

MC-202

Listas Ligadas

Lehilton Pedrosa
lehilton@ic.unicamp.br

Universidade Estadual de Campinas

Segundo semestre de 2024

Vetores

Vetores:

Vetores

Vetores:

- estão alocados contiguamente na memória

Vetores

Vetores:

- estão alocados contiguamente na memória
 - pode ser que tenhamos espaço na memória

Vetores

Vetores:

- estão alocados contiguamente na memória
 - pode ser que tenhamos espaço na memória
 - mas não para alocar um vetor do tamanho desejado

Vetores

Vetores:

- estão alocados contiguamente na memória
 - pode ser que tenhamos espaço na memória
 - mas não para alocar um vetor do tamanho desejado
- têm um tamanho fixo

Vetores

Vetores:

- estão alocados contiguamente na memória
 - pode ser que tenhamos espaço na memória
 - mas não para alocar um vetor do tamanho desejado
- têm um tamanho fixo
 - ou alocamos um vetor pequeno e o espaço pode acabar

Vetores

Vetores:

- estão alocados contiguamente na memória
 - pode ser que tenhamos espaço na memória
 - mas não para alocar um vetor do tamanho desejado
- têm um tamanho fixo
 - ou alocamos um vetor pequeno e o espaço pode acabar
 - ou alocamos um vetor grande e desperdiçamos memória

Alternativa — Lista Ligada

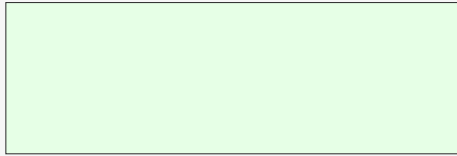


Pilha

Alternativa — Lista Ligada

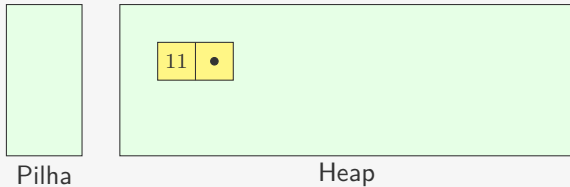


Pilha



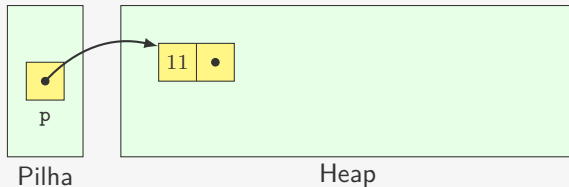
Heap

Alternativa — Lista Ligada



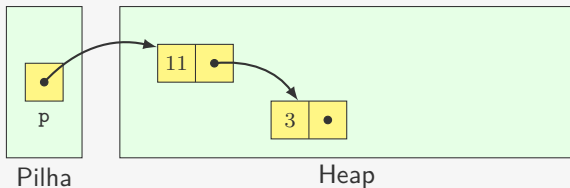
- alocamos memória conforme o necessário

Alternativa — Lista Ligada



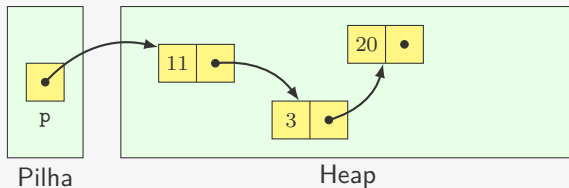
- alocamos memória conforme o necessário
- guardamos um ponteiro para a estrutura em uma variável

Alternativa — Lista Ligada



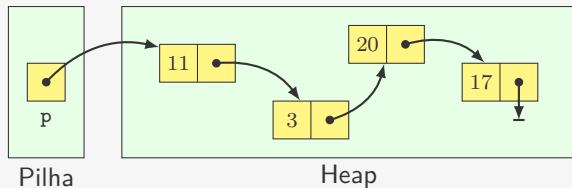
- alocamos memória conforme o necessário
- guardamos um ponteiro para a estrutura em uma variável
- o primeiro **nó** aponta para o segundo

Alternativa — Lista Ligada



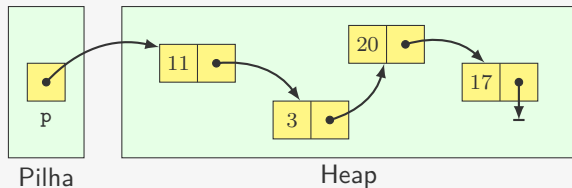
- alocamos memória conforme o necessário
- guardamos um ponteiro para a estrutura em uma variável
- o primeiro **nó** aponta para o segundo
- o segundo nó aponta para o terceiro

