

Listas Encadeadas

Listas Duplamente Encadeadas

Prof. Edson Alves - UnB/FGA

2018

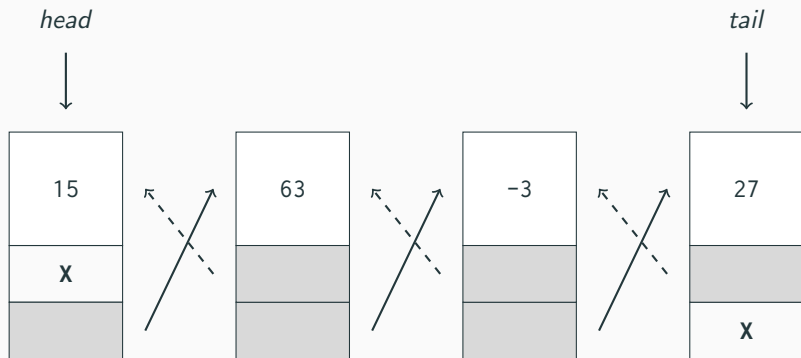
1. Definição
2. Inserção
3. Remoção
4. Listas duplamente encadeadas em C++

Definição

Listas duplamente encadeadas

- Uma lista duplamente encadeada é uma estrutura composta por nós, onde cada nó armazenada uma informação, um ponteiro para o antecessor e um ponteiro para o próximo nó da lista
- A partir de qualquer elemento da lista é possível acessar todos os demais elementos
- Esta maior flexibilidade em relação às listas (simplesmente) encadeadas tem seu custo: cada nó precisa de um ponteiro extra, aumentando o uso de memória
- É uma estrutura de dados linear, devido a travessia sequencial e ordenada de seus elementos
- Por conta da estrutura dos nós, o acesso aleatório em listas duplamente encadeadas tem complexidade $O(N)$

Visualização de uma lista duplamente encadeada



Implementação de uma lista duplamente encadeada

- Uma lista duplamente encadeada pode ser implementada como uma **struct** em C ou uma classe em C++
- Ela deve ter um membro para o primeiro (*head*) e para o último (*tail*) elemento da lista
- Cada nó deve ter, no mínimo, três membros: um para armazenar as informações (*info*), um para representar o ponteiro para o próximo nó (*next*) e um para representar o ponteiro para o nó anterior (*prev*)
- O primeiro elemento da lista tem membro *prev* nulo
- O último elemento da lista tem membro *next* nulo
- Esta configuração permite inserções e remoções, no início e no final, com complexidade $O(1)$

Exemplo de implementação de uma lista duplamente encadeada

```
1 #ifndef LIST_H
2 #define LIST_H
3
4 template<typename T>
5 class List {
6 public:
7     List() : head(nullptr), tail(nullptr), _size(0) {}
8
9     ~List()
10    {
11        auto p = head;
12
13        while (p)
14        {
15            auto next = p->next;
16            delete p;
17            p = next;
18        }
19    }
20
```

Exemplo de implementação de uma lista duplamente encadeada

```
21     const T& front() const
22     {
23         if (head)
24             return head->info;
25         else
26             throw "Empty list!";
27     }
28
29     const T& back() const
30     {
31         if (tail)
32             return tail->info;
33         else
34             throw "Empty list!";
35     }
36
37     bool empty() const { return head == nullptr; }
38
39     unsigned long size() const { return _size; }
40
```


Exemplo de implementação de uma lista duplamente encadeada

```
86 private:
87     struct Node {
88         T info;
89         Node *prev, *next;
90
91         Node(const T& i, Node *p, Node *n) : info(i), prev(p), next(n) {}
92     };
93
94     Node *head, *tail;
95     unsigned long _size;
96 };
97
98 #endif
```

