

Algoritmos e estruturas de Dados

Listas encadeadas

Lista

É uma **sequência de elementos**, geralmente do mesmo tipo: L_1, L_2, \dots, L_N

Uma lista vazia é uma lista com zero elementos

Operações comuns:

- criar uma lista vazia
- adicionar/remover um elemento a uma lista
- determinar a posição de um elemento na lista
- determinar o comprimento (n° de elementos) de uma lista
- concatenar duas listas

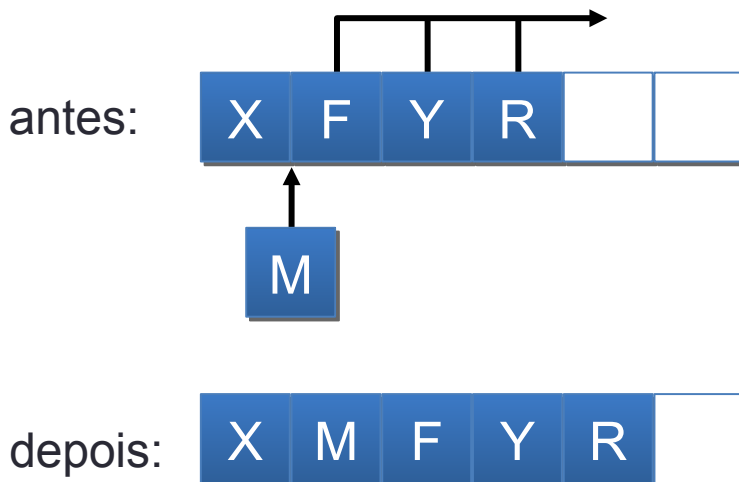
Técnicas de Implementação de Listas

- Baseada em vetores
- Baseada em apontadores:
 - Listas encadeadas
 - Listas circulares
 - Listas duplamente encadeadas

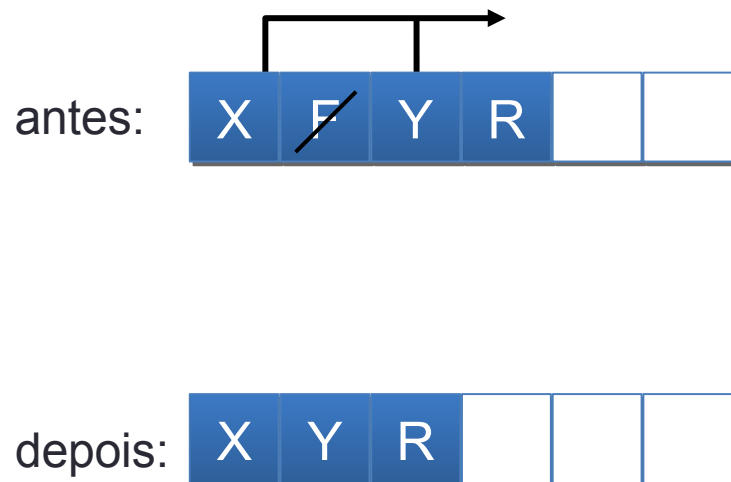
Implementação baseada em Vetores

Os elementos da lista são guardados num **vetor dinâmico**. O vetor é uma estrutura de dados com alocação dinâmica de memória para armazenar N elementos de um dado tipo. O tamanho do vetor exige monitoramento constante. Os itens da lista são armazenados em **posições contíguas** de memória

Inserção de M:



Remoção de F:



