Aula 07

Estruturas de dados recursivas

Listas ligadas

Programação II, 2016-2017

v1.1, 26-03-2017

DETI, Universidade de Aveiro

Lista Ligada

Polimorfismo Paramétrico

Processamento recursivo de listas

Sumário

1. Lista Ligada
2. Polimorfismo Paramétrico
3. Processamento recursivo de listas

Sumário

1. Lista Ligada
2. Polimorfismo Paramétrico
3. Processamento recursivo de listas

Como guardar colecções de dados?

- Temos utilizado vectores (ou *arrays*).
- São muito úteis para guardar elementos numa determinada ordem.
- Permitem acesso directo a cada elemento.
- No entanto, **os vectores têm limitações**:
  - A sua capacidade tem de ser definida/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 (`insert`) ou remover (`delete`) elementos numa posição intermédia podem demorar bastante tempo se for necessário deslocar muitos elementos.

Como guardar colecções de dados?

- Temos utilizado vectores (ou *arrays*).
- São muito úteis para guardar elementos numa determinada ordem.
- Permitem acesso directo a cada elemento.
- No entanto, **os vectores têm limitações**:
  - A sua capacidade tem de ser definida/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 (`insert`) ou remover (`delete`) elementos numa posição intermédia podem demorar bastante tempo se for necessário deslocar muitos elementos.

Lista Ligada

Lista Ligada

Polimorfismo Paramétrico

Processamento recursivo de listas

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - Essa referência terá o valor `null` caso esse elemento não exista.
- É uma estrutura de dados **recursiva** (dado que a sua definição contém uma referência para si própria).
- Ao contrário do vector, é **completamente dinâmica**.
  - No entanto, obriga a um acesso sequencial.
- Requer a criação de uma estrutura (um *nó*) para armazenar cada elemento.

Lista Ligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - Essa referência terá o valor `null` caso esse elemento não exista.
- É uma estrutura de dados **recursiva** (dado que a sua definição contém uma referência para si própria).
- Ao contrário do vector, é **completamente dinâmica**.
  - No entanto, obriga a um acesso sequencial.
- Requer a criação de uma estrutura (um *nó*) para armazenar cada elemento.

Lista Ligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - Essa referência terá o valor `null` caso esse elemento não exista.
- É uma estrutura de dados **recursiva** (dado que a sua definição contém uma referência para si própria).
- Ao contrário do vector, é **completamente dinâmica**.
  - No entanto, obriga a um acesso sequencial.
- Requer a criação de uma estrutura (um *nó*) para armazenar cada elemento.

Lista Ligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - Essa referência terá o valor `null` caso esse elemento não exista.
- É uma estrutura de dados **recursiva** (dado que a sua definição contém uma referência para si própria).
- Ao contrário do vector, é **completamente dinâmica**.
  - No entanto, obriga a um acesso sequencial.
- Requer a criação de uma estrutura (um *nó*) para armazenar cada elemento.

Lista Ligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - Essa referência terá o valor `null` caso esse elemento não exista.
- É uma estrutura de dados **recursiva** (dado que a sua definição contém uma referência para si própria).
- Ao contrário do vector, é **completamente dinâmica**.
  - No entanto, obriga a um acesso sequencial.
- Requer a criação de uma estrutura (um *nó*) para armazenar cada elemento.

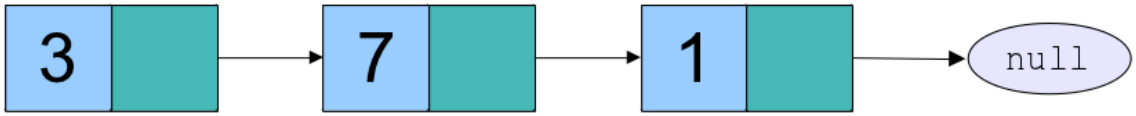
Lista Ligada

- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - Essa referência terá o valor `null` caso esse elemento não exista.
- É uma estrutura de dados **recursiva** (dado que a sua definição contém uma referência para si própria).
- Ao contrário do vector, é **completamente dinâmica**.
  - No entanto, obriga a um acesso sequencial.
- Requer a criação de uma estrutura (um *nó*) para armazenar cada elemento.

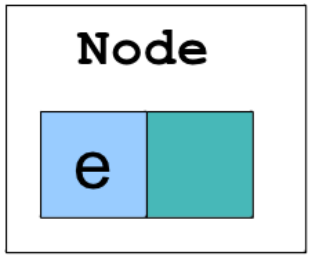
Lista Ligada

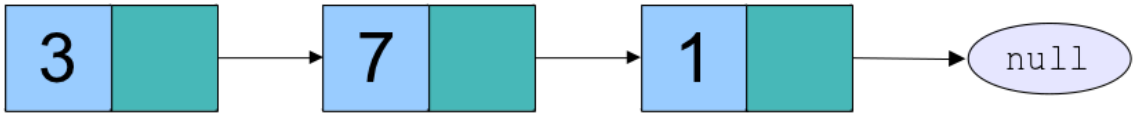
- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
  - Essa referência terá o valor `null` caso esse elemento não exista.
- É uma estrutura de dados **recursiva** (dado que a sua definição contém uma referência para si própria).
- Ao contrário do vector, é **completamente dinâmica**.
  - No entanto, obriga a um acesso sequencial.
- Requer a criação de uma estrutura (um *nó*) para armazenar cada elemento.

Lista ligada simples: exemplo

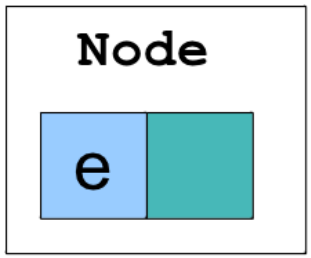


Lista ligada simples: exemplo

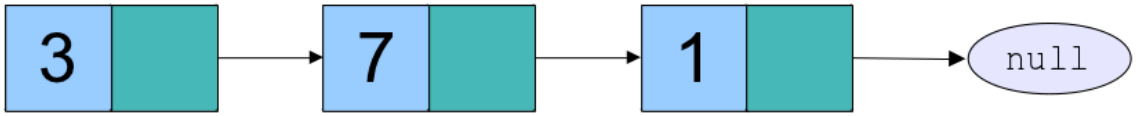




Lista ligada simples: exemplo

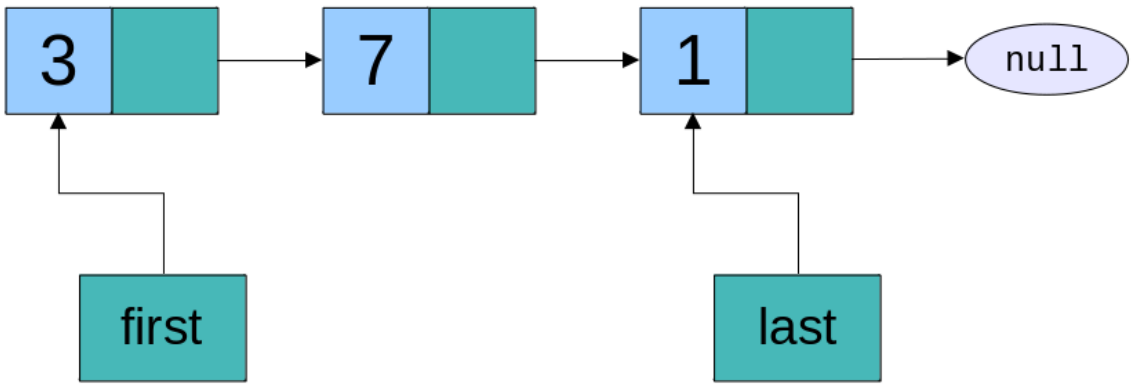



```
class Node
{
  int e;
  Node next;
}
```



