

Aula 07

Estruturas de dados recursivas

Listas ligadas

Programação II, 2018-2019

v1.3, 01-04-2019

Lista Ligada

Polimorfismo
Paramétrico

Processamento
recursivo de listas

1 Lista Ligada

2 Polimorfismo Paramétrico

3 Processamento recursivo de listas

Lista Ligada

Polimorfismo
Paramétrico

Processamento
recursivo de listas

1 Lista Ligada

2 Polimorfismo Paramétrico

3 Processamento recursivo de listas

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 realocar/eliminar um vector quando o número de elementos não é conhecido à partida.
 - Ou então, realocar/eliminar o vector quando chegam novos elementos, com custos em tempo de processamento.
 - Iniciar ou remover elementos numa posição intermédia pode demandar 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

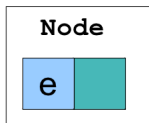
- Estrutura de dados sequencial em que cada elemento da lista contém uma referência para o próximo elemento.
 - No último elemento, a referência é `null`.
- Ao contrário do vector, é completamente **dinâmica**.
- No entanto, obriga a um **acesso sequencial**.
- Recorre a uma estrutura auxiliar (um *nó*)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

- 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.

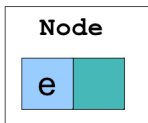
Lista ligada simples: exemplo



Lista ligada simples: exemplo



Lista ligada simples: exemplo

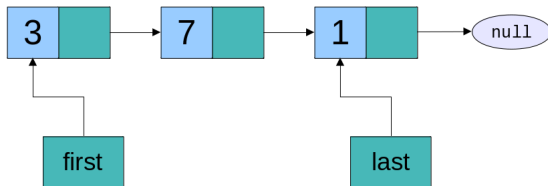


```
class Node
{
    int e;
    Node next;
}
```



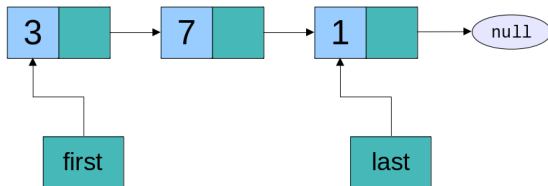
- Exemplo: lista com os elementos 3, 7 e 1.
- A lista possui acesso direto ao primeiro e último elementos.
- É fácil acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É fácil remover elementos do início da lista.

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



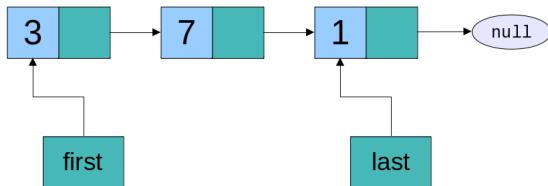
- A lista possui acesso direto ao primeiro e último elementos.
- É fácil acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É fácil remover elementos do início da lista.

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



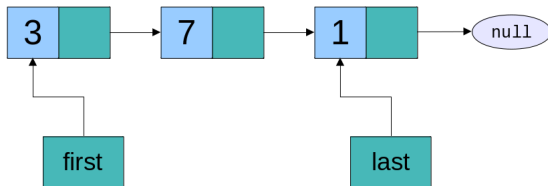
- A lista possui acesso direto ao primeiro e último elementos.
- É fácil acrescentar elementos no início e no fim da lista.
- É fácil remover elementos do início da lista.

- 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.

- 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;  
    }  
}
```

```
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

Lista Ligada

Polimorfismo
Paramétrico

Processamento
recursivo de listas

- Nome do módulo:

- `LinkedList`

- Serviços:

- `addFront()`: insere um elemento no início da lista.

- `addBack()`: insere um elemento no fim da lista.

- `Front()`: devolve o primeiro elemento da lista.

- `Back()`: devolve o último elemento da lista.

- `removeFront()`: remove 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).

- 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).

- 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).

- 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).

- 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).

- 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).

- 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).

- 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).

- 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).

- 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).

- 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).

- 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).

- **addFirst(v)**
 - Pré-condição: !isEmpty() \wedge (first() \rightarrow v)
- **addLast(v)**
 - Pré-condição: !isEmpty() \wedge (last() \rightarrow v)
- **removeFirst()**
 - Pré-condição: !isEmpty()
- **first()**
 - Pré-condição: !isEmpty()

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

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

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

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

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

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

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

- **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;

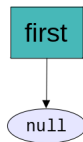
    public LinkedListInt() { }
    public void addFirst(int e) {
        ...
        assert !isEmpty() && first()==e;
    }
    public void addLast(int e) {
        ...
        assert !isEmpty() && last()==e;
    }
    public int first() {
        assert !isEmpty();
        ...
    }
    public int last()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

Implementação de uma lista ligada

- `addFirst` - inserir o primeiro elemento.