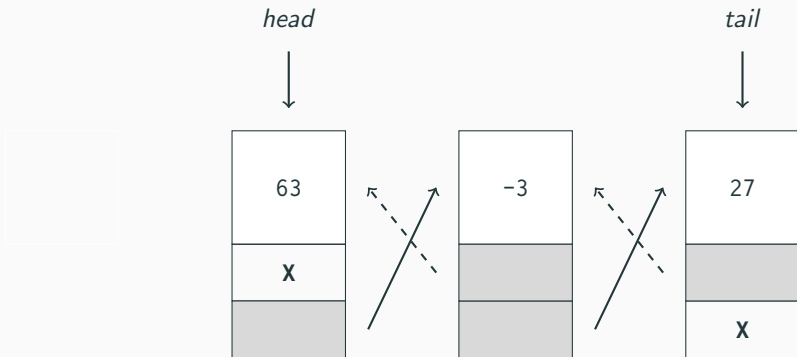
Inserção

Inserção no início

- A inserção no início (`push_front()`) de uma lista duplamente encadeada tem complexidade $O(1)$
- O primeiro passo da inserção é criar um novo nó
- Em seguida, deve ser preenchido o campo `info`
- O membro `prev` deve ser nulo
- O membro `next` deve apontar então para o primeiro elemento da lista (`head`)
- Por fim, o membro `head` deve apontar para o novo elemento
- *Corner case*: caso o membro `head` esteja nulo no início da inserção, o membro `tail` também deve apontar para o novo elemento
- Caso a classe tenha o membro `size`, este deve ser incrementado na inserção