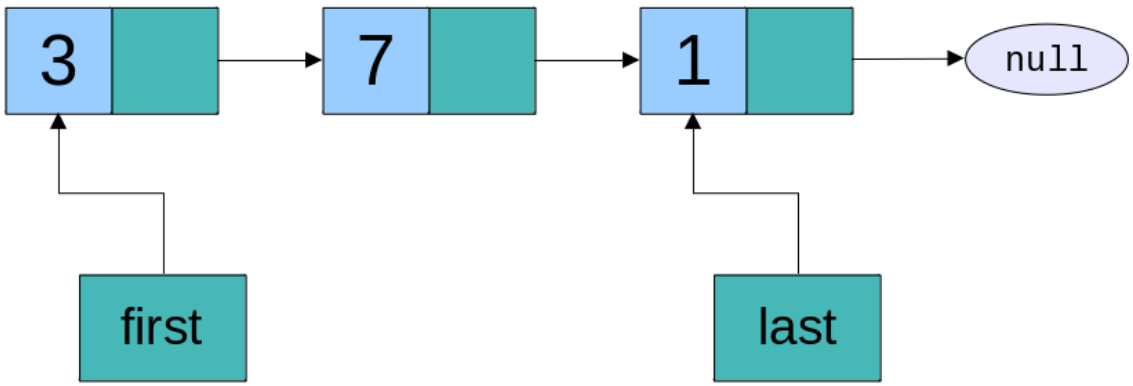
Lista ligada com dupla entrada

- A lista possui acesso directo ao primeiro e último elementos.
- É possível acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É possível remover elementos do início da lista.
- Exemplo - lista com os elementos 3, 7 e 1:



Lista ligada com dupla entrada

- A lista possui acesso directo ao primeiro e último elementos.
- É possível acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É possível remover elementos do início da lista.
- Exemplo - lista com os elementos 3, 7 e 1:



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

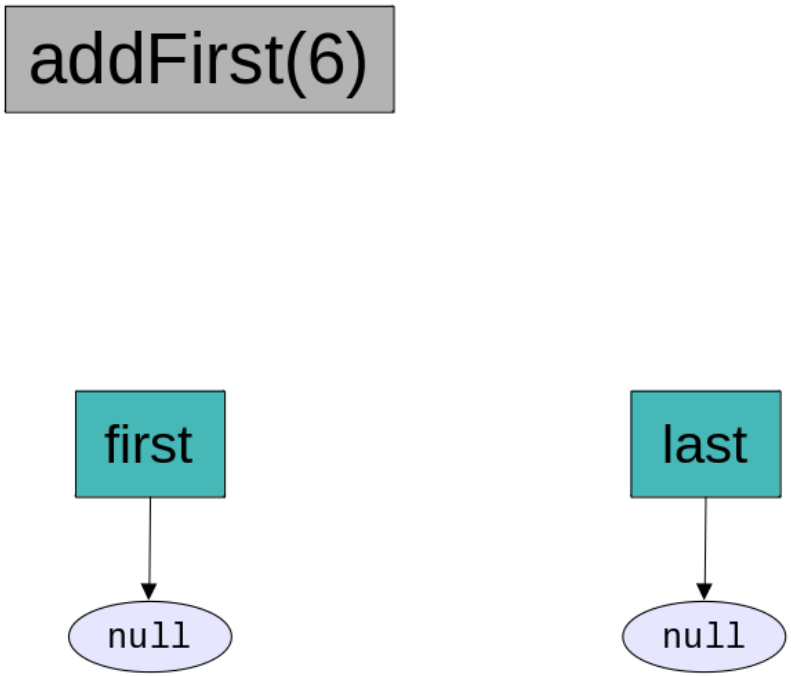
```
public class LinkedListInt {
   public LinkedListInt() { }
   public void addFirst(int e) {
      ...
      assert !isEmpty() && first()==e;
   }
   public void addLast(int e) {
      ...
      assert !isEmpty() && last()==e;
   }
   public int first() {
      assert !isEmpty();
      ...
   }
 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

Lista de inteiros: esqueleto da implementação

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

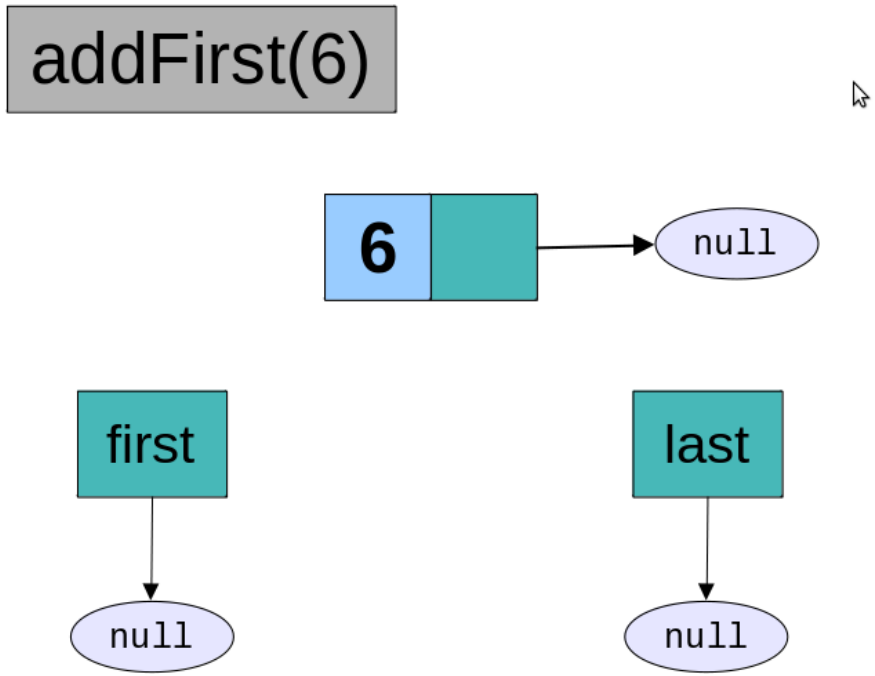
Implementação de uma lista ligada

- `addFirst` - inserção do primeiro elemento.



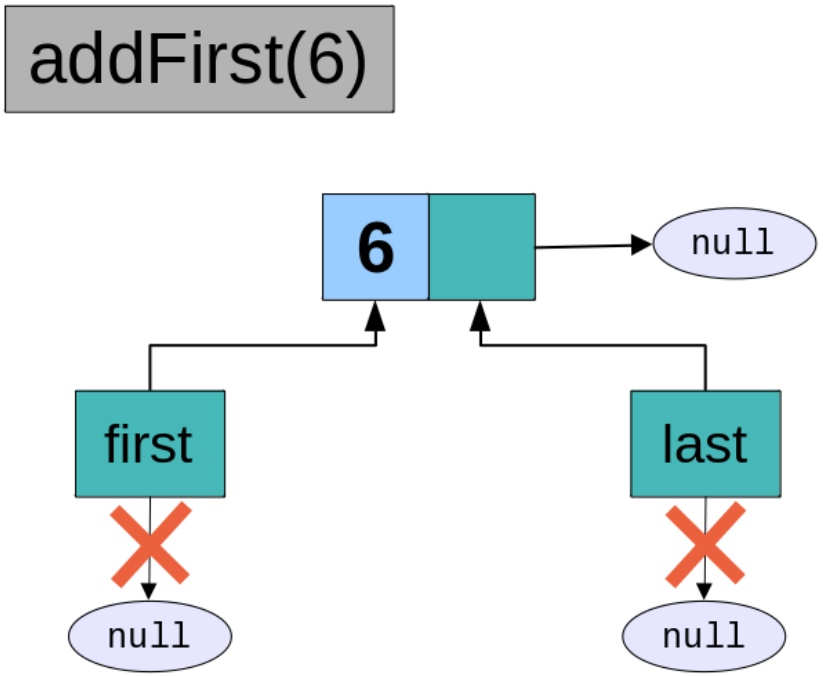
Implementação de uma lista ligada

- `addFirst` - inserção do primeiro elemento.

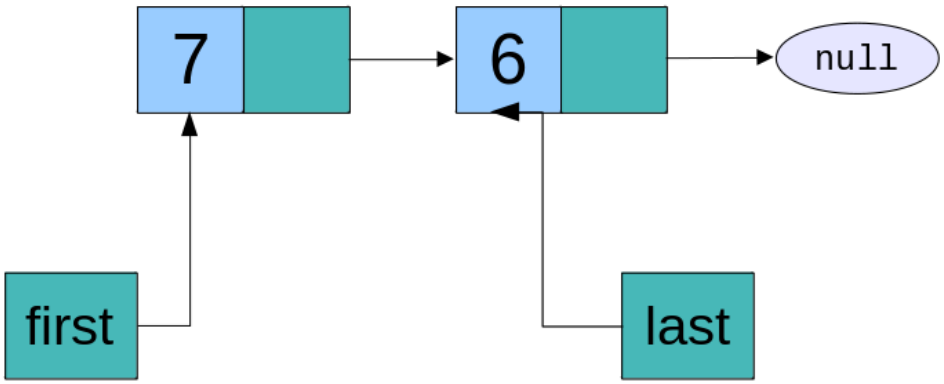