Alternativa — Lista Ligada



- alocamos memória conforme o necessário
- guardamos um ponteiro para a estrutura em uma variável
- o primeiro **nó** aponta para o segundo
- o segundo nó aponta para o terceiro

Alternativa — Lista Ligada



- alocamos memória conforme o necessário
- guardamos um ponteiro para a estrutura em uma variável
- o primeiro **nó** aponta para o segundo
- o segundo nó aponta para o terceiro
- o último nó aponta para **NULL**

Listas ligadas

Nó: elemento alocado dinamicamente que contém

Listas ligadas

Nó: elemento alocado dinamicamente que contém

- um conjunto de dados

Listas ligadas

Nó: elemento alocado dinamicamente que contém

- um conjunto de dados
- um ponteiro para outro nó

Listas ligadas

Nó: elemento alocado dinamicamente que contém

- um conjunto de dados
- um ponteiro para outro nó

Lista ligada:

Listas ligadas

Nó: elemento alocado dinamicamente que contém

- um conjunto de dados
- um ponteiro para outro nó

Lista ligada:

- Conjunto de nós ligados entre si de maneira sequencial

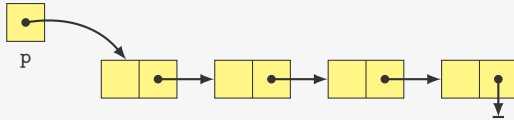
Listas ligadas

Nó: elemento alocado dinamicamente que contém

- um conjunto de dados
- um ponteiro para outro nó

Lista ligada:

- Conjunto de nós ligados entre si de maneira sequencial



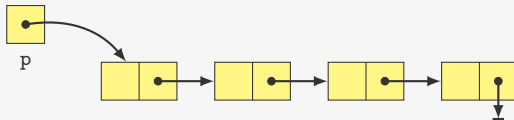
Listas ligadas

Nó: elemento alocado dinamicamente que contém

- um conjunto de dados
- um ponteiro para outro nó

Lista ligada:

- Conjunto de nós ligados entre si de maneira sequencial



Observações:

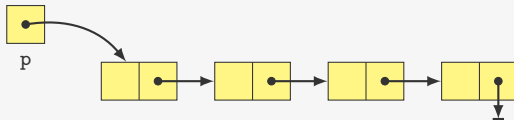
Listas ligadas

Nó: elemento alocado dinamicamente que contém

- um conjunto de dados
- um ponteiro para outro nó

Lista ligada:

- Conjunto de nós ligados entre si de maneira sequencial



Observações:

- a lista ligada é acessada a partir de uma variável

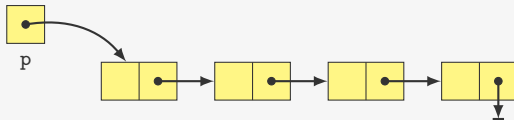
Listas ligadas

Nó: elemento alocado dinamicamente que contém

- um conjunto de dados
- um ponteiro para outro nó

Lista ligada:

- Conjunto de nós ligados entre si de maneira sequencial



Observações:

- a lista ligada é acessada a partir de uma variável
- um ponteiro pode estar “vazio” (aponta para **NULL** em C)

Implementação em C

Definição do Nó:

Implementação em C

Definição do Nó:

```
1 typedef struct no *p_no;
2
3 struct no {
4     int dado;
5     p_no prox;
6 };
```

Implementação em C

Definição do Nó:

```
1 typedef struct no *p_no;  
2  
3 struct no {  
4     int dado;  
5     p_no prox;  
6 };
```

Observações

Implementação em C

Definição do Nó:

```
1 typedef struct no *p_no;
2
3 struct no {
4     int dado;
5     p_no prox;
6 };
```

Observações

- `p_no` é um apelido de ponteiro para `struct no`

Implementação em C

Definição do Nó:

```
1 typedef struct no *p_no;
2
3 struct no {
4     int dado;
5     p_no prox;
6 };
```

Observações

- `p_no` é um apelido de ponteiro para `struct no`
- podemos usar `typedef` com ponteiro antes da struct

Implementação em C

Definição do Nó:

```
1 typedef struct no *p_no;
2
3 struct no {
4     int dado;
5     p_no prox;
6 };
```

