permite guardar apenas elementos inteiros.
  - Para termos listas com elementos de outros tipos, teríamos de duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código seria praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Definir classes aplicáveis a qualquer tipo.
  - Diz-se que são classes parametrizadas por tipo, ou seja, o tipo de elemento passa a ser um parâmetro da classe.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Permite guardar apenas elementos inteiros.
  - Para termos listas com elementos de outros tipos, teríamos de duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código seria praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Definir classes aplicáveis a qualquer tipo.
  - Diz-se que são classes parametrizadas por tipo, ou seja, o tipo de elemento passa a ser um parâmetro da classe.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Permite guardar apenas elementos inteiros.
  - Para termos listas com elementos de outros tipos, teríamos de duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código seria praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Definir classes aplicáveis a qualquer tipo.
  - Diz-se que são classes parametrizadas por tipo, ou seja, o tipo de elemento passa a ser um parâmetro da classe.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Permite guardar apenas elementos inteiros.
  - Para termos listas com elementos de outros tipos, teríamos de duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código seria praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Definir classes aplicáveis a qualquer tipo.
  - Diz-se que são classes parametrizadas por tipo, ou seja, o tipo de elemento passa a ser um parâmetro da classe.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Permite guardar apenas elementos inteiros.
  - Para termos listas com elementos de outros tipos, teríamos de duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código seria praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Definir classes aplicáveis a qualquer tipo.
  - Diz-se que são classes parametrizadas por tipo, ou seja, o tipo de elemento passa a ser um parâmetro da classe.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Permite guardar apenas elementos inteiros.
  - Para termos listas com elementos de outros tipos, teríamos de duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código seria praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Definir classes aplicáveis a qualquer tipo.
  - Diz-se que são classes parametrizadas por tipo, ou seja, o tipo de elemento passa a ser um parâmetro da classe.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Permite guardar apenas elementos inteiros.
  - Para termos listas com elementos de outros tipos, teríamos de duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código seria praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Definir classes aplicáveis a qualquer tipo.
  - Diz-se que são classes parametrizadas por tipo, ou seja, o tipo de elemento passa a ser um parâmetro da classe.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Permite guardar apenas elementos inteiros.
  - Para termos listas com elementos de outros tipos, teríamos de duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código seria praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Definir classes aplicáveis a qualquer tipo.
  - Diz-se que são classes parametrizadas por tipo, ou seja, o tipo de elemento passa a ser um parâmetro da classe.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Tipos genéricos em Java

- Em Java, as classes que têm parâmetros que representam tipos são chamadas **classes genéricas**.
- Na *definição* de uma classe genérica, os **parâmetros de tipo** são indicados a seguir ao nome, entre < e >.

```
public class LinkedList<E> {          // generic class definition
  ...
  public void addFirst(E e) {         // use of type parameter E
    ...
  }
  ...
}
```

- Na *invocação* e *instanciação* de um tipo genérico os parâmetros são substituídos por **argumentos de tipo** concretos.

```
public static void main(String args[]) {
  ...
  LinkedList<Double> p1;              // generic type invocation
  p1 = new LinkedList<Double>();      // generic type instantiation
  ...
  LinkedList<Integer> p2 = new LinkedList<Integer>();
}
```

Tipos genéricos em Java

- Em Java, as classes que têm parâmetros que representam tipos são chamadas **classes genéricas**.
- Na *definição* de uma classe genérica, os **parâmetros de tipo** são indicados a seguir ao nome, entre < e >.

```
public class LinkedList<E> {      // generic class definition
  ...
  public void addFirst(E e) {     // use of type parameter E
    ...
  }
  ...
}
```

- Na *invocação* e *instanciação* de um tipo genérico os parâmetros são substituídos por **argumentos de tipo** concretos.

```
public static void main(String args[]) {
  ...
  LinkedList<Double> p1;          // generic type invocation
  p1 = new LinkedList<Double>(); // generic type instantiation
  ...
  LinkedList<Integer> p2 = new LinkedList<Integer>();
}
```

Tipos genéricos em Java

- Em Java, as classes que têm parâmetros que representam tipos são chamadas **classes genéricas**.
- Na *definição* de uma classe genérica, os **parâmetros de tipo** são indicados a seguir ao nome, entre < e >.

```
public class LinkedList<E> {      // generic class definition
  ...
  public void addFirst(E e) {     // use of type parameter E
    ...
  }
  ...
}
```