Implementação de uma lista ligada

- `addFirst` - inserção do primeiro elemento.

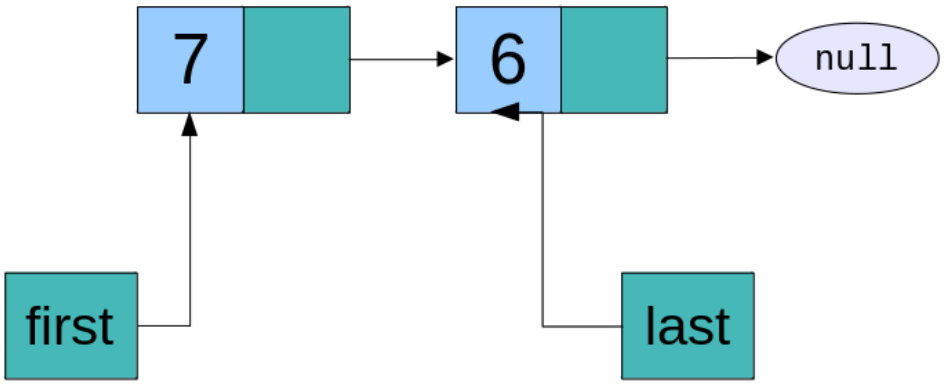


Implementação de uma lista ligada



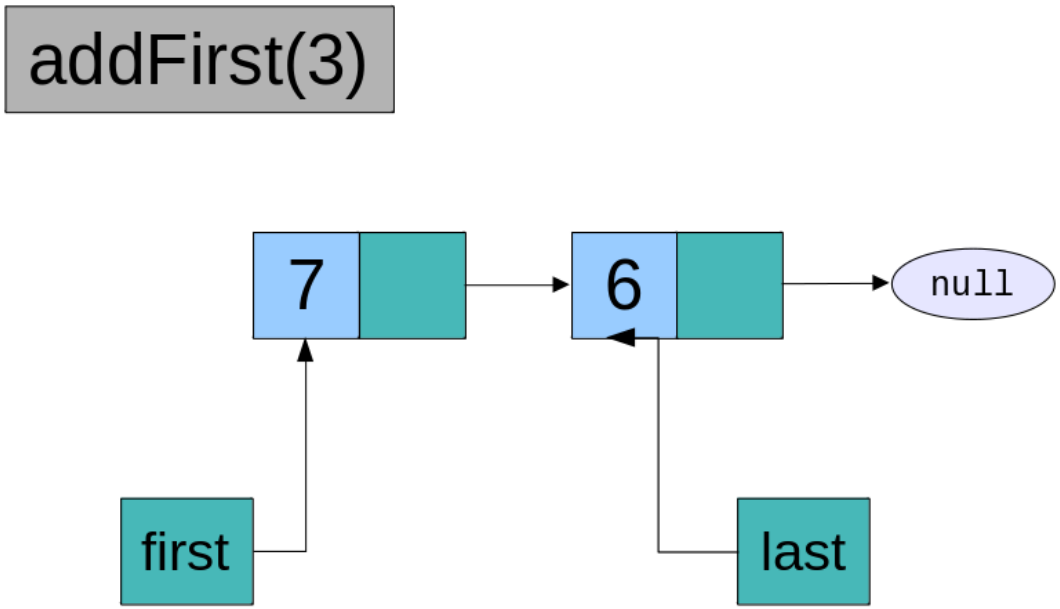
Implementação de uma lista ligada

- `addFirst` - inserção de elementos adicionais no início.



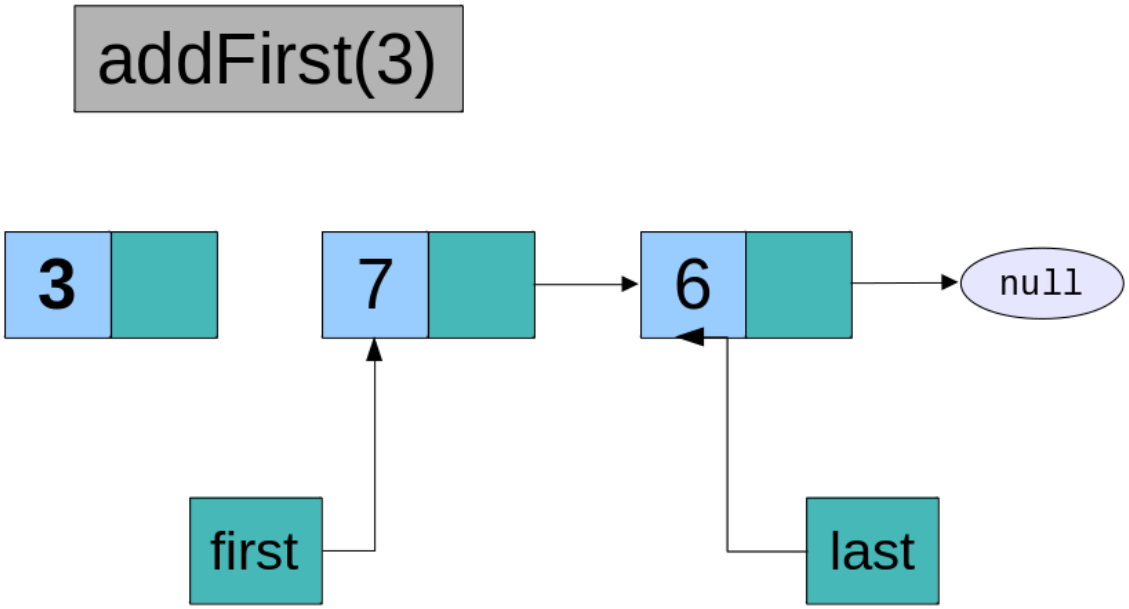
Implementação de uma lista ligada

- `addFirst` - inserção de elementos adicionais no início.



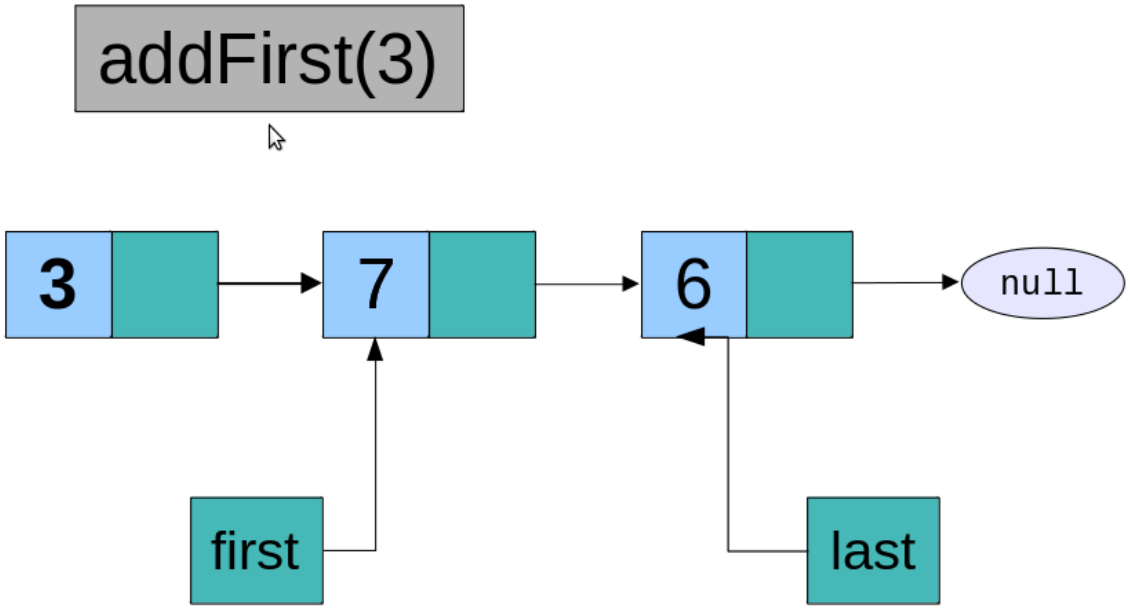
Implementação de uma lista ligada

- `addFirst` - inserção de elementos adicionais no início.



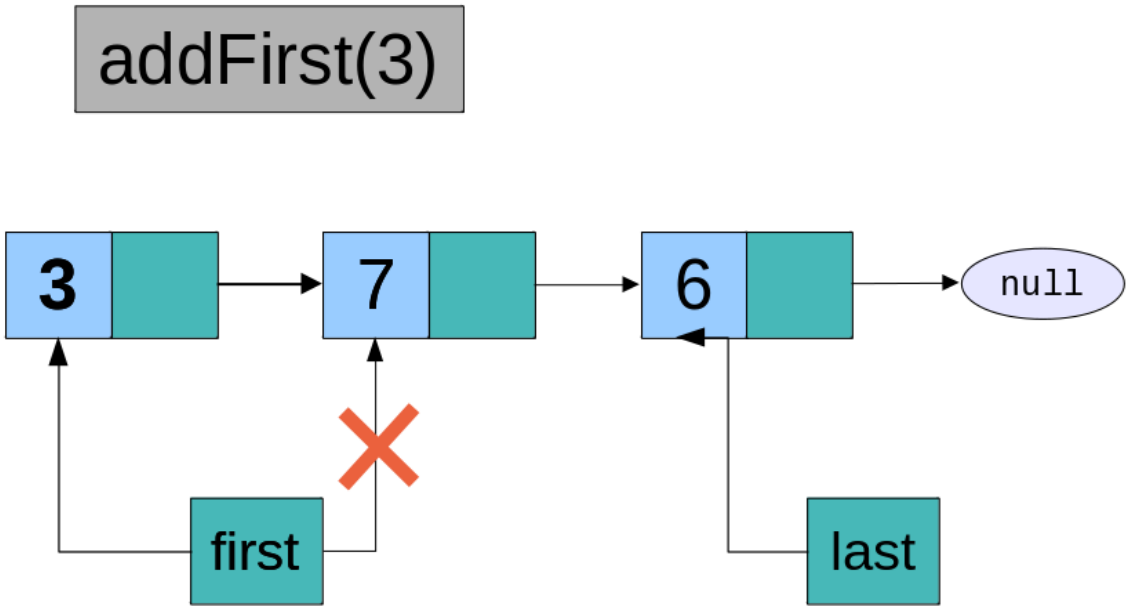
Implementação de uma lista ligada

- `addFirst` - inserção de elementos adicionais no início.



Implementação de uma lista ligada

- `addFirst` - inserção de elementos adicionais no início.