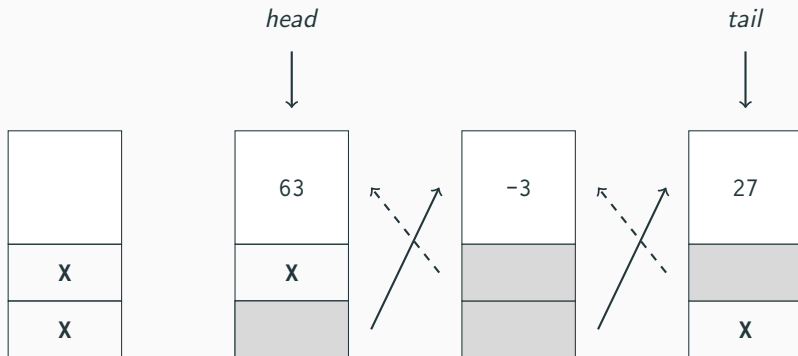
Visualização da inserção no início

Valor a ser inserido: 88



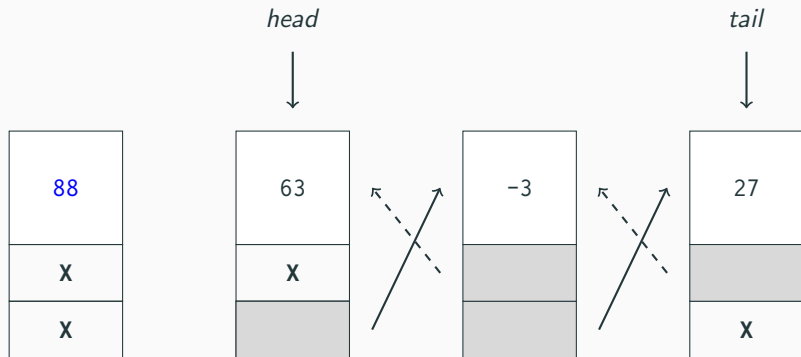
Visualização da inserção no início

Passo 01: Criar um novo nó



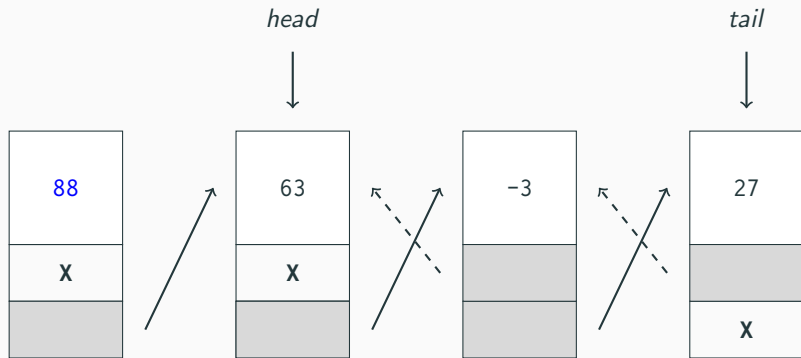
Visualização da inserção no início

Passo 02: Preencher o campo info



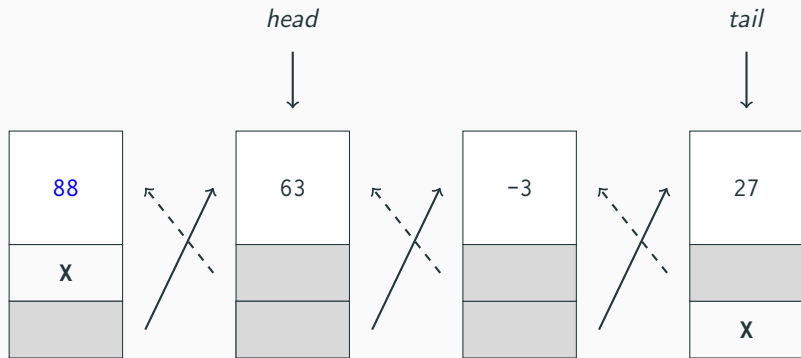
Visualização da inserção no início

Passo 03: Apontar next para o primeiro elemento



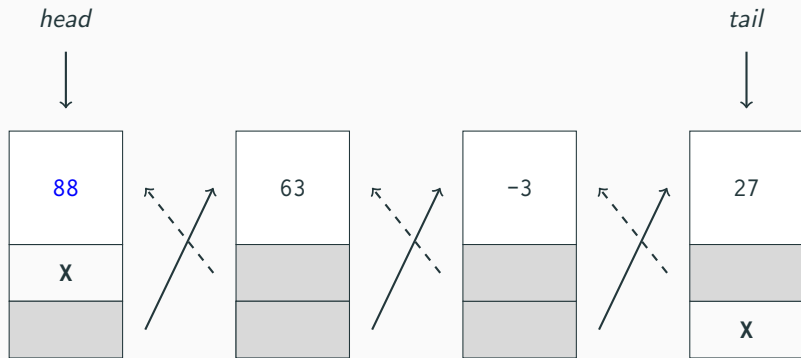
Visualização da inserção no início

Passo 04: Apontar prev de head para o novo elemento



Visualização da inserção no início

Passo 05: Apontar head para o novo elemento



Implementação da inserção no início

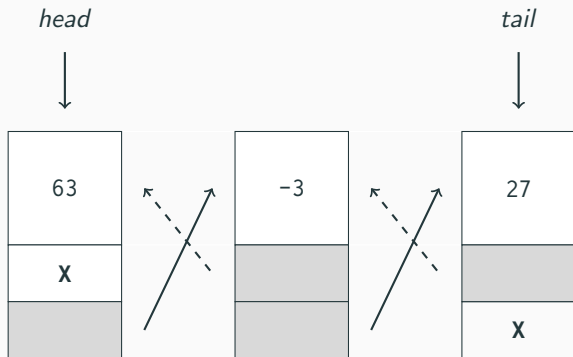
```
41 void push_front(const T& info)
42 {
43     auto n = new Node(info, nullptr, head);
44
45     head ? head->prev = n : tail = n;
46     head = n;
47     _size++;
48 }
```

Inserção no final

- A inserção no final (`push_back()`) de uma lista duplamente encadeada tem complexidade $O(1)$
- O primeiro passo da inserção é criar um novo nó
- Em seguida, deve ser preenchido o campo `info`
- O membro `prev` do novo elemento tem que apontar para `tail`
- O membro `next` de `tail` deve apontar então para o novo elemento da lista
- Por fim, o membro `tail` deve apontar para o novo elemento
- *Corner case*: caso o membro `tail` esteja nulo no início da inserção, o membro `head` também deve apontar para o novo elemento
- Caso a classe tenha o membro `size`, este deve ser incrementado na inserção