- Na *invocação* e *instanciação* de um tipo genérico os parâmetros são substituídos por **argumentos de tipo** concretos.

```
public static void main(String args[]) {
  ...
  LinkedList<Double> p1;          // generic type invocation
  p1 = new LinkedList<Double>(); // generic type instantiation
  ...
  LinkedList<Integer> p2 = new LinkedList<Integer>();
}
```

Tipos genéricos em Java

- Em Java, as classes que têm parâmetros que representam tipos são chamadas **classes genéricas**.
- Na *definição* de uma classe genérica, os **parâmetros de tipo** são indicados a seguir ao nome, entre < e >.

```
public class LinkedList<E> {      // generic class definition
  ...
  public void addFirst(E e) {     // use of type parameter E
    ...
  }
  ...
}
```

- Na *invocação* e *instanciação* de um tipo genérico os parâmetros são substituídos por **argumentos de tipo** concretos.

```
public static void main(String args[]) {
  ...
  LinkedList<Double> p1;          // generic type invocation
  p1 = new LinkedList<Double>(); // generic type instantiation
  ...
  LinkedList<Integer> p2 = new LinkedList<Integer>();
}
```

Convenção sobre nomes de parâmetros de tipo

- Em Java, por convenção, usam-se letras maiúsculas para os nomes dos parâmetros de tipo. Por exemplo:
  - `E` - *element*
  - `K` - *key*
  - `N` - *number*
  - `T` - *type*
  - `V` - *value*
- Assim, mais facilmente se distingue um nome que representa um tipo de outro que representa uma variável ou método, que começam (também por convenção) com letra minúscula (exemplo: `numberOfElements`).
- Para informação mais detalhada pode consultar o tutorial da Oracle sobre tipos genéricos.

Convenção sobre nomes de parâmetros de tipo

- Em Java, por convenção, usam-se letras maiúsculas para os nomes dos parâmetros de tipo. Por exemplo:
  - `E` - *element*
  - `K` - *key*
  - `N` - *number*
  - `T` - *type*
  - `V` - *value*
- Assim, mais facilmente se distingue um nome que representa um tipo de outro que representa uma variável ou método, que começam (também por convenção) com letra minúscula (exemplo: `numberOfElements`).
- Para informação mais detalhada pode consultar o tutorial da Oracle sobre tipos genéricos.

Convenção sobre nomes de parâmetros de tipo

- Em Java, por convenção, usam-se letras maiúsculas para os nomes dos parâmetros de tipo. Por exemplo:
  - `E` - *element*
  - `K` - *key*
  - `N` - *number*
  - `T` - *type*
  - `V` - *value*
- Assim, mais facilmente se distingue um nome que representa um tipo de outro que representa uma variável ou método, que começam (também por convenção) com letra minúscula (exemplo: `numberOfElements`).
- Para informação mais detalhada pode consultar o tutorial da Oracle sobre tipos genéricos.

Convenção sobre nomes de parâmetros de tipo

- Em Java, por convenção, usam-se letras maiúsculas para os nomes dos parâmetros de tipo. Por exemplo:
  - `E` - *element*
  - `K` - *key*
  - `N` - *number*
  - `T` - *type*
  - `V` - *value*
- Assim, mais facilmente se distingue um nome que representa um tipo de outro que representa uma variável ou método, que começam (também por convenção) com letra minúscula (exemplo: `numberOfElements`).
- Para informação mais detalhada pode consultar o tutorial da Oracle sobre tipos genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitação 1

- Problema: Não é possível instanciar tipos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);

```
LinkedList<int> lst = new LinkedList<>(); // ERRO!
```

- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc).

```
LinkedList<Integer> lst = new LinkedList<>(); // OK!
```

  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).

Tipos genéricos em Java: limitação 1

- Problema: Não é possível instanciar tipos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);

```
LinkedList<int> lst = new LinkedList<>(); // ERRO!
```

- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).

```
LinkedList<Integer> lst = new LinkedList<>(); // OK!
```

  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).

Tipos genéricos em Java: limitação 1

- Problema: Não é possível instanciar tipos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);

```
LinkedList<int> lst = new LinkedList<>(); // ERRO!
```

- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).

```
LinkedList<Integer> lst = new LinkedList<>(); // OK!
```

  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).