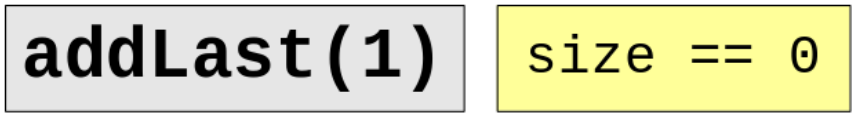
Implementação de uma lista ligada

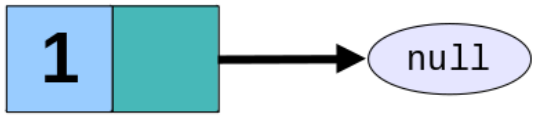
- Novo elemento no fim: `addLast`.
- Caso de lista vazia: similar a `addFirst`.

`addLast(1)` `size == 0`

Implementação de uma lista ligada

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

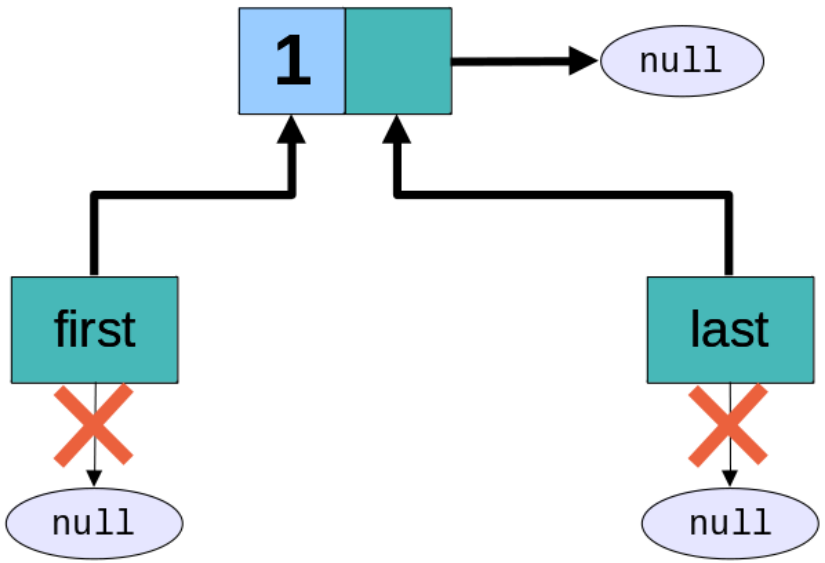




Implementação de uma lista ligada

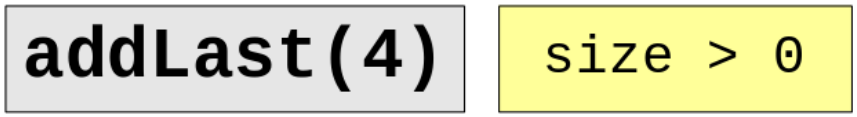
- Novo elemento no fim: `addLast`.
- Caso de lista vazia: similar a `addFirst`.

addLast(1) `size == 0`



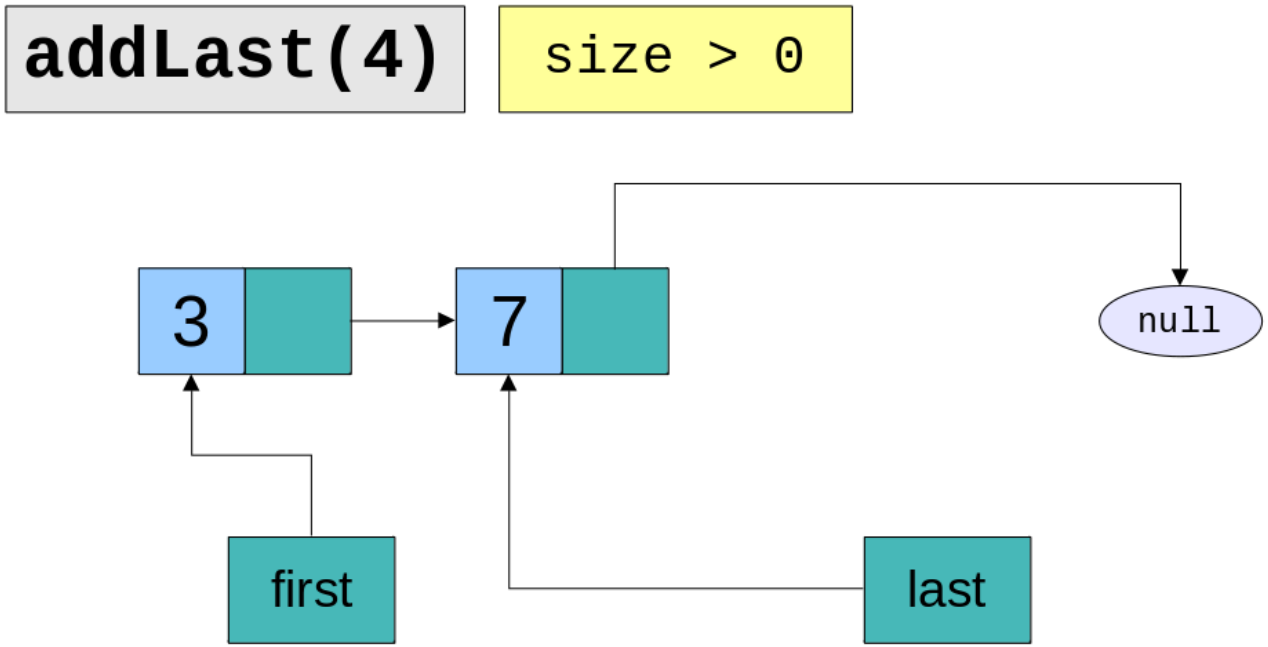
Implementação de uma lista ligada

- Novo elemento no fim: `addLast`.



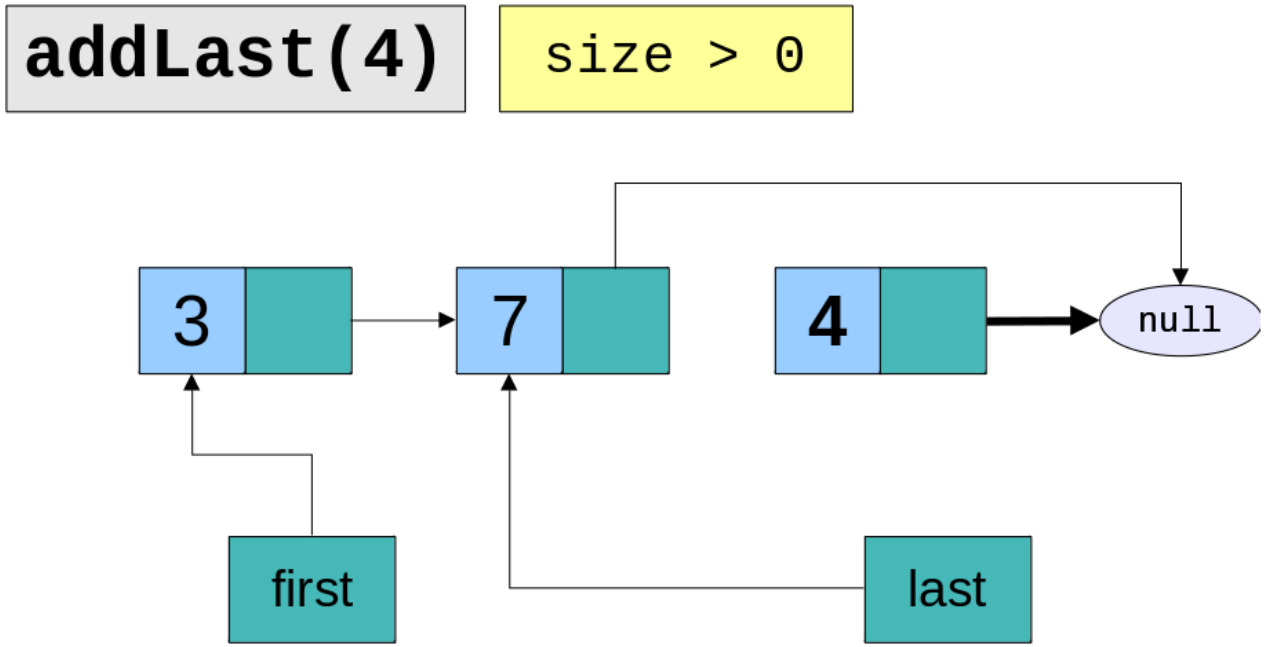
Implementação de uma lista ligada

- Novo elemento no fim: `addLast`.



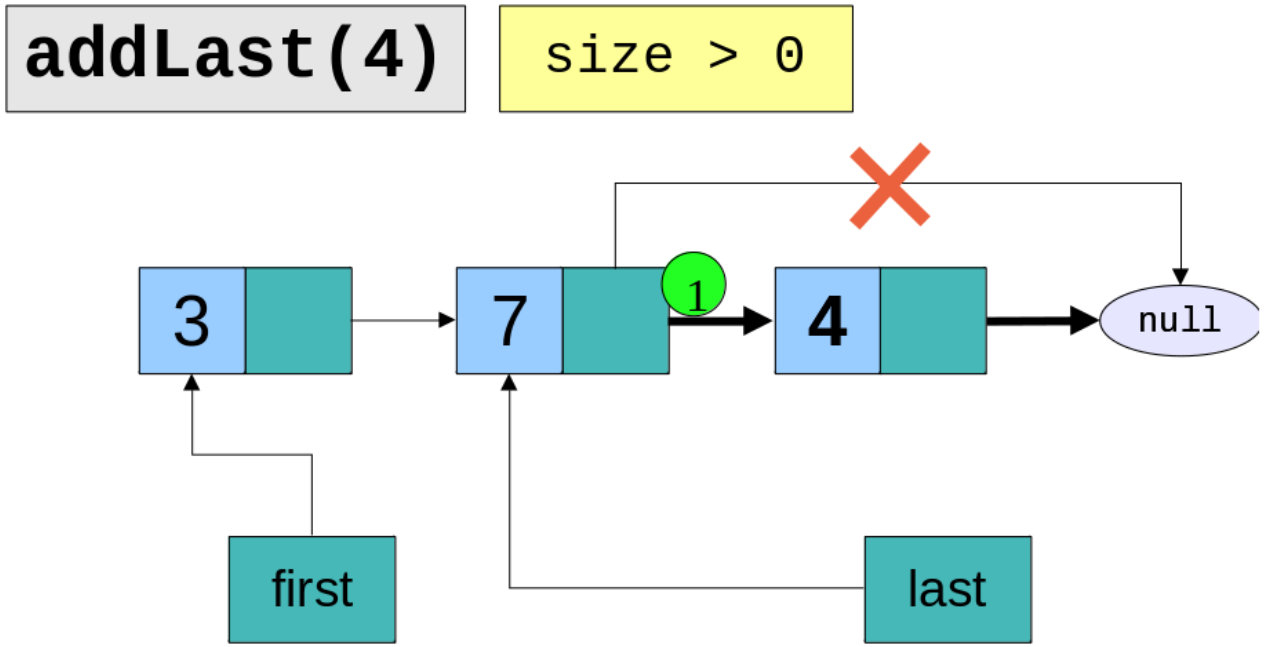
Implementação de uma lista ligada