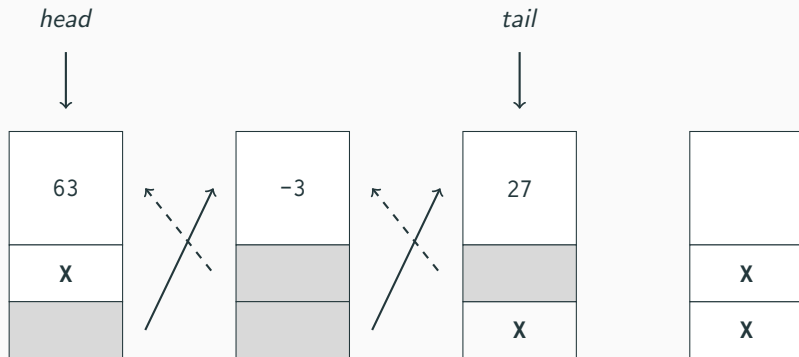
Visualização da inserção no final

Valor a ser inserido: 88



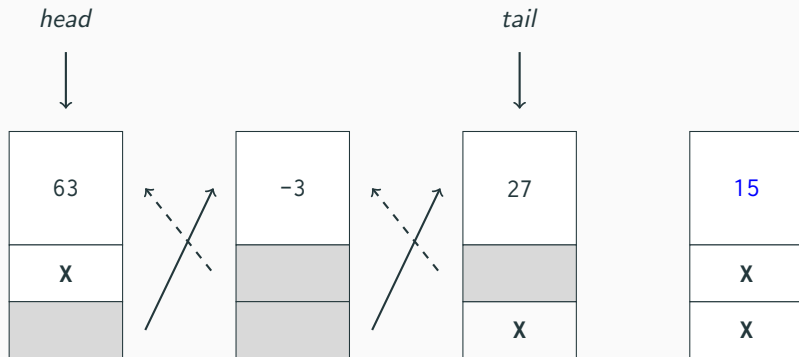
Visualização da inserção no final

Passo 01: Criar um novo nó



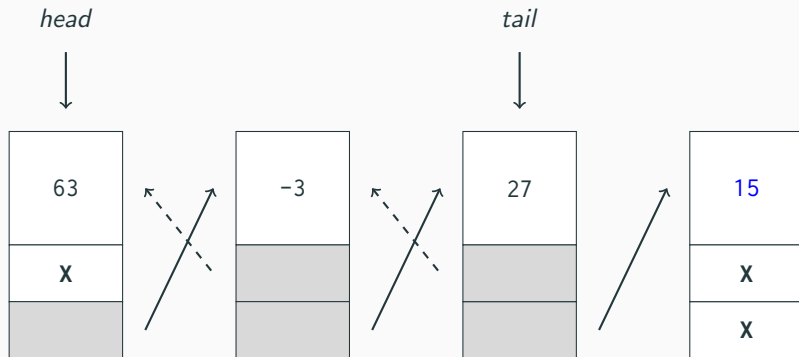
Visualização da inserção no final

Passo 02: Preencher o campo info



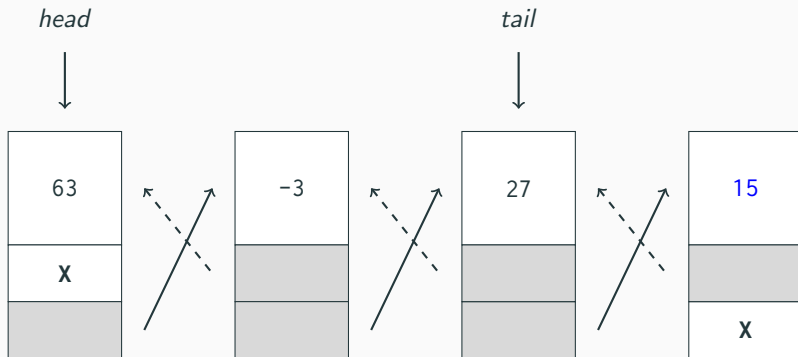
Visualização da inserção no final

Passo 03: Apontar o membro next de tail para o novo nó



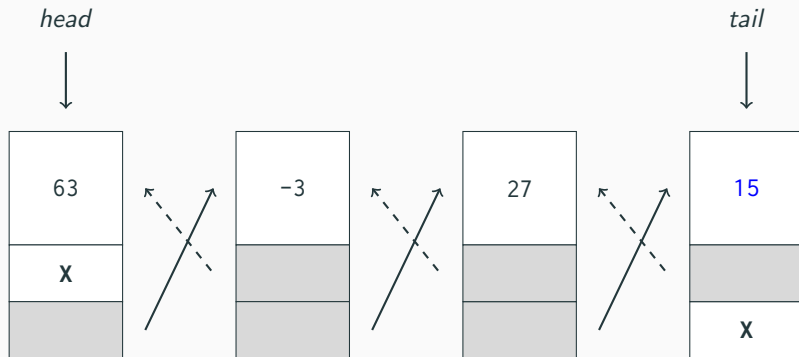
Visualização da inserção no final

Passo 04: Apontar o membro prev do novo nó para tail



Visualização da inserção no final

Passo 05: Apontar tail para o novo nó



Implementação da inserção no final

```
50 void push_back(const T& info)
51 {
52     auto n = new Node(info, tail, nullptr);
53