Tipos genéricos em Java: limitação 1

- Problema: Não é possível instanciar tipos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);

```
LinkedList<int> lst = new LinkedList<>(); // ERRO!
```

- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).

```
LinkedList<Integer> lst = new LinkedList<>(); // OK!
```

  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).

Tipos genéricos em Java: limitação 1

- Problema: Não é possível instanciar tipos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);

```
LinkedList<int> lst = new LinkedList<>(); // ERRO!
```

- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).

```
LinkedList<Integer> lst = new LinkedList<>(); // OK!
```

  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).

Tipos genéricos em Java: limitação 2

- Problema: Não é possível criar arrays genéricos!

```
T[] a = new T[maxSize]; // ERRO!
```

- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a conversão de tipo para o *array* genérico:

```
T[] a = (T[]) new Object[maxSize];
```

  - Para evitar o aviso gerado pelo compilador como resultado desta operação pode-se associar ao método onde a operação é feita a seguinte anotação:

```
@SuppressWarnings("unchecked")
```

- O tutorial oficial tem mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitação 2

- Problema: Não é possível criar arrays genéricos!

```
T[] a = new T[maxSize]; // ERRO!
```

- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a coerção de tipo para o *array* genérico:

```
T[] a = (T[]) new Object[maxSize];
```

  - Para evitar o aviso gerado pelo compilador como resultado desta coerção pode-se associar ao método onde a coerção é feita a seguinte anotação:

```
@SuppressWarnings("unchecked")
public Matrix<T>() { ... }
```

- O tutorial oficial tem mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitação 2

- Problema: Não é possível criar arrays genéricos!

```
T[] a = new T[maxSize]; // ERRO!
```

- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a coerção de tipo para o *array* genérico:

```
T[] a = (T[]) new Object[maxSize];
```

  - Para evitar o aviso gerado pelo compilador como resultado desta coerção pode-se associar ao método onde a coerção é feita a seguinte anotação:

```
@SuppressWarnings("unchecked")
public Matrix<T>() { ... }
```

- O tutorial oficial tem mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitação 2

- Problema: Não é possível criar arrays genéricos!

```
T[] a = new T[maxSize]; // ERRO!
```

- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a coerção de tipo para o *array* genérico:

```
T[] a = (T[]) new Object[maxSize];
```

  - Para evitar o aviso gerado pelo compilador como resultado desta coerção pode-se associar ao método onde a coerção é feita a seguinte anotação:

```
@SuppressWarnings("unchecked")
public Matrix<T>() { ... }
```

- O tutorial oficial tem mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitação 2

- Problema: Não é possível criar arrays genéricos!

```
T[] a = new T[maxSize]; // ERRO!
```

- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a coerção de tipo para o *array* genérico:

```
T[] a = (T[]) new Object[maxSize];
```

  - Para evitar o aviso gerado pelo compilador como resultado desta coerção pode-se associar ao método onde a coerção é feita a seguinte anotação:

```
@SuppressWarnings("unchecked")
public Matrix<T>() { ... }
```

- O tutorial oficial tem mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitação 2

- Problema: Não é possível criar arrays genéricos!

```
T[] a = new T[maxSize]; // ERRO!
```

- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a coerção de tipo para o *array* genérico:

```
T[] a = (T[]) new Object[maxSize];
```

  - Para evitar o aviso gerado pelo compilador como resultado desta coerção pode-se associar ao método onde a coerção é feita a seguinte anotação:

```
@SuppressWarnings("unchecked")
public Matrix<T>() { ... }
```

- O tutorial oficial tem mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Lista ligada genérica: implementação completa

```
public class LinkedList<E> {

   public void addFirst(E e) {
      first = new Node<>(e, first);
      if (size == 0)
         last = first;
      size++;

      assert !isEmpty() && first().equals(e);
   }

   public void addLast(E e) {
      Node<E> n = new Node<>(e);
      if (size == 0)
         first = n;
      else
         last.next = n;
      last = n;
      size++;

      assert !isEmpty() && last().equals(e);
   }

   public int size() {
      return size;
   }

   public boolean isEmpty() {
      return size() == 0;
   }
```

```
   public void removeFirst() {
      assert !isEmpty();

      first = first.next;
      size--;
      if (isEmpty())
         last = null;
   }

   public E first() {
      assert !isEmpty();

      return first.elem;
   }

   public E last() {
      assert !isEmpty();

      return last.elem;
   }

   public void clear() {
      first = last = null;
      size = 0;
   }

   private Node<E> first = null;
   private Node<E> last = null;
   private int size = 0;
}
```