Implementação baseada em Vetores

```
typedef struct{
    int *elem;
    int tamanho;
}vetor;

void insere_elem(vetor *lista,int val)
{
    lista->tamanho++;
    lista->elem = (realloc(
        lista->elem,lista->tamanho*sizeof(int));
    lista->elem[lista->tamanho-1] = val;
}

vetor cria_lista()
{
    vetor lista;
    lista.elem = malloc(0);
    lista.tamanho = 0;
    return lista;
}
```

```
int main()
{
    int i;

    printf("Inicio do Programa\n\n");
    vetor lista = cria_lista();

    for(i=10;i>0;i--)
        insere_elem(&lista, i);

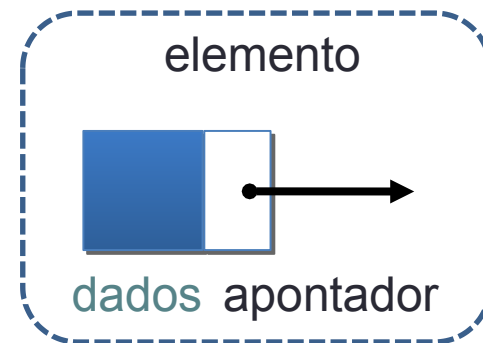
    printf("Tamanho vetor:%d\n\n",
        lista.tamanho);

    for(i=0;i<10;i++)
        printf("Lista.elem[%i] = %d\n", i,
            lista.elem[i]);

    printf("\n\nFim do Programa\n\n");
}
```

Lista Ligada ou Encadeada

É uma estrutura de dados linear que consiste numa sequência de elementos, em que cada **elemento** inclui um (ou mais) campo(s) com **dados** e um **ponteiro**. O tamanho da lista é facilmente alterado por alocação dinâmica.

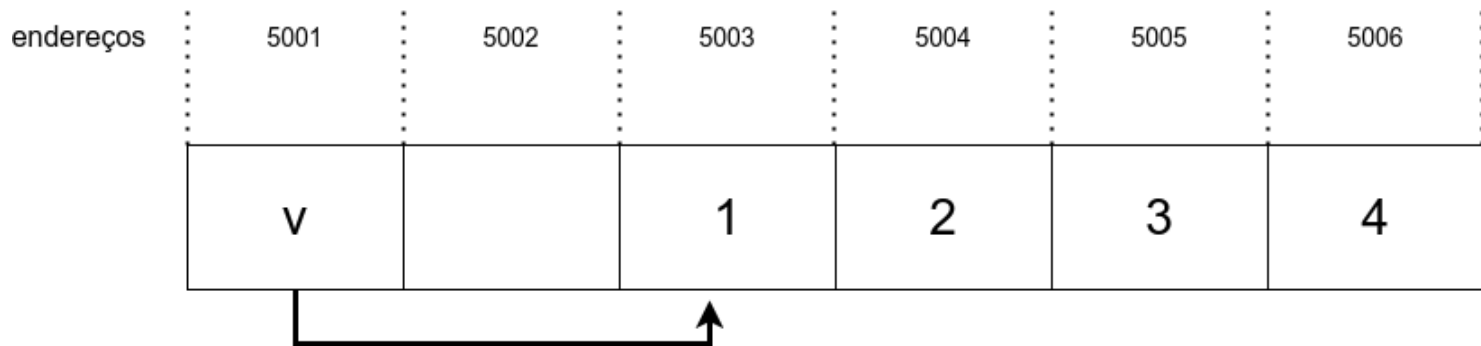


- A alocação de **memória não é contígua**.
- Os **dados** podem ser de **qualquer tipo** e, em geral, os elementos da lista ligada são todos do mesmo tipo de dados.
- Cada elemento inclui um **ponteiro** para o endereço de memória do **próximo elemento** da lista.
- O ponteiro do **último elemento** da lista aponta para **NULL**.
- A lista é acessível através de um apontador “externo”, ou **raíz**, que contém o endereço do primeiro elemento da lista.