54     tail ? tail->next = n : head = n;
55     tail = n;
56     _size++;
57 }
```

Inserção em posição arbitrária

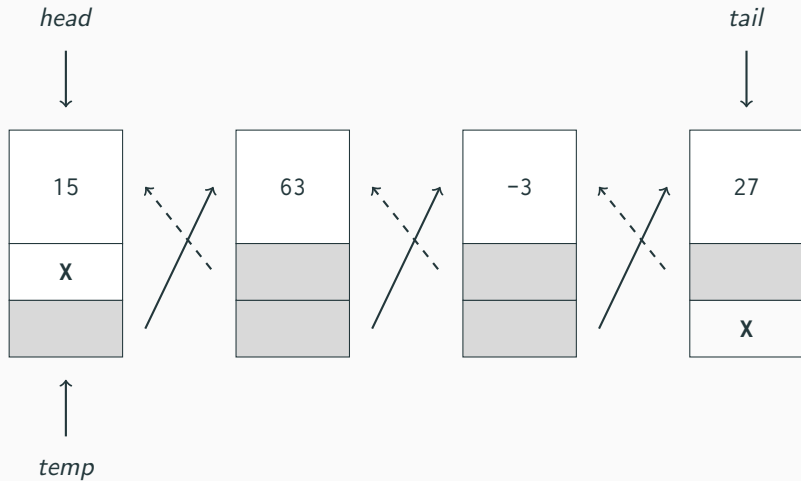
- A inserção em posição arbitrária tem complexidade $O(N)$, onde N é o número de elementos da lista, ou $O(1)$, caso o ponteiro para a posição onde o elemento será inserido seja conhecido
- Observe que, no caso dos vetores, mesmo que a posição de inserção seja conhecida, a complexidade permanece sendo $O(N)$
- É preciso ajustar adequadamente os membros `prev` e `next` do novo nó, de seu antecessor e de seu sucessor, caso existam
- Também é preciso ter cuidado com os ponteiros `head` e `tail`
- Há vários *corner cases*:
 1. Lista vazia
 2. Apenas um elemento na lista
 3. Inserção na primeira posição
 4. Posição de inserção inválida