- Novo elemento no fim: `addLast`.



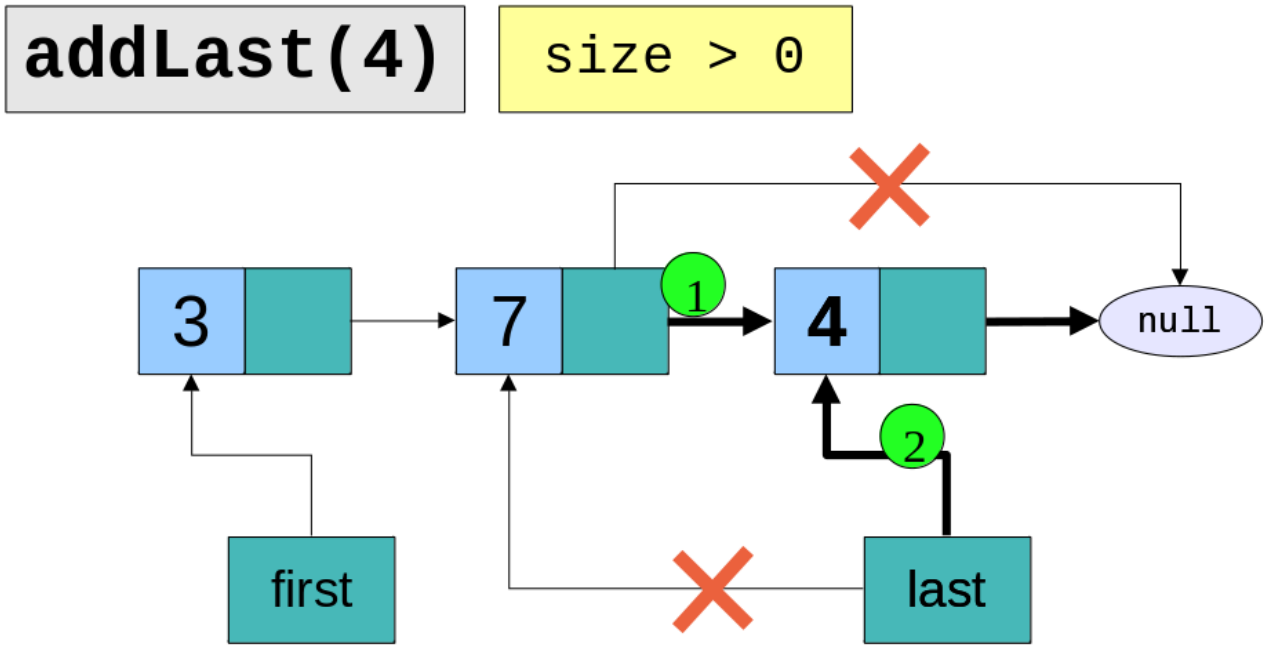
Implementação de uma lista ligada

- Novo elemento no fim: `addLast`.



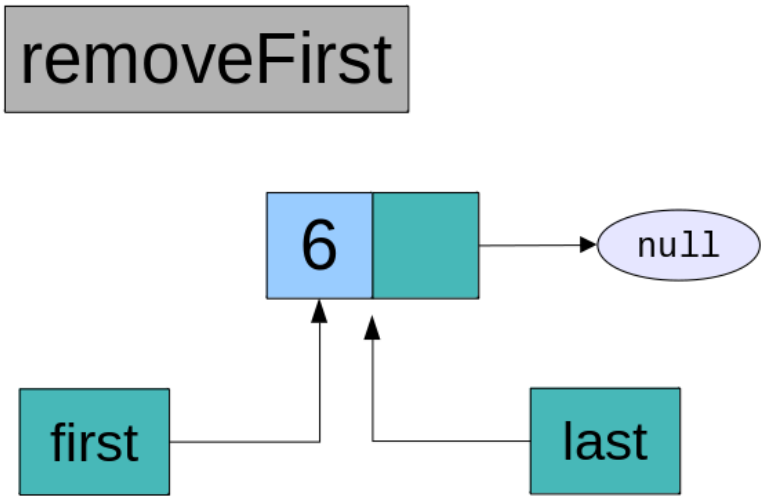
Implementação de uma lista ligada

- Novo elemento no fim: `addLast`.



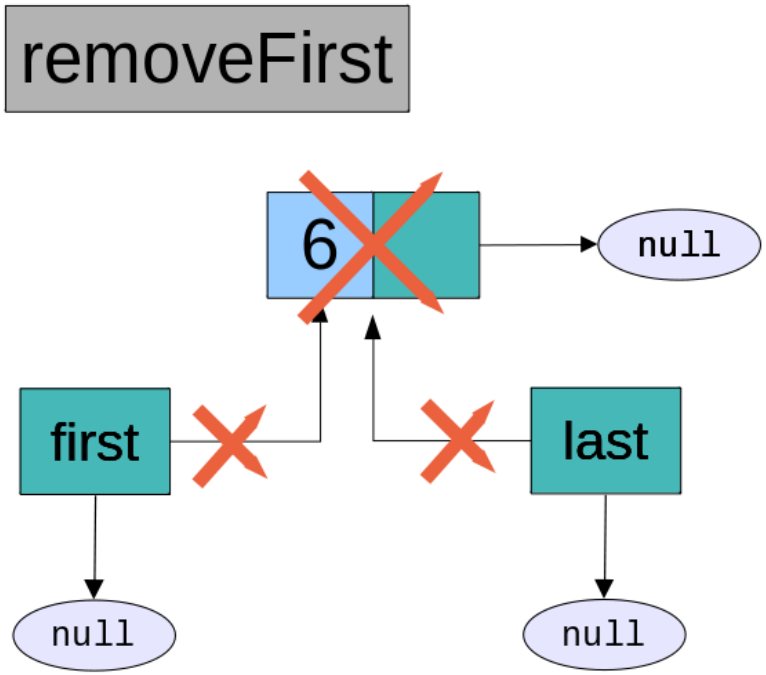
Implementação de uma lista ligada

- Remoção do primeiro elemento: `removeFirst`.
- `size==1`



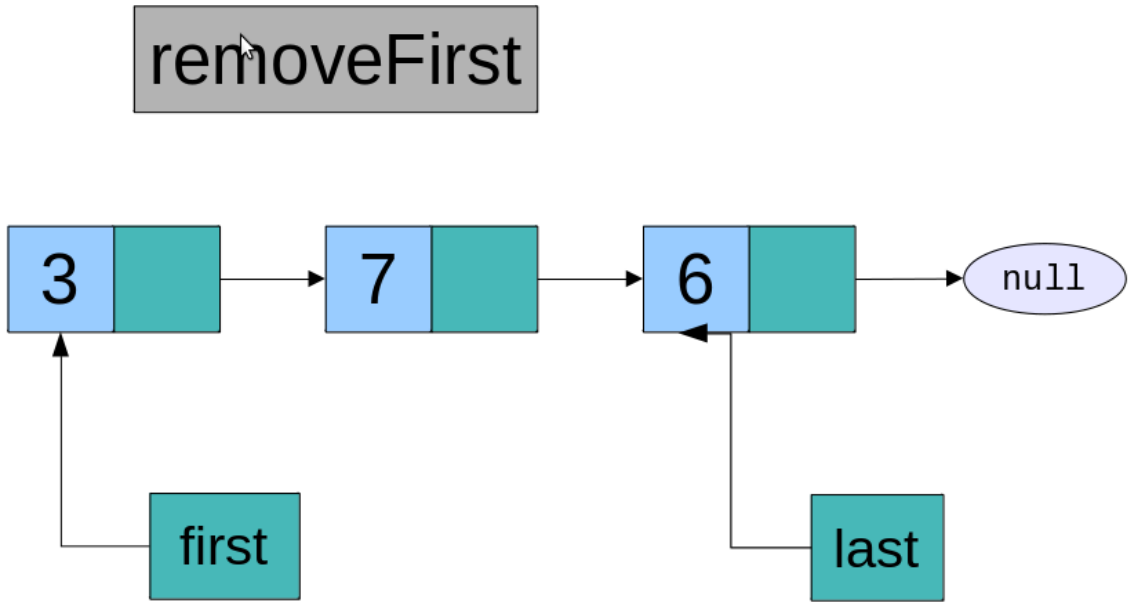
Implementação de uma lista ligada

- Remoção do primeiro elemento: `removeFirst`.
- `size==1`



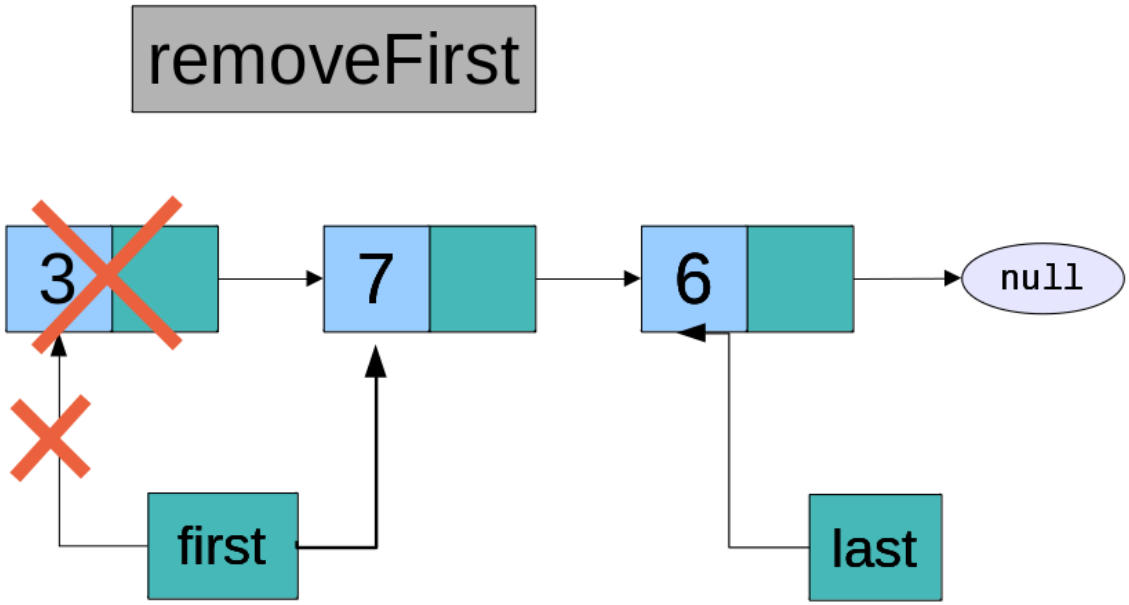
Implementação de uma lista ligada

- Remoção do primeiro elemento: `removeFirst`.
- `size>1`



Implementação de uma lista ligada

- Remoção do primeiro elemento: `removeFirst`.
- `size>1`



Implementação de uma lista de inteiros