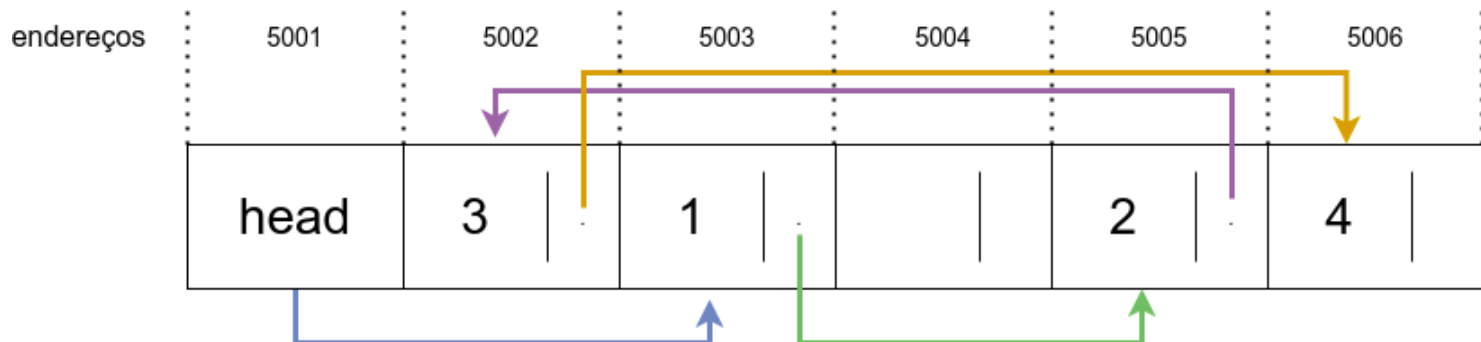
Alocação Contígua x Não Contígua

Lista = [1,2,3,4]