Remoção

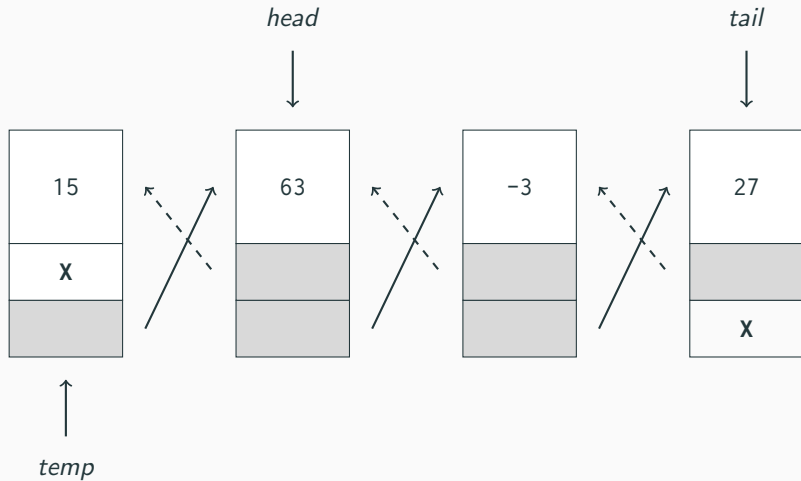
Remoção do início

- A remoção de um elemento do início de uma lista duplamente encadeada (`pop_front()`) tem complexidade $O(1)$
- O primeiro passo da remoção é armazenar o membro `head` em uma variável temporária
- Em seguida, o membro `head` deve apontar para o próximo elemento da lista
- O membro `next` de `head` deve ser atualizado com o valor nulo, caso exista
- Por fim, o ponteiro armazenado na variável temporária é deletado
- O membro `size` deve ser decrementado, se existir
- *Corner case*: a tentativa de remoção em uma lista vazia deve ser tratada de alguma maneira (código de erro, exceção, etc.)
- *Corner case*: se a lista tiver exatamente um nó no momento da remoção, o membro `tail` deve receber o valor nulo

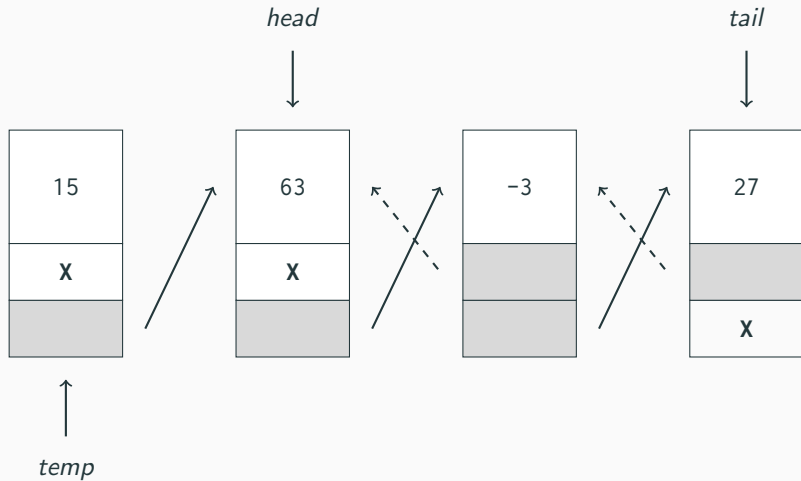
Visualização da remoção no início da lista



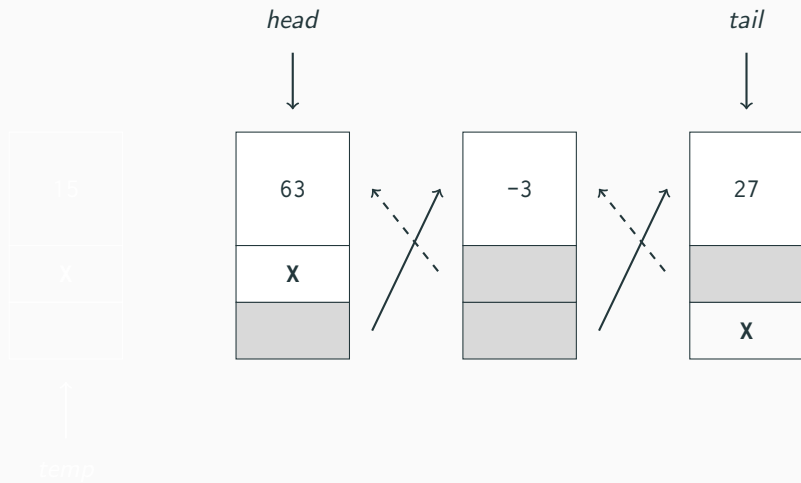
Visualização da remoção no início da lista