Observações

- `p_no` é um apelido de ponteiro para `struct no`
- podemos usar `typedef` com ponteiro antes da struct
- assim podemos usar `p_no` dentro da definição do registro

Implementação em C

Definição do Nó:

```
1 typedef struct no *p_no;
2
3 struct no {
4     int dado;
5     p_no prox;
6 };
```

Observações

- `p_no` é um apelido de ponteiro para `struct no`
- podemos usar `typedef` com ponteiro antes da struct
- assim podemos usar `p_no` dentro da definição do registro
- também poderíamos escrever `struct no *`

Criando e Destruindo

Cria uma lista vazia:

Criando e Destruindo

Cria uma lista vazia:

```
1 p_no criar_lista() {  
2     return NULL;  
3 }
```

Criando e Destruindo

Cria uma lista vazia:

```
1 p_no criar_lista() {  
2     return NULL;  
3 }
```

Código no cliente:

Criando e Destruindo

Cria uma lista vazia:

```
1 p_no criar_lista() {  
2     return NULL;  
3 }
```

Código no cliente:

```
1 p_no lista;  
2 lista = criar_lista();
```

Criando e Destruindo

Cria uma lista vazia:

```
1 p_no criar_lista() {  
2     return NULL;  
3 }
```

Código no cliente:

```
1 p_no lista;  
2 lista = criar_lista();
```

Destruindo a lista:

Criando e Destruindo

Cria uma lista vazia:

```
1 p_no criar_lista() {  
2     return NULL;  
3 }
```

Código no cliente:

```
1 p_no lista;  
2 lista = criar_lista();
```

Destruindo a lista:

```
1 void destruir_lista(p_no lista) {  
2     if (lista != NULL) {  
3         destruir_lista(lista->prox);  
4         free(lista);  
5     }  
6 }
```

Criando e Destruindo

Cria uma lista vazia:

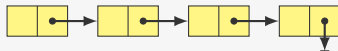
```
1 p_no criar_lista() {  
2     return NULL;  
3 }
```

Código no cliente:

```
1 p_no lista;  
2 lista = criar_lista();
```

Destruindo a lista:

```
1 void destruir_lista(p_no lista) {  
2     if (lista != NULL) {  
3         destruir_lista(lista->prox);  
4         free(lista);  
5     }  
6 }
```



Criando e Destruindo

Cria uma lista vazia:

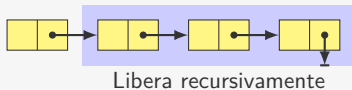
```
1 p_no criar_lista() {  
2     return NULL;  
3 }
```

Código no cliente:

```
1 p_no lista;  
2 lista = criar_lista();
```

Destruindo a lista:

```
1 void destruir_lista(p_no lista) {  
2     if (lista != NULL) {  
3         destruir_lista(lista->prox);  
4         free(lista);  
5     }  
6 }
```



Criando e Destruindo

Cria uma lista vazia:

```
1 p_no criar_lista() {  
2     return NULL;  
3 }
```

Código no cliente:

```
1 p_no lista;  
2 lista = criar_lista();
```

Destruindo a lista:

```
1 void destruir_lista(p_no lista) {  
2     if (lista != NULL) {  
3         destruir_lista(lista->prox);  
4         free(lista);  
5     }  
6 }
```



Criando e Destruindo

Cria uma lista vazia:

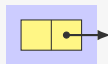
```
1 p_no criar_lista() {  
2     return NULL;  
3 }
```

Código no cliente:

```
1 p_no lista;  
2 lista = criar_lista();
```

Destruindo a lista:

```
1 void destruir_lista(p_no lista) {  
2     if (lista != NULL) {  
3         destruir_lista(lista->prox);  
4         free(lista);  
5     }  
6 }
```



Libera

Criando e Destruindo

Cria uma lista vazia:

```
1 p_no criar_lista() {  
2     return NULL;  
3 }
```

Código no cliente:

```
1 p_no lista;  
2 lista = criar_lista();
```

Destruindo a lista:

```
1 void destruir_lista(p_no lista) {  
2     if (lista != NULL) {  
3         destruir_lista(lista->prox);  
4         free(lista);  
5     }  
6 }
```