```
public class LinkedListInt {

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

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

   public void addLast(int e) {
      NodeInt n = new NodeInt(e);
      if (first == null)
         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;
}
```

Implementação de uma lista de inteiros

```
public class LinkedListInt {

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

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

   public void addLast(int e) {
      NodeInt n = new NodeInt(e);
      if (first == null)
         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`:
  - Foi desenvolvida especificamente para elementos inteiros.
  - Se quisermos ter listas de elementos de outros tipos, podemos duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código assim obtido é praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Construir módulos aplicáveis a quaisquer tipos.
  - Diz-se que são parametrizados por tipo, ou seja, o tipo é também um parâmetro.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Foi desenvolvida especificamente para elementos inteiros.
  - Se quisermos ter listas de elementos de outros tipos, podemos duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código assim obtido é praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Construir módulos aplicáveis a quaisquer tipos.
  - Diz-se que são parametrizados por tipo, ou seja, o tipo é também um parâmetro.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Foi desenvolvida especificamente para elementos inteiros.
  - Se quisermos ter listas de elementos de outros tipos, podemos duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código assim obtido é praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Construir módulos aplicáveis a quaisquer tipos.
  - Diz-se que são parametrizados por tipo, ou seja, o tipo é também um parâmetro.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Foi desenvolvida especificamente para elementos inteiros.
  - Se quisermos ter listas de elementos de outros tipos, podemos duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código assim obtido é praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Construir módulos aplicáveis a quaisquer tipos.
  - Diz-se que são parametrizados por tipo, ou seja, o tipo é também um parâmetro.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Foi desenvolvida especificamente para elementos inteiros.
  - Se quisermos ter listas de elementos de outros tipos, podemos duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código assim obtido é praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Construir módulos aplicáveis a quaisquer tipos.
  - Diz-se que são parametrizados por tipo, ou seja, o tipo é também um parâmetro.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Polimorfismo paramétrico

- **Problema**: A classe `LinkedListInt`:
  - Foi desenvolvida especificamente para elementos inteiros.
  - Se quisermos ter listas de elementos de outros tipos, podemos duplicar o código e fazer pequenas alterações para adaptar ao tipo pretendido.
  - O código assim obtido é praticamente igual, mas não é prático fazer esta "clonagem" de código para cada nova necessidade.
- **Solução**: Construir módulos aplicáveis a quaisquer tipos.
  - Diz-se que são parametrizados por tipo, ou seja, o tipo é também um parâmetro.
  - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
  - Este mecanismo é conhecido como **polimorfismo paramétrico**.