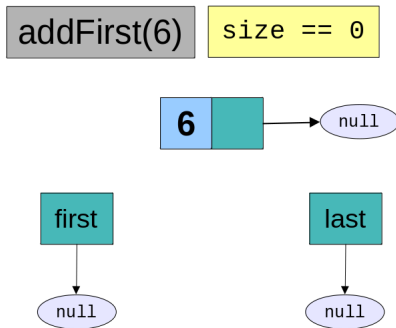
`addFirst(6)`

`size == 0`



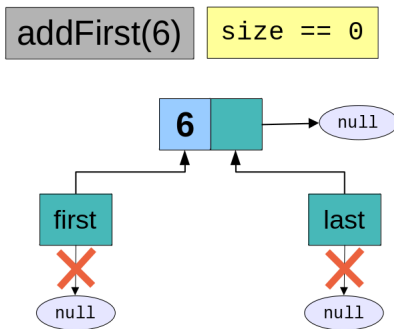
Implementação de uma lista ligada

- `addFirst` - inserir o primeiro elemento.



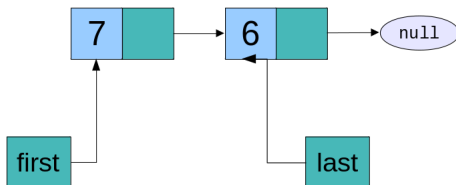
Implementação de uma lista ligada

- `addFirst` - inserir o primeiro elemento.



Implementação de uma lista ligada

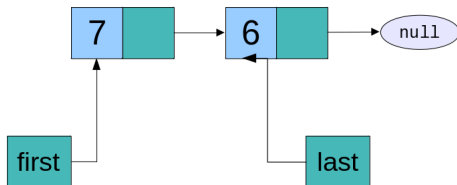
- `addFirst` - inserir novo elemento no início.



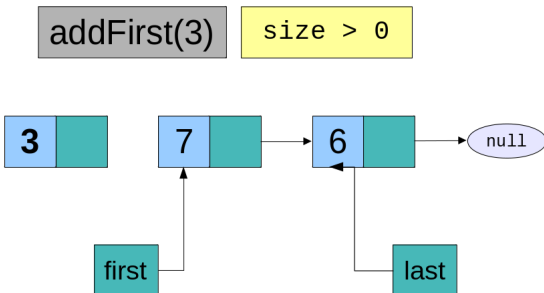
- `addFirst` - inserir novo elemento no início.

`addFirst(3)`

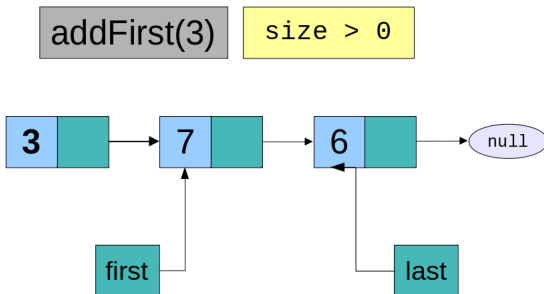
`size > 0`



- `addFirst` - inserir novo elemento no início.

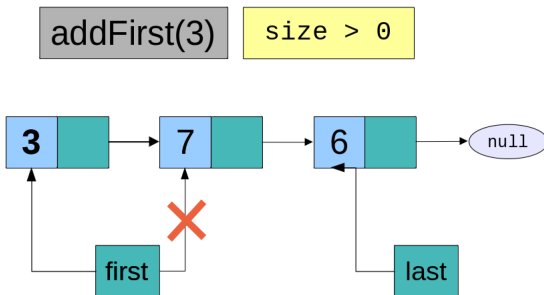


- `addFirst` - inserir novo elemento no início.



Implementação de uma lista ligada

- `addFirst` - inserir novo elemento no início.

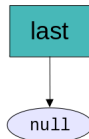
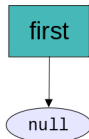


Implementação de uma lista ligada

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

`addLast(1)`

`size == 0`



Implementação de uma lista ligada

Lista Ligada

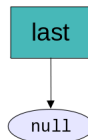
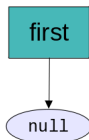
Polimorfismo
Paramétrico

Processamento
recursivo de listas

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

`addLast(1)`

`size == 0`

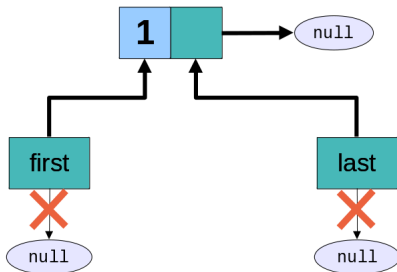


Implementação de uma lista ligada

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

`addLast(1)`

`size == 0`



4

- `addLast` - acrescentar novo elemento no fim.