Criando e Destruindo

Cria uma lista vazia:

```
1 p_no criar_lista() {  
2     return NULL;  
3 }
```

Código no cliente:

```
1 p_no lista;  
2 lista = criar_lista();
```

Destruindo a lista:

```
1 void destruir_lista(p_no lista) {  
2     if (lista != NULL) {  
3         destruir_lista(lista->prox);  
4         free(lista);  
5     }  
6 }
```

Exercício: faça uma versão iterativa de `destruir_lista`

Solução

```
1 void destruir_lista(p_no lista) {  
2     p_no proximo = lista;  
3     for (p_no atual = lista; atual != NULL; atual = proximo) {  
4         proximo = proximo->prox;  
5         free(atual);  
6     }  
7 }
```

Adicionando elementos

A função devolve uma “nova” lista

Adicionando elementos

A função devolve uma “nova” lista

- É a lista antiga com o elemento novo adicionado

Adicionando elementos

A função devolve uma “nova” lista

- É a lista antiga com o elemento novo adicionado
- Evita ter que passar o ponteiro por referência

Adicionando elementos

A função devolve uma “nova” lista

- É a lista antiga com o elemento novo adicionado
- Evita ter que passar o ponteiro por referência

```
1 p_no adicionar_elemento(p_no lista, int x) {
2     p_no novo;
3     novo = malloc(sizeof(struct no));
4     novo->dado = x;
5     novo->prox = lista;
6     return novo;
7 }
```

Adicionando elementos

A função devolve uma “nova” lista

- É a lista antiga com o elemento novo adicionado
- Evita ter que passar o ponteiro por referência

```
1 p_no adicionar_elemento(p_no lista, int x) {
2     p_no novo;
3     novo = malloc(sizeof(struct no));
4     novo->dado = x;
5     novo->prox = lista;
6     return novo;
7 }
```

Código no cliente:

Adicionando elementos

A função devolve uma “nova” lista

- É a lista antiga com o elemento novo adicionado
- Evita ter que passar o ponteiro por referência

```
1 p_no adicionar_elemento(p_no lista, int x) {
2     p_no novo;
3     novo = malloc(sizeof(struct no));
4     novo->dado = x;
5     novo->prox = lista;
6     return novo;
7 }
```

Código no cliente:

```
1 lista = adicionar_elemento(lista, num);
```

Adicionando elementos

A função devolve uma “nova” lista

- É a lista antiga com o elemento novo adicionado
- Evita ter que passar o ponteiro por referência

```
1 p_no adicionar_elemento(p_no lista, int x) {
2     p_no novo;
3     novo = malloc(sizeof(struct no));
4     novo->dado = x;
5     novo->prox = lista;
6     return novo;
7 }
```

Código no cliente:

```
1 lista = adicionar_elemento(lista, num);
```

- A inserção ocorre em $O(1)$

Adicionando elementos

A função devolve uma “nova” lista

- É a lista antiga com o elemento novo adicionado
- Evita ter que passar o ponteiro por referência

```
1 p_no adicionar_elemento(p_no lista, int x) {
2     p_no novo;
3     novo = malloc(sizeof(struct no));
4     novo->dado = x;
5     novo->prox = lista;
6     return novo;
7 }
```

Código no cliente:

```
1 lista = adicionar_elemento(lista, num);
```

- A inserção ocorre em $O(1)$
- Deveria verificar se `malloc` não devolve `NULL`

Adicionando elementos

A função devolve uma “nova” lista

- É a lista antiga com o elemento novo adicionado
- Evita ter que passar o ponteiro por referência

```
1 p_no adicionar_elemento(p_no lista, int x) {
2     p_no novo;
3     novo = malloc(sizeof(struct no));
4     novo->dado = x;
5     novo->prox = lista;
6     return novo;
7 }
```

Código no cliente:

```
1 lista = adicionar_elemento(lista, num);
```

- A inserção ocorre em $O(1)$
- Deveria verificar se `malloc` não devolve `NULL`
 - Teria acabado a memória

Adicionando elementos

A função devolve uma “nova” lista

- É a lista antiga com o elemento novo adicionado
- Evita ter que passar o ponteiro por referência

```
1 p_no adicionar_elemento(p_no lista, int x) {
2     p_no novo;
3     novo = malloc(sizeof(struct no));
4     novo->dado = x;
5     novo->prox = lista;
6     return novo;
7 }
```