Lista ligada genérica: implementação completa

```
public class LinkedList<E> {

   public void addFirst(E e) {
      first = new Node<>(e, first);
      if (size == 0)
         last = first;
      size++;

      assert !isEmpty() && first().equals(e);
   }

   public void addLast(E e) {
      Node<E> n = new Node<>(e);
      if (size == 0)
         first = n;
      else
         last.next = n;
      last = n;
      size++;

      assert !isEmpty() && last().equals(e);
   }

   public int size() {
      return size;
   }

   public boolean isEmpty() {
      return size() == 0;
   }
```

```
   public void removeFirst() {
      assert !isEmpty();

      first = first.next;
      size--;
      if (isEmpty())
         last = null;
   }

   public E first() {
      assert !isEmpty();

      return first.elem;
   }

   public E last() {
      assert !isEmpty();

      return last.elem;
   }

   public void clear() {
      first = last = null;
      size = 0;
   }

   private Node<E> first = null;
   private Node<E> last = null;
   private int size = 0;
}
```

Processamento recursivo de listas

- Quando a acção a realizar implica aceder ao meio da lista, é preciso percorrer a lista até ao nó que vai ser alterado.
- Sendo uma estrutura recursiva, as listas prestam-se naturalmente à utilização de algoritmos recursivos.
- **Exemplo**: saber se um elemento `e` existe na lista.
  - Condições de terminação da recursividade:
  - Variabilidade: passar do nó actual (`n`) ao seguinte (`n.next`).
  - Convergência: está garantida, desde que haja forma de detetar o fim da lista.

Processamento recursivo de listas

- Quando a acção a realizar implica aceder ao meio da lista, é preciso percorrer a lista até ao nó que vai ser alterado.
- Sendo uma estrutura recursiva, as listas prestam-se naturalmente à utilização de algoritmos recursivos.
- **Exemplo**: saber se um elemento `e` existe na lista.
  - Condições de terminação da recursividade:
    - Chegou ao fim da lista (devolve `false`), ou
    - Encontrou o elemento (devolve `true`).
  - Variabilidade: passar do nó actual (`n`) ao seguinte (`n.next`).
  - Convergência: está garantida, desde que haja forma de detetar o fim da lista.

Processamento recursivo de listas

- Quando a acção a realizar implica aceder ao meio da lista, é preciso percorrer a lista até ao nó que vai ser alterado.
- Sendo uma estrutura recursiva, as listas prestam-se naturalmente à utilização de algoritmos recursivos.
- **Exemplo**: saber se um elemento `e` existe na lista.
  - Condições de terminação da recursividade:
    - Chegou ao fim da lista (devolve `false`); ou
    - Encontrou o elemento (devolve `true`).
  - Variabilidade: passar do nó actual (`n`) ao seguinte (`n.next`).
  - Convergência: está garantida, desde que haja forma de detetar o fim da lista.

Processamento recursivo de listas

- Quando a acção a realizar implica aceder ao meio da lista, é preciso percorrer a lista até ao nó que vai ser alterado.
- Sendo uma estrutura recursiva, as listas prestam-se naturalmente à utilização de algoritmos recursivos.
- **Exemplo**: saber se um elemento `e` existe na lista.
  - Condições de terminação da recursividade:
    - Chegou ao fim da lista (devolve `false`), ou
    - Encontrou o elemento `e` (devolve `true`).
  - Variabilidade: passar do nó actual (`n`) ao seguinte (`n.next`).
  - Convergência: está garantida, desde que haja forma de detetar o fim da lista.

Processamento recursivo de listas

- Quando a acção a realizar implica aceder ao meio da lista, é preciso percorrer a lista até ao nó que vai ser alterado.
- Sendo uma estrutura recursiva, as listas prestam-se naturalmente à utilização de algoritmos recursivos.
- **Exemplo**: saber se um elemento `e` existe na lista.
  - Condições de terminação da recursividade:
    - Chegou ao fim da lista (devolve `false`), ou
    - Encontrou o elemento `e` (devolve `true`).
  - Variabilidade: passar do nó actual (`n`) ao seguinte (`n.next`).
  - Convergência: está garantida, desde que haja forma de detetar o fim da lista.