Visualização da remoção no início da lista



Visualização da remoção no início da lista



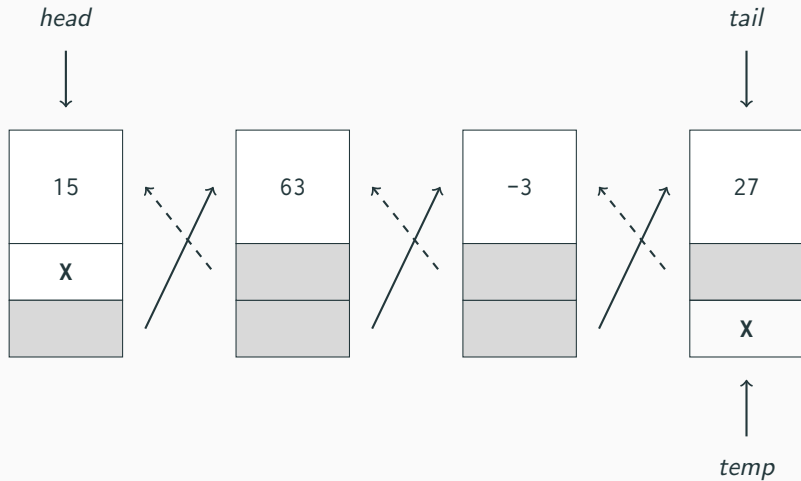
Implementação da remoção do início

```
59 void pop_front()
60 {
61     if (!head)
62         throw "Lista vazia";
63
64     auto temp = head;
65     head = head->next;
66     delete temp;
67
68     head ? head->prev = nullptr : tail = nullptr;
69     _size--;
70 }
```

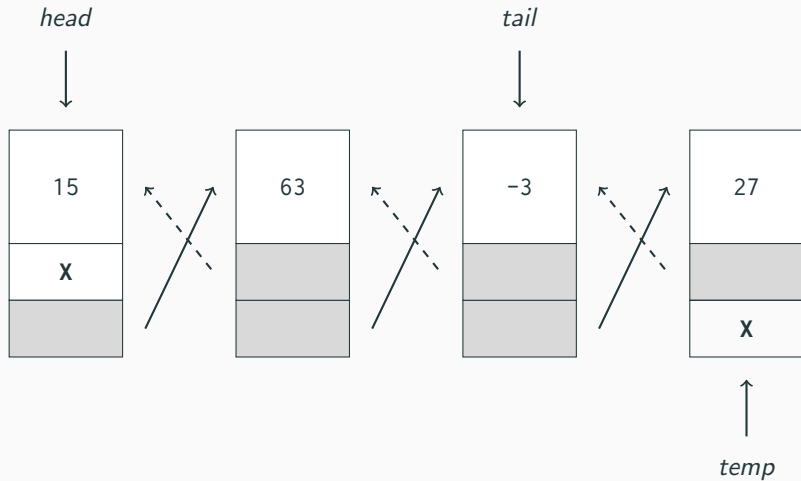
Remoção do final da lista

- Mesmo com o membro `tail`, a remoção do último elemento de uma lista encadeada (`pop_back()`) tem complexidade $O(N)$, onde N é o número de nós da lista
- Isto acontece porque é preciso localizar o elemento que antecede o último elemento (`prev`), processo que tem complexidade linear
- Localizado o elemento `prev`, a remoção é semelhante à remoção do início: o elemento `tail` é deletado e `tail` passa a apontar para `prev`
- Por fim, o membro `next` de `prev` deve se tornar nulo
- Novamente, o membro `size` deve ser decrementado, se existir
- *Corner case*: lista vazia
- *Corner case*: se a lista tiver exatamente um nó no momento da remoção, o membro `head` deve receber o valor nulo

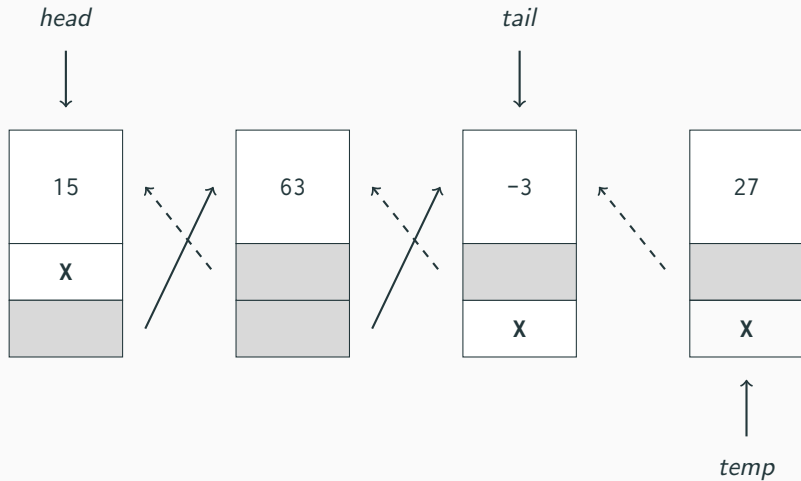
Visualização da remoção no final da lista