Código no cliente:

```
1 lista = adicionar_elemento(lista, num);
```

- A inserção ocorre em $O(1)$
- Deveria verificar se `malloc` não devolve `NULL`
 - Teria acabado a memória
 - Será omitido, mas precisa ser tratado na prática

Impressão

Impressão iterativa:

Impressão

Impressão iterativa:

```
1 void imprime(p_no lista) {  
2     p_no atual;  
3     for (atual = lista; atual != NULL; atual = atual->prox)  
4         printf("%d\n", atual->dado);  
5 }
```

Impressão

Impressão iterativa:

```
1 void imprime(p_no lista) {  
2     p_no atual;  
3     for (atual = lista; atual != NULL; atual = atual->prox)  
4         printf("%d\n", atual->dado);  
5 }
```

Impressão recursiva:

Impressão

Impressão iterativa:

```
1 void imprime(p_no lista) {
2     p_no atual;
3     for (atual = lista; atual != NULL; atual = atual->prox)
4         printf("%d\n", atual->dado);
5 }
```

Impressão recursiva:

```
1 void imprime_recursivo(p_no lista) {
2     if (lista != NULL){
3         printf("%d\n", lista->dado);
4         imprime_recursivo(lista->prox);
5     }
6 }
```

Impressão

Impressão iterativa:

```
1 void imprime(p_no lista) {
2     p_no atual;
3     for (atual = lista; atual != NULL; atual = atual->prox)
4         printf("%d\n", atual->dado);
5 }
```

Impressão recursiva:

```
1 void imprime_recursivo(p_no lista) {
2     if (lista != NULL){
3         printf("%d\n", lista->dado);
4         imprime_recursivo(lista->prox);
5     }
6 }
```

Algoritmos recursivos para lista ligada são, em geral, mais elegantes e simples

Impressão

Impressão iterativa:

```
1 void imprime(p_no lista) {
2     p_no atual;
3     for (atual = lista; atual != NULL; atual = atual->prox)
4         printf("%d\n", atual->dado);
5 }
```

Impressão recursiva:

```
1 void imprime_recursivo(p_no lista) {
2     if (lista != NULL){
3         printf("%d\n", lista->dado);
4         imprime_recursivo(lista->prox);
5     }
6 }
```

Algoritmos recursivos para lista ligada são, em geral, mais elegantes e simples

- Porém, os iterativos costumam ser mais rápidos

Impressão

Impressão iterativa:

```
1 void imprime(p_no lista) {
2     p_no atual;
3     for (atual = lista; atual != NULL; atual = atual->prox)
4         printf("%d\n", atual->dado);
5 }
```

Impressão recursiva:

```
1 void imprime_recursivo(p_no lista) {
2     if (lista != NULL){
3         printf("%d\n", lista->dado);
4         imprime_recursivo(lista->prox);
5     }
6 }
```

Algoritmos recursivos para lista ligada são, em geral, mais elegantes e simples

- Porém, os iterativos costumam ser mais rápidos
- Não arcam com o overhead da recursão

Exemplo — lendo números positivos

Exemplo — lendo números positivos

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include "lista_ligada.h"
4
5 int main() {
6     int num;
```


Exemplo — lendo números positivos

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include "lista_ligada.h"
4
5 int main() {
6     int num;
7     p_no lista;
8     lista = criar_lista();
```

Exemplo — lendo números positivos

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include "lista_ligada.h"
4
5 int main() {
6     int num;
7     p_no lista;
8     lista = criar_lista();
9     /* lê números positivos e armazena na lista */
10    do {
11        scanf("%d", &num);
12        if (num > 0)
13            lista = adicionar_elemento(lista, num);
14    } while (num > 0);
```

Exemplo — lendo números positivos

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include "lista_ligada.h"
4
5 int main() {
6     int num;
7     p_no lista;
8     lista = criar_lista();
9     /* lê números positivos e armazena na lista */
10    do {
11        scanf("%d", &num);
12        if (num > 0)
13            lista = adicionar_elemento(lista, num);
14    } while (num > 0);
15    imprime(lista); /* em ordem reversa de inserção */
```

Exemplo — lendo números positivos

```
1 #include <stdio.h>
2 #include <stdlib.h>
3 #include "lista_ligada.h"
4
5 int main() {
6     int num;
7     p_no lista;
8     lista = criar_lista();
9     /* lê números positivos e armazena na lista */
10    do {
11        scanf("%d", &num);
12        if (num > 0)
13            lista = adicionar_elemento(lista, num);
14    } while (num > 0);
15    imprime(lista); /* em ordem reversa de inserção */
16    destruir_lista(lista);
17    return 0;
18 }
```