Alocação contígua

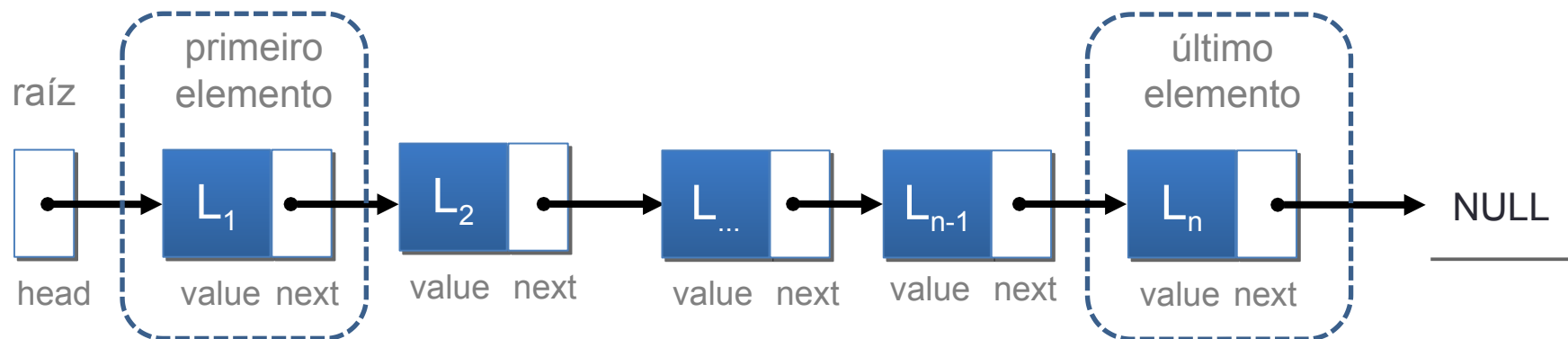


Alocação não contígua

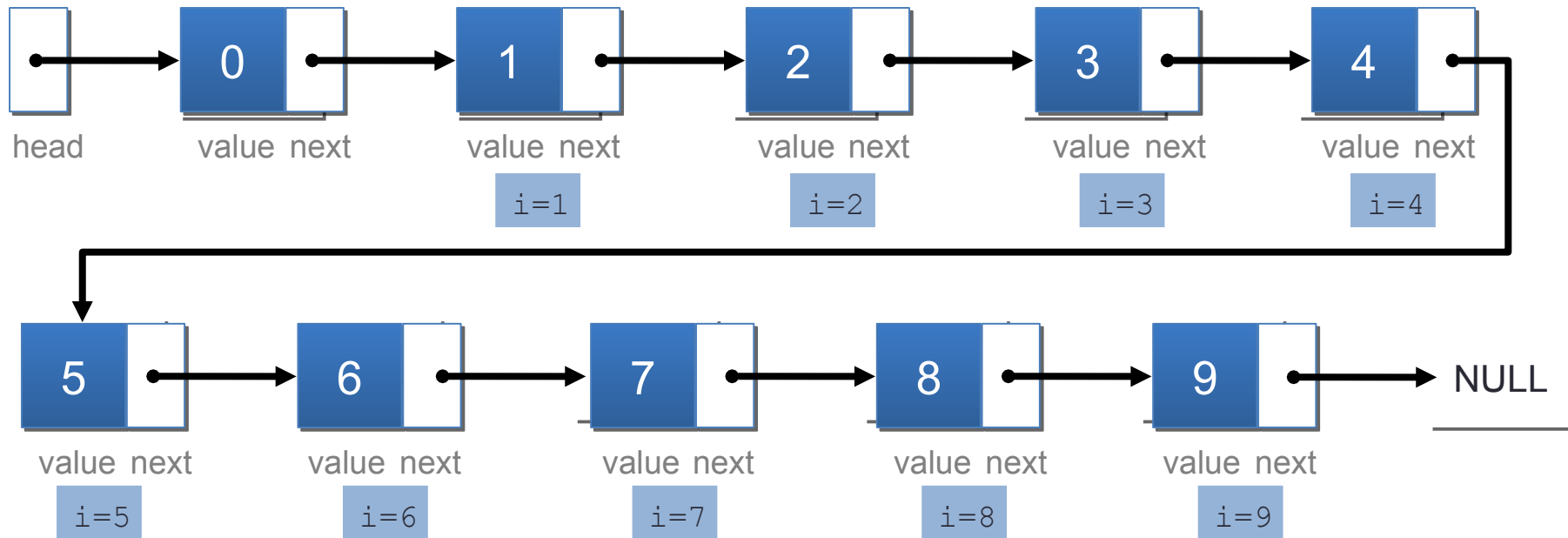


Lista Encadeada

```
typedef struct listItem {  
    data_type value;           // valor do elemento da lista  
    struct listItem *next;    // apontador para o próximo elemento  
} ListItem;  
  
ListItem* head = NULL; // apontador para o início da lista (raíz)
```



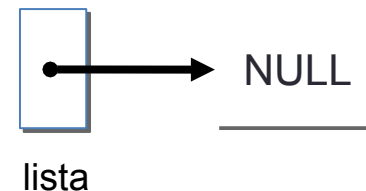
Lista Encadeada (Exemplo)



Lista Encadeada — exemplo : criação de lista

```
typedef struct listItem {  
    int value; // valor do elemento da lista  
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento  
} ListItem;  
  
//criação de uma lista vazia  
ListItem* cria_lista(){  
    return NULL;  
}
```

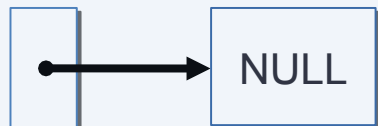
```
int main(){  
    ListItem* lista = cria_lista();  
}
```



Uma lista vazia consiste em um ponteiro para um elemento da lista que aponta para *null* (ou seja, não aponta para elemento algum)

Lista Encadeada – exemplo : inserção no início (slide 1)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista()
    lista = insere_no_inicio(lista,5);
}
```



lista

```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;
```

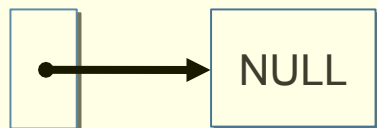
```
ListItem* insere_no_inicio(ListItem *head, int dado){
    ListItem* item = malloc(sizeof(ListItem));
```

Aloca memória para armazenar um elemento do tipo ListItem

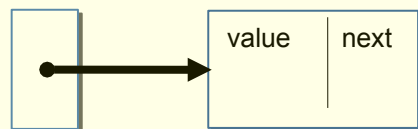
O ponteiro `item` aponta para a porção de memória alocada.

Esta porção de memória armazenará o novo elemento.

A porção de memória alocada não está na lista



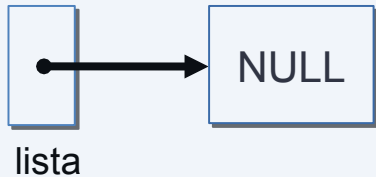
head



item

Lista Encadeada – exemplo : inserção no início (slide 2)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista()
    lista = insere_no_inicio(lista,5);
}
```



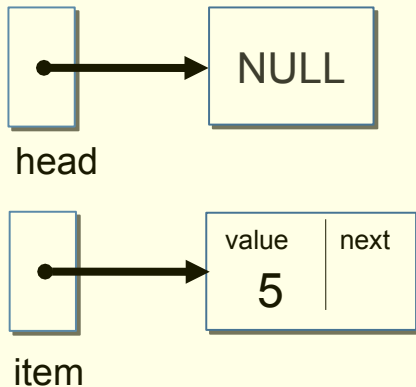
```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;
```

```
ListItem* insere_no_inicio(ListItem *head, int dado){
    ListItem* item = malloc(sizeof(ListItem));
    item->value = dado;
```

Atribuição de valores à porção de memória alocada.