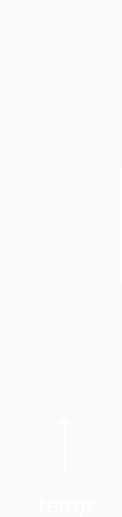
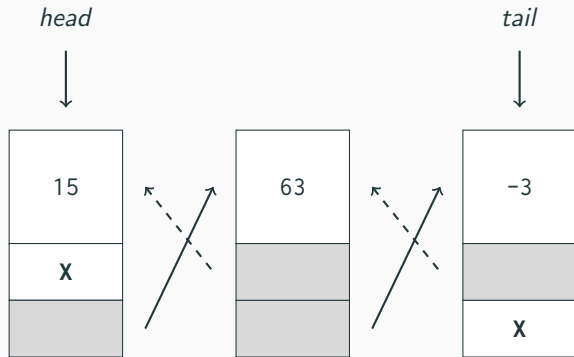
Visualização da remoção no final da lista



Visualização da remoção no final da lista



Visualização da remoção no final da lista



Implementação da remoção do final

```
72 void pop_back()
73 {
74     if (!tail)
75         throw "Lista vazia";
76
77     auto temp = tail;
78     tail = tail->prev;
79     delete temp;
80
81     tail ? tail->next = nullptr : head = nullptr;
82
83     _size--;
84 }
```


Remoção em posição arbitrária

- A remoção em posição arbitrária também tem complexidade $O(1)$ ou $O(N)$, caso esteja disponível ou não um ponteiro para o elemento a ser removido
- Esta é uma rotina de implementação complexa, dado o grande número de *corner cases*
- Os membros `head` e `tail` deve ser devidamente tratados e atualizados, quando for o caso
- O membro `next` de `prev` também precisa ser atualizado corretamente

Exemplo de uso da lista encadeada

```
1 #include <iostream>
2 #include "list.h"
3
4 using namespace std;
5
6 int main()
7 {
8     List<int> list;
9
10    cout << "Lista vazia? " << (list.empty() ? "Sim" : "Nao") << endl;
11
12    for (int n = 1; n <= 10; ++n)
13        list.push_back(n);
14
15    list.pop_front();
16    cout << "Tamanho da lista: " << list.size() << endl;
17    cout << "Primeiro elemento: " << list.front() << endl;
18    cout << "Último elemento: " << list.back() << endl;
19
20    return 0;
21 }
```

Listas duplamente encadeadas em C++

- Desde a versão C++, a linguagem C++ oferece uma implementação de listas duplamente encadeadas: o contêiner `list`
- Ao contrário da `forward_list`, seus iteradores são bidirecionais, permitindo a travessia em ambos sentidos
- Também de forma diferente da `forward_list`, este contêiner possui o método `size()`
- As inserções e remoções constantes devem ser feitas através dos métodos `push_front()`, `push_back()`, `pop_front()` e `pop_back()`
- Também está disponível o método `insert()`, que insere um elemento logo após o iterador indicado em complexidade constante

Exemplo de uso de list

```
1 #include <iostream>
2 #include <list>
3
4 using namespace std;
5
6 int main()
7 {
8     list<int> list;
9
10    cout << "Lista vazia? " << (list.empty() ? "Sim" : "Nao") << endl;
11
12    for (int n = 1; n <= 10; ++n)
13        list.push_front(n);
14    list.pop_back();
15
16    cout << "Tamanho da lista: " << list.size() << endl;
17    cout << "Primeiro elemento: " << list.front() << endl;
18    cout << "Último elemento: " << list.back() << endl;
19
20    return 0;
21 }
```

1. **DROZDEK**, Adam. *Algoritmos e Estruturas de Dados em C++*, 2002.
2. **KERNIGHAN**, Bryan; **RITCHIE**, Dennis. *The C Programming Language*, 1978.
3. **STROUSTROUP**, Bjarne. *The C++ Programming Language*, 2013.
4. C++ Reference¹.

¹<https://en.cppreference.com/w/>