Tipos genéricos em Java

- Em Java, as classes e funções que têm parâmetros que representam tipos são chamadas **genéricas**.
- Os parâmetros de tipo são indicados entre < ... > a seguir ao nome da classe na definição desta.

```
public class LinkedList<E> {
   ...
   public void addFirst(E e) {
      ...
   }
   ...
}
...
public static void main(String args[]) {
   ...
   LinkedList<Double>  p1 = new LinkedList<Double>();
   LinkedList<Integer> p2 = new LinkedList<Integer>();
   ...
}
```

Tipos genéricos em Java

- Em Java, as classes e funções que têm parâmetros que representam tipos são chamadas **genéricas**.
- Os parâmetros de tipo são indicados entre < ... > a seguir ao nome da classe na definição desta.

```
public class LinkedList<E> {
   ...
   public void addFirst(E e) {
      ...
   }
   ...
}
...
public static void main(String args[]) {
   ...
   LinkedList<Double>  p1 = new LinkedList<Double>();
   LinkedList<Integer> p2 = new LinkedList<Integer>();
   ...
}
```

Tipos genéricos em Java

- Em Java, as classes e funções que têm parâmetros que representam tipos são chamadas **genéricas**.
- Os parâmetros de tipo são indicados entre < ... > a seguir ao nome da classe na definição desta.

```
public class LinkedList<E> {
   ...
   public void addFirst(E e) {
      ...
   }
   ...
}
...
public static void main(String args[]) {
   ...
   LinkedList<Double>  p1 = new LinkedList<Double>();
   LinkedList<Integer> p2 = new LinkedList<Integer>();
   ...
}
```

Tipos genéricos em Java

- Em Java, as classes e funções que têm parâmetros que representam tipos são chamadas **genéricas**.
- Os parâmetros de tipo são indicados entre < ... > a seguir ao nome da classe na definição desta.

```
public class LinkedList<E> {
    ...
    public void addFirst(E e) {
       ...
    }
    ...
}
...
public static void main(String args[]) {
    ...
    LinkedList<Double>  p1 = new LinkedList<Double>();
    LinkedList<Integer> p2 = new LinkedList<Integer>();
    ...
}
```

Convenção sobre nomes de variáveis de tipo

- Em Java, por convenção, os nomes dos parâmetros de tipo são letras maiúsculas:
  - `E` - *element*
  - `K` - *key*
  - `N` - *number*
  - `T` - *type*
  - `V` - *value*
- Assim, mais facilmente se distingue uma variável que representa um tipo de uma variável normal, que começa (também por convenção) com letra minúscula (exemplo: `numberOfElements`).

Convenção sobre nomes de variáveis de tipo

- Em Java, por convenção, os nomes dos parâmetros de tipo são letras maiúsculas:
  - `E` - *element*
  - `K` - *key*
  - `N` - *number*
  - `T` - *type*
  - `V` - *value*
- Assim, mais facilmente se distingue uma variável que representa um tipo de uma variável normal, que começa (também por convenção) com letra minúscula (exemplo: `numberOfElements`).

Convenção sobre nomes de variáveis de tipo

- Em Java, por convenção, os nomes dos parâmetros de tipo são letras maiúsculas:
  - `E` - *element*
  - `K` - *key*
  - `N` - *number*
  - `T` - *type*
  - `V` - *value*
- Assim, mais facilmente se distingue uma variável que representa um tipo de uma variável normal, que começa (também por convenção) com letra minúscula (exemplo: `numberOfElements`).

Tipos genéricos em Java: limitações

- Problema: Não é possível invocar módulos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);
- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).
  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).
- Problema: Não é possível instanciar arrays de genéricos!
- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo `Object` e fazer a coerção do tipo para o *array* de genéricos:

```
Nodo<T>[] a = (Nodo<T>[]) new Object[10];
```

  - 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")
```

Tipos genéricos em Java: limitações

- Problema: Não é possível invocar módulos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);
- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).
  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).
- Problema: Não é possível instanciar arrays de genéricos!
- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a coerção de tipo para o *array* de genéricos:

```
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(value = "unchecked")
```

Tipos genéricos em Java: limitações

- Problema: Não é possível invocar módulos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);
- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).
  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).
- Problema: Não é possível instanciar arrays de genéricos!
- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a coerção de tipo para o *array* de genéricos:

```
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(value = "unchecked")
```

Tipos genéricos em Java: limitações

- Problema: Não é possível invocar módulos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);
- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).
  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).
- Problema: Não é possível instanciar arrays de genéricos!
- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a coerção de tipo para o *array* de genéricos:

```
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(value = "unchecked")
```

Tipos genéricos em Java: limitações

- Problema: Não é possível invocar módulos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);
- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).
  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).
- Problema: Não é possível instanciar arrays de genéricos!
- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a coerção de tipo para o *array* de genéricos:

```
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(value = "unchecked")
```

Tipos genéricos em Java: limitações

- Problema: Não é possível invocar módulos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);
- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).
  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).
- Problema: Não é possível instanciar arrays de genéricos!
- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a coerção de tipo para o *array* de genéricos:

```
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(value = "unchecked")
```

Tipos genéricos em Java: limitações

- Problema: Não é possível invocar módulos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);
- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).
  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).
- Problema: Não é possível instanciar arrays de genéricos!
- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a coerção de tipo para o *array* de genéricos:

```
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(value = "unchecked")
```

Tipos genéricos em Java: limitações

- Problema: Não é possível invocar módulos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);
- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).
  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).
- Problema: Não é possível instanciar arrays de genéricos!
- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a coerção de tipo para o *array* de genéricos:

```
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(value = "unchecked")
```

Tipos genéricos em Java: limitações

- Problema: Não é possível invocar módulos genéricos com argumentos de tipos primitivos! (`int`, `short`, `long`, `byte`, `boolean`, `char`, `float`, `double`);
- Solução:
  - Utilizar os tipos referência correspondentes (`Integer`, `Double`, etc.).
  - A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos referência respectivos (*boxing* e *unboxing*).
- Problema: Não é possível instanciar arrays de genéricos!
- Solução:
  - Criar arrays de elementos do tipo Object e fazer a coerção de tipo para o *array* de genéricos:

```
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(value = "unchecked")
```

Implementação de uma lista ligada genérica

```
public class LinkedList<E> {

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

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

   public void addLast(E e) {
      Node<E> n = new Node<>(e);
      if (first == null)
         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;
}
```

Implementação de uma lista ligada genérica

```
public class LinkedList<E> {

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

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

   public void addLast(E e) {
      Node<E> n = new Node<>(e);
      if (first == null)
         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!

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!

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!

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!

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!

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!

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!

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!

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!

Exemplo: lista contém elemento

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

Exemplo: lista contém elemento

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

Um padrão que se repete ...

- Muitas funções sobre listas fazem um percurso da lista
- Esse percurso 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,e);
   }
   private ... xpto(Node<E> n, ...) {
      if (n == null) return ...;
      ...
      ... xpto(n.next,...);
      return ...
   }
   ....
}
```

Um padrão que se repete ...

- Muitas funções sobre listas fazem um percurso da lista
- Esse percurso 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,e);
  }
  private ... xpto(Node<E> n, ...) {
     if (n == null) return ...;
     ...
     ... xpto(n.next,...);
     return ...
  }
  ....
}
```

Um padrão que se repete ...

- Muitas funções sobre listas fazem um percurso da lista
- Esse percurso 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,e);
   }
   private ... xpto(Node<E> n, ...) {
      if (n == null) return ...;
      ...
      ... xpto(n.next,...);
      return ...
   }
   ....
}
```

Um padrão que se repete ...

- Muitas funções sobre listas fazem um percurso da lista
- Esse percurso 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,e);
   }
   private ... xpto(Node<E> n, ...) {
      if (n == null) return ...;
      ...
      ... xpto(n.next,...);
      return ...
   }
   ....
}
```

Um padrão que se repete ...

- Muitas funções sobre listas fazem um percurso da lista
- Esse percurso 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,e);
  }
  private ... xpto(Node<E> n, ...) {
     if (n == null) return ...;
     ...
     ... xpto(n.next,...);
     return ...
  }
  ....
}
```

Um padrão que se repete ...

- Muitas funções sobre listas fazem um percurso da lista
- Esse percurso 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,e);
  }
  private ... xpto(Node<E> n, ...) {
     if (n == null) return ...;
     ...
     ... xpto(n.next,...);
     return ...
  }
  ....
}
```