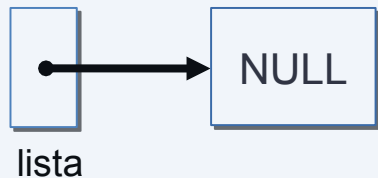
A porção de memória alocada ainda não pertence à lista.

```
}
```



Lista Encadeada – exemplo : inserção no início (slide 3)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista();
    lista = insere_no_inicio(lista,5);
}
```

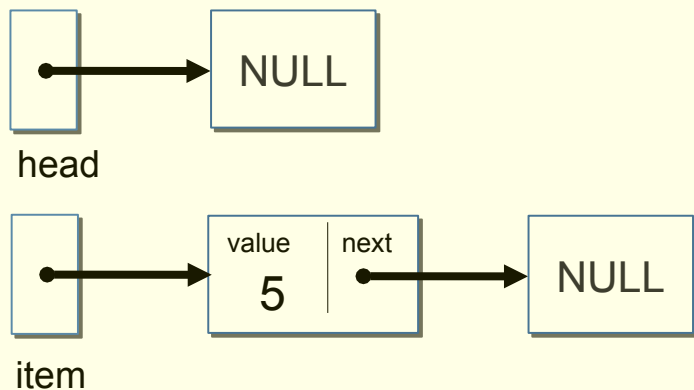


```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;
```

```
ListItem* insere_no_inicio(ListItem *head, int dado){
    ListItem* item = malloc(sizeof(ListItem));
    item->value = dado;
    item->next = head;
```

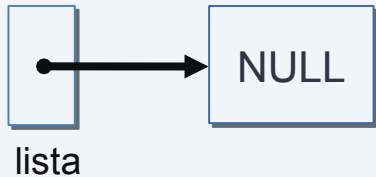
O campo `next` do novo item aponta para a mesma porção de memória que `head` aponta.

A porção de memória alocada ainda não pertence à lista



Lista Encadeada — exemplo : inserção no início (slide 4)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista();
    lista = insere_no_inicio(lista,5);
}
```

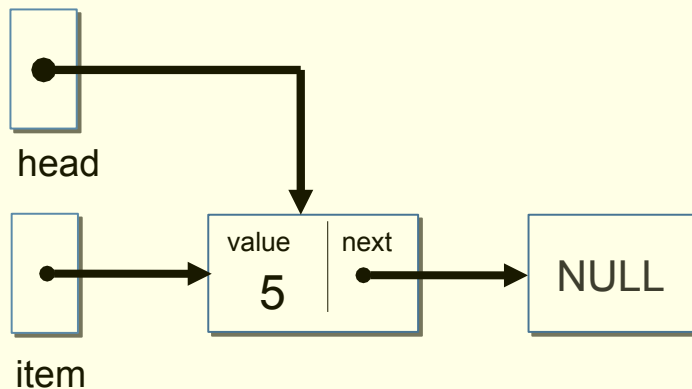


```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;
```

```
ListItem* insere_no_inicio(ListItem *head, int dado){
    ListItem* item = malloc(sizeof(ListItem));
    item->value = dado;
    item->next = head;
    head = item;
}
```

A porção de memória alocada
ainda não pertence à lista

A cabeça da lista aponta para o
novo item, que passa a ser o
primeiro elemento da lista..



Lista Encadeada – exemplo : inserção no início (slide 5)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista();
    lista = insere_no_inicio(lista,5);
}
```

```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;
```

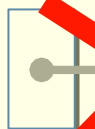
```
ListItem* insere_no_inicio(ListItem *head, int dado){
    ListItem* item = malloc(sizeof(ListItem));
    item->value = dado;
    item->next = head;
    head = item;
```

```
    return head;
```

A função retorna um ponteiro para o início da lista



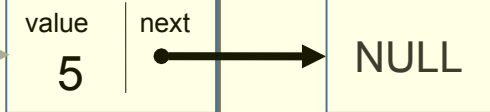
lista



head



item



As variáveis head e item são alocadas automaticamente no escopo da função insere_no_inicio e, por isso, são liberadas quando a função é finalizada.

Lista Encadeada — exemplo : inserção no início (slide 6)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista();
    lista = insere_no_inicio(lista,5);
}
```

```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;
```

```
ListItem* insere_no_inicio(ListItem *head, int dado){
    ListItem* item = malloc(sizeof(ListItem));
    item->value = dado;
    item->next = head;
    head = item;

    return head;
}
```



lista

Estado da lista após a inserção.



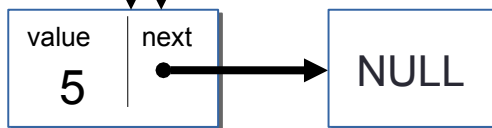
Lista Encadeada – exemplo : inserção no início (slide 7)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista();
    lista = insere_no_inicio(lista,5);
    lista = insere_no_inicio(lista,4);
}
```

Inserção de um novo elemento na lista



lista



```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;
```

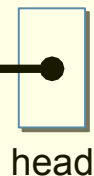
```
ListItem* insere_no_inicio(ListItem *head, int dado){
    ListItem* item = malloc(sizeof(ListItem));
    item->value = dado;
    item->next = head;
    head = item;

    return head;
}
```

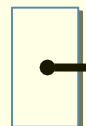
Aloca memória para armazenar um elemento do tipo ListItem

O ponteiro item aponta para a porção de memória alocada

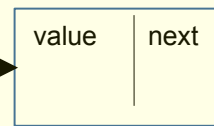
A porção de memória alocada não está na lista



head



item

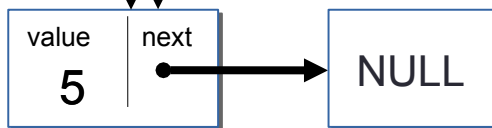


Lista Encadeada – exemplo : inserção no início (slide 8)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista();
    lista = insere_no_inicio(lista,5);
    lista = insere_no_inicio(lista,4);
}
```



lista



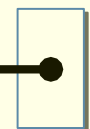
```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;
```

```
ListItem* insere_no_inicio(ListItem *head, int dado){
    ListItem* item = malloc(sizeof(ListItem));
    item->value = dado;
    item->next = head;
    head = item;

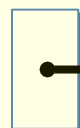
    return head;
}
```

Atribuição de valores à porção de memória alocada.

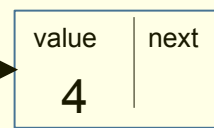
A porção de memória alocada ainda não pertence à lista.



head



item



Lista Encadeada — exemplo : inserção no início (slide 9)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista();
    lista = insere_no_inicio(lista,5);
    lista = insere_no_inicio(lista,4);
}
```

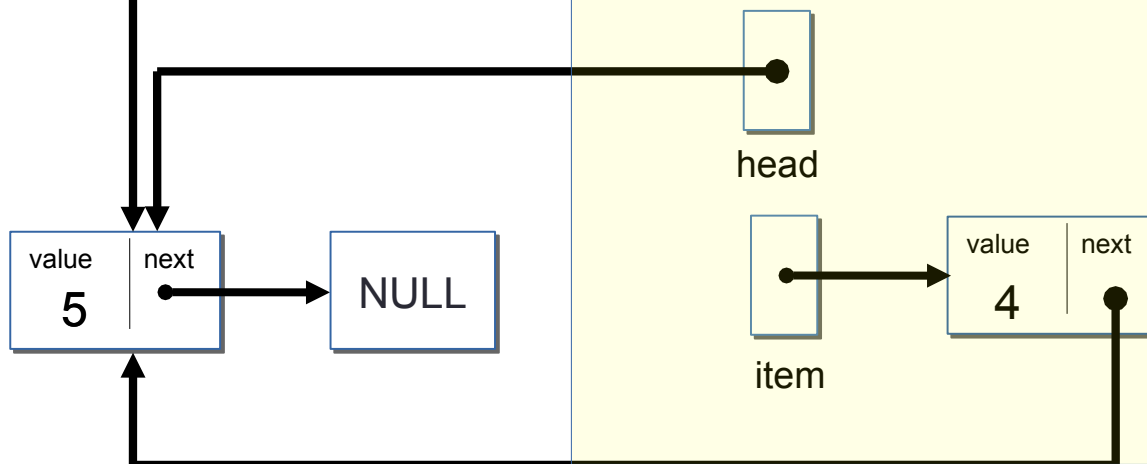
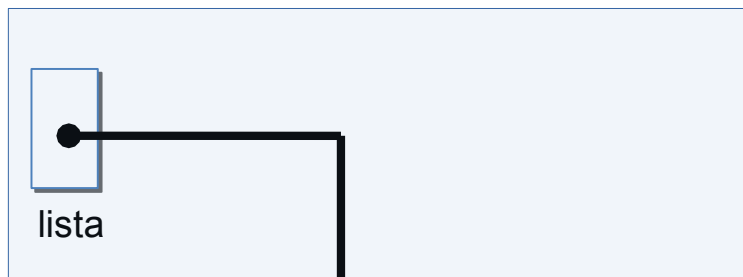
```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;
```

```
ListItem* insere_no_inicio(ListItem *head, int dado){
    ListItem* item = malloc(sizeof(ListItem));
    item->value = dado;
    item->next = head;
    head = item;

    return head;
}
```

O campo `next` do novo item aponta para a mesma porção de memória que `head` aponta.

A porção de memória alocada ainda não pertence à lista



Lista Encadeada – exemplo : inserção no início (slide 10)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista();
    lista = insere_no_inicio(lista,5);
    lista = insere_no_inicio(lista,4);
}
```



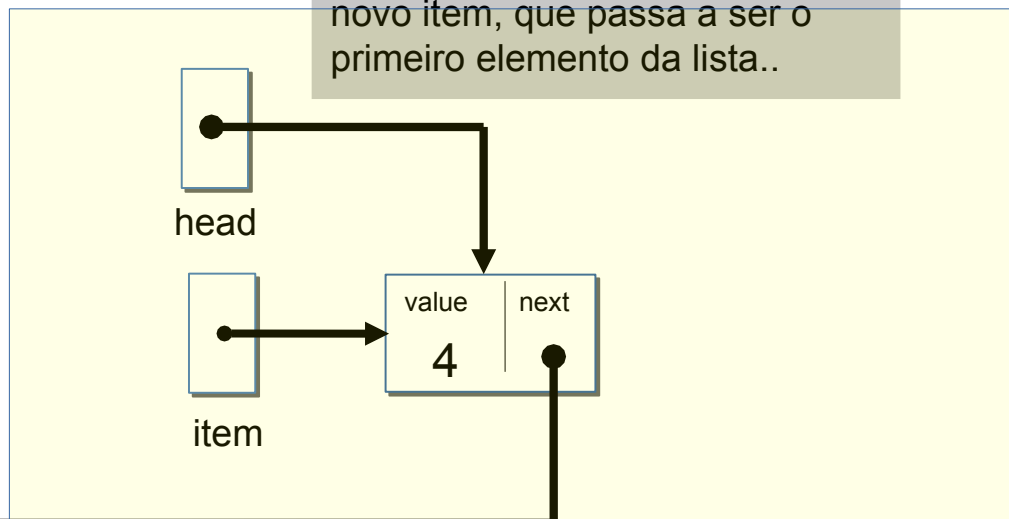
```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;
```

```
ListItem* insere_no_inicio(ListItem *head, int dado){
    ListItem* item = malloc(sizeof(ListItem));
    item->value = dado;
    item->next = head;
    head = item;

    return head;
}
```

A porção de memória alocada ainda não pertence à lista

A cabeça da lista aponta para o novo item, que passa a ser o primeiro elemento da lista..



Lista Encadeada – exemplo : inserção no início (slide 11)