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a direita)

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a direita)
 - Lista: $O(1)$

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a direita)
 - Lista: $O(1)$
- Remoção da posição 0 :

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a direita)
 - Lista: $O(1)$
- Remoção da posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a esquerda)

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a direita)
 - Lista: $O(1)$
- Remoção da posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a esquerda)
 - Lista: $O(1)$

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a direita)
 - Lista: $O(1)$
- Remoção da posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a esquerda)
 - Lista: $O(1)$
- Inserção/Remoção na última posição:

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a direita)
 - Lista: $O(1)$
- Remoção da posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a esquerda)
 - Lista: $O(1)$
- Inserção/Remoção na última posição:
 - Vetor: $O(1)$

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a direita)
 - Lista: $O(1)$
- Remoção da posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a esquerda)
 - Lista: $O(1)$
- Inserção/Remoção na última posição:
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(n)$

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a direita)
 - Lista: $O(1)$
- Remoção da posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a esquerda)
 - Lista: $O(1)$
- Inserção/Remoção na última posição:
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(n)$
- Uso de espaço:

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a direita)
 - Lista: $O(1)$
- Remoção da posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a esquerda)
 - Lista: $O(1)$
- Inserção/Remoção na última posição:
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(n)$
- Uso de espaço:
 - Vetor: provavelmente desperdiçará memória

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a direita)
 - Lista: $O(1)$
- Remoção da posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a esquerda)
 - Lista: $O(1)$
- Inserção/Remoção na última posição:
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(n)$
- Uso de espaço:
 - Vetor: provavelmente desperdiçará memória
 - Lista: não desperdiça memória, mas cada elemento consome mais memória por causa do ponteiro

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a direita)
 - Lista: $O(1)$
- Remoção da posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a esquerda)
 - Lista: $O(1)$
- Inserção/Remoção na última posição:
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(n)$
- Uso de espaço:
 - Vetor: provavelmente desperdiçará memória
 - Lista: não desperdiça memória, mas cada elemento consome mais memória por causa do ponteiro

Qual é melhor?

Comparando vetores e listas ligadas

- Acesso a posição k :
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(k)$ (precisa percorrer a lista)
- Inserção na posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a direita)
 - Lista: $O(1)$
- Remoção da posição 0 :
 - Vetor: $O(n)$ (precisa mover itens para a esquerda)
 - Lista: $O(1)$
- Inserção/Remoção na última posição:
 - Vetor: $O(1)$
 - Lista: $O(n)$
- Uso de espaço:
 - Vetor: provavelmente desperdiçará memória
 - Lista: não desperdiça memória, mas cada elemento consome mais memória por causa do ponteiro

Qual é melhor?

- depende do problema, do algoritmo e da implementação

Exercício — Busca e Remoção

Faça uma função que busca um elemento x em uma lista ligada, devolvendo o ponteiro para o nó encontrado ou **NULL** se o elemento não estiver na lista.

Solução

```
1 p_no busca(p_no lista, int x) {
2     if (lista == NULL || lista->dado == x)
3         return NULL;
4     return busca(lista->prox, x);
5 }
```

Exercício — Busca e Remoção

Faça uma função que remove a primeira ocorrência (se existir) de um elemento x de uma lista ligada dada.

Solução

```
1 // Exemplo de chamada:
2 // lista = remove(lista, 5);
3 p_no remove(p_no lista, int x) {
4     if (lista == NULL)
5         return NULL;
6     if (lista->dado == x) {
7         p_no proximo = lista->prox;
8         free(lista);
9         return proximo;
10    }
11    lista->prox = remove(lista->prox, x);
12    return lista;
13 }
```

Exercício

Faça uma função que remove todas as ocorrências de um elemento **x** de uma lista ligada dada.

Solução

```
1 // Exemplo de chamada:
2 // lista = remove(lista, 5);
3 p_no remove_todos(p_no lista, int x) {
4     if (lista == NULL)
5         return NULL;
6     lista->prox = remove(lista->prox, x);
7     if (lista->dado == x) {
8         p_no proximo = lista->prox;
9         free(lista);
10        return proximo;
11    }
12    return lista;
13 }
```

Dúvidas?