Processamento recursivo de listas

- Quando a acção a realizar implica aceder ao meio da lista, é preciso percorrer a lista até ao nó que vai ser alterado.
- Sendo uma estrutura recursiva, as listas prestam-se naturalmente à utilização de algoritmos recursivos.
- **Exemplo**: saber se um elemento `e` existe na lista.
  - Condições de terminação da recursividade:
    - Chegou ao fim da lista (devolve `false`), ou
    - Encontrou o elemento `e` (devolve `true`).
  - Variabilidade: passar do nó actual (`n`) ao seguinte (`n.next`).
  - Convergência: está garantida, desde que haja forma de detetar o fim da lista.

Processamento recursivo de listas

- Quando a acção a realizar implica aceder ao meio da lista, é preciso percorrer a lista até ao nó que vai ser alterado.
- Sendo uma estrutura recursiva, as listas prestam-se naturalmente à utilização de algoritmos recursivos.
- **Exemplo**: saber se um elemento `e` existe na lista.
  - Condições de terminação da recursividade:
    - Chegou ao fim da lista (devolve `false`), ou
    - Encontrou o elemento `e` (devolve `true`).
  - Variabilidade: passar do nó actual (`n`) ao seguinte (`n.next`).
  - Convergência: está garantida, desde que haja forma de detetar o fim da lista.

Processamento recursivo de listas

- Quando a acção a realizar implica aceder ao meio da lista, é preciso percorrer a lista até ao nó que vai ser alterado.
- Sendo uma estrutura recursiva, as listas prestam-se naturalmente à utilização de algoritmos recursivos.
- **Exemplo**: saber se um elemento `e` existe na lista.
  - Condições de terminação da recursividade:
    - Chegou ao fim da lista (devolve `false`), ou
    - Encontrou o elemento `e` (devolve `true`).
  - Variabilidade: passar do nó actual (`n`) ao seguinte (`n.next`).
  - Convergência: está garantida, desde que haja forma de detetar o fim da lista.

Processamento recursivo de listas

- Quando a acção a realizar implica aceder ao meio da lista, é preciso percorrer a lista até ao nó que vai ser alterado.
- Sendo uma estrutura recursiva, as listas prestam-se naturalmente à utilização de algoritmos recursivos.
- **Exemplo**: saber se um elemento `e` existe na lista.
  - Condições de terminação da recursividade:
    - Chegou ao fim da lista (devolve `false`), ou
    - Encontrou o elemento `e` (devolve `true`).
  - Variabilidade: passar do nó actual (`n`) ao seguinte (`n.next`).
  - Convergência: está garantida, desde que haja forma de detetar o fim da lista.

Exemplo: lista contém elemento

- Versão recursiva:

```
public boolean contains(E e) {
   return contains(first, e);
}
private boolean contains(Node<E> n, E e) {
  if (n == null) return false;          // condicao terminacao 1
  if (n.elem.equals(e)) return true; // condicao terminacao 2
  return contains(n.next, e);           // chamada recursiva
}
```

- Versão iterativa:

```
public boolean contains(E e) {
  Node<E> n = first;
  while (n != null) {                   // condicao terminacao 1
    if (n.elem.equals(e)) return true; // condicao terminacao 2
    n = n.next;                         // continuacao
  }
  return false;
}
```

Exemplo: lista contém elemento

- Versão recursiva:

```
public boolean contains(E e) {
   return contains(first, e);
}
private boolean contains(Node<E> n, E e) {
  if (n == null) return false;          // condicao terminacao 1
  if (n.elem.equals(e)) return true;    // condicao terminacao 2
  return contains(n.next, e);           // chamada recursiva
}
```

- Versão iterativa:

```
public boolean contains(E e) {
  Node<E> n = first;
  while (n != null) {                   // condicao terminacao 1
    if (n.elem.equals(e)) return true;  // condicao terminacao 2
    n = n.next;                         // continuacao
  }
  return false;
}
```

Exemplo: lista contém elemento

- Versão recursiva:

```
public boolean contains(E e) {
   return contains(first, e);
}
private boolean contains(Node<E> n, E e) {
  if (n == null) return false;          // condicao terminacao 1
  if (n.elem.equals(e)) return true;    // condicao terminacao 2
  return contains(n.next, e);           // chamada recursiva
}
```

- Versão iterativa:

```
public boolean contains(E e) {
  Node<E> n = first;
  while (n != null) {                   // condicao terminacao 1
    if (n.elem.equals(e)) return true;  // condicao terminacao 2
    n = n.next;                         // continuacao
  }
  return false;
}
```

Um padrão que se repete...