`addLast(4)`

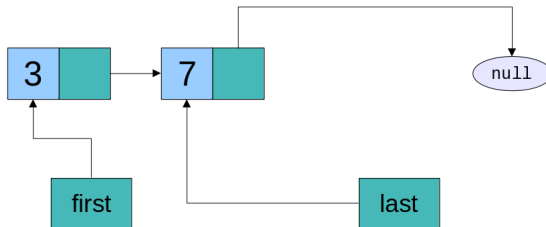
`size > 0`

Implementação de uma lista ligada

- `addLast` - acrescentar novo elemento no fim.

`addLast(4)`

`size > 0`

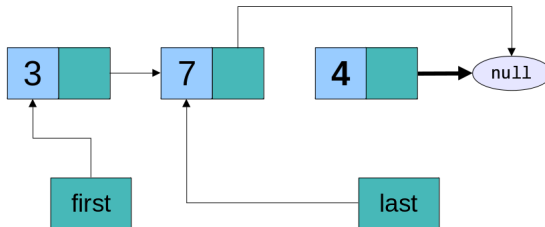


Implementação de uma lista ligada

- `addLast` - acrescentar novo elemento no fim.

`addLast(4)`

`size > 0`

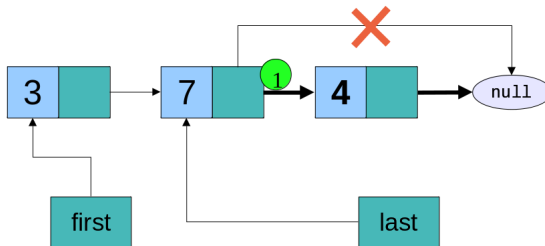


Implementação de uma lista ligada

- `addLast` - acrescentar novo elemento no fim.

`addLast(4)`

`size > 0`



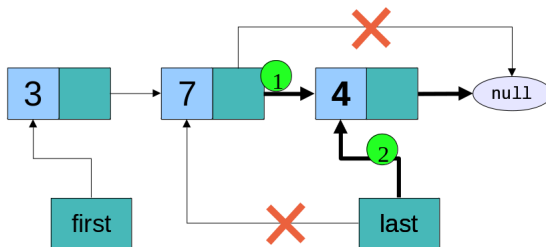
^

Implementação de uma lista ligada

- `addLast` - acrescentar novo elemento no fim.

`addLast(4)`

`size > 0`



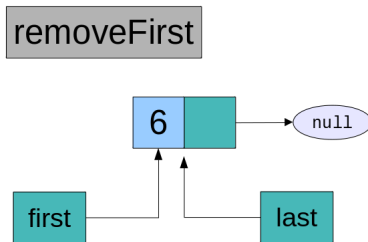
Implementação de uma lista ligada

Lista Ligada

Polimorfismo
Paramétrico

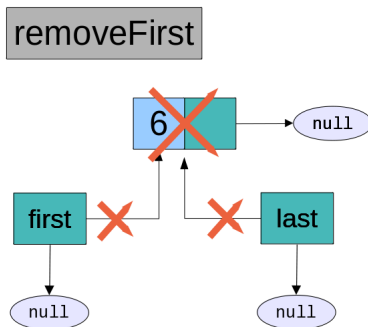
Processamento
recursivo de listas

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



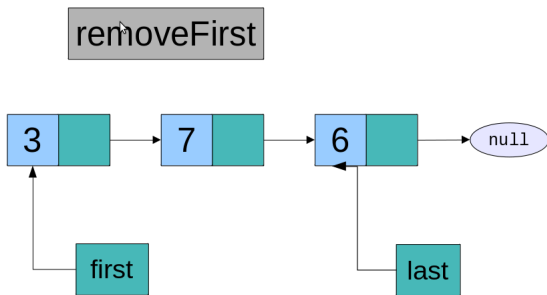
Implementação de uma lista ligada

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



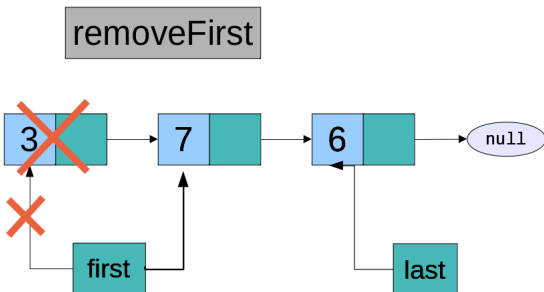
Implementação de uma lista ligada

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



Implementação de uma lista ligada

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



Implementação de uma lista de inteiros

```
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;
}
```

Implementação de uma lista de inteiros

Lista Ligada

Polimorfismo
Paramétrico

Processamento
recursivo de listas

```
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;
}
```

- **Problema:** A classe `LinkedListInt`:
 - Permite guardar apenas elementos `Int`.
 - 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 possível ter esta "diversão" do código para cada novo elemento.
- **Solução:** Definir classes aplicáveis a qualquer tipo.
 - Deixar que são classes parametrizadas por tipo, ou seja, o tipo do elemento passa a ser um parâmetro da classe.
 - As estruturas e funções passam a ser polimórficas.
 - Esta abordagem é conhecida como 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**.

- **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**.

- **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**.

- **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**.

- **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**.

- **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**.

- **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**.

- **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>();
}
```

- 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>();
}
```

Lista Ligada

Polimorfismo
Paramétrico

Processamento
recursivo de listas

- 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>();
}
```

- 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.

- 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.

- 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.

- 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: limitações

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

- **Solução:**

- Utilizar os tipos relacionados correspondentes (Integer, Double, etc.);
- A linguagem faz a conversão automática entre os tipos primitivos e os tipos relacionados respectivos (boxing e unboxing).

- **Problema:** Não é possível criar arrays de genéricos!

- **Solução:**

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

```
Object[] array = new Object[1000000];
```

- Para obter o array genérico, não compilado, como resultado desta conversão, pode-se recorrer ao método `toArray()` e obter a seguinte estrutura:

```
Integer[] array = new Integer[1000000];
```

- No tutorial oficial encontra mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitações

- **Problema:** Não é possível invocar tipos 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 criar 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("unchecked")
```

- No tutorial oficial encontra mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitações

- **Problema:** Não é possível invocar tipos 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 criar 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("unchecked")
```

- No tutorial oficial encontra mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitações

- **Problema:** Não é possível invocar tipos 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 criar 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("unchecked")
```

- No tutorial oficial encontra mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitações

- **Problema:** Não é possível invocar tipos 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 criar 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("unchecked")
```

- No tutorial oficial encontra mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitações

- **Problema:** Não é possível invocar tipos 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 criar 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("unchecked")
```

- No tutorial oficial encontra mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitações

- **Problema:** Não é possível invocar tipos 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 criar 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("unchecked")
```

- No tutorial oficial encontra mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitações

- **Problema:** Não é possível invocar tipos 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 criar 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("unchecked")
```

- No tutorial oficial encontra mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitações

- **Problema:** Não é possível invocar tipos 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 criar 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("unchecked")
```

- No tutorial oficial encontra mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Tipos genéricos em Java: limitações

- **Problema:** Não é possível invocar tipos 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 criar 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("unchecked")
```
- No tutorial oficial encontra mais informação sobre estas e outras restrições na utilização de genéricos.

Implementação de uma lista ligada genérica

```
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;
}
```

Implementação de uma lista ligada genérica

```
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;
}
```

- 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.

Para *Condicioner de terminação da recursividade*:

Variável local: passar do nó actual (n) ao seguinte ($n \rightarrow next$).

Convergência: está garantida, desde que haja forma de detectar o fim da lista.

- 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:
 - Caso a lista seja vazia ($l == \text{nil}$)
 - Caso o elemento e seja encontrado ($e == l \rightarrow \text{data}$)
 - Variabilidade: passar do nó actual (n) ao seguinte ($n \rightarrow \text{next}$).
 - Convergência: está garantida, desde que haja forma de detetar o fim da lista.

- 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:
 - Base: e é igual ao primeiro elemento da lista.
 - Recursão: e é igual ao primeiro elemento da lista seguinte.
 - Variabilidade: passar do nó actual (n) ao seguinte ($n.next$).
 - Convergência: está garantida, desde que haja forma de detetar o fim da lista.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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.

- 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) {  
        if (n.elem.equals(e)) return true; // 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 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, ...);  
    }  
    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, ...);  
    }  
    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, ...);  
    }  
    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, ...);  
    }  
    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, ...);  
    }  
    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, ...);  
    }  
    private ... xpto(Node<E> n, ...) {  
        if (n == null) return ...;  
        ...  
        ... xpto(n.next, ...);  
        return ...  
    }  
    ...  
}
```