- Muitas funções sobre listas fazem uma travessia da lista.
- Essa travessia segue um padrão que convém desde já assimilar.

Implementação Iterativa

```
public class LinkedList<E> {
   ...
   public ... xpto(...) {
      Node<E> n = first;
      ...
      while (n!=null && ...) {
         ...
         n = n.next;
      }
      return ...;
   }
   ...
}
```

Implementação Recursiva

```
public class LinkedList<E> {
   ...
   public ... xpto(...) {
      return xpto(first, ...);
   }
   private ... xpto(Node<E> n, ...) {
      if (n == null) return ...;
      ...
      ... xpto(n.next, ...);
      return ...
   }
   ...
}
```

Um padrão que se repete...

- Muitas funções sobre listas fazem uma travessia da lista.
- Essa travessia segue um padrão que convém desde já assimilar.

Implementação Iterativa

```
public class LinkedList<E> {
  ...
  public ... xpto(...) {
     Node<E> n = first;
     ...
     while (n!=null && ...) {
        ...
        n = n.next;
     }
     return ...;
  }
  ...
}
```

Implementação Recursiva

```
public class LinkedList<E> {
  ...
  public ... xpto(...) {
     return xpto(first, ...);
  }
  private ... xpto(Node<E> n, ...) {
     if (n == null) return ...;
     ...
     ... xpto(n.next, ...);
     return ...
  }
  ...
}
```

Um padrão que se repete...

- Muitas funções sobre listas fazem uma travessia da lista.
- Essa travessia segue um padrão que convém desde já assimilar.

Implementação Iterativa

```
public class LinkedList<E> {
   ...
   public ... xpto(...) {
      Node<E> n = first;
      ...
      while (n!=null && ...) {
         ...
         n = n.next;
      }
      return ...;
   }
   ...
}
```

Implementação Recursiva

```
public class LinkedList<E> {
   ...
   public ... xpto(...) {
      return xpto(first, ...);
   }
   private ... xpto(Node<E> n, ...) {
      if (n == null) return ...;
      ...
      ... xpto(n.next, ...);
      return ...
   }
   ...
}
```

Um padrão que se repete...

- Muitas funções sobre listas fazem uma travessia da lista.
- Essa travessia segue um padrão que convém desde já assimilar.

Implementação Iterativa

```
public class LinkedList<E> {
   ...
   public ... xpto(...) {
      Node<E> n = first;
      ...
      while (n!=null && ...) {
         ...
         n = n.next;
      }
      return ...;
   }
   ...
}
```

Implementação Recursiva

```
public class LinkedList<E> {
   ...
   public ... xpto(...) {
      return xpto(first, ...);
   }
   private ... xpto(Node<E> n, ...) {
      if (n == null) return ...;
      ...
      ... xpto(n.next, ...);
      return ...
   }
   ...
}
```

Um padrão que se repete...

- Muitas funções sobre listas fazem uma travessia da lista.
- Essa travessia segue um padrão que convém desde já assimilar.

Implementação Iterativa

```
public class LinkedList<E> {
  ...
  public ... xpto(...) {
     Node<E> n = first;
     ...
     while (n!=null && ...) {
        ...
        n = n.next;
     }
     return ...;
  }
  ...
}
```

Implementação Recursiva

```
public class LinkedList<E> {
  ...
  public ... xpto(...) {
     return xpto(first, ...);
  }
  private ... xpto(Node<E> n, ...) {
     if (n == null) return ...;
     ...
     ... xpto(n.next, ...);
     return ...
  }
  ...
}
```

Um padrão que se repete...

- Muitas funções sobre listas fazem uma travessia da lista.
- Essa travessia segue um padrão que convém desde já assimilar.

Implementação Iterativa

```
public class LinkedList<E> {
  ...
  public ... xpto(...) {
     Node<E> n = first;
     ...
     while (n!=null && ...) {
        ...
        n = n.next;
     }
     return ...;
  }
  ...
}
```

Implementação Recursiva

```
public class LinkedList<E> {
  ...
  public ... xpto(...) {
     return xpto(first, ...);
  }
  private ... xpto(Node<E> n, ...) {
     if (n == null) return ...;
     ...
     ... xpto(n.next, ...);
     return ...
  }
  ...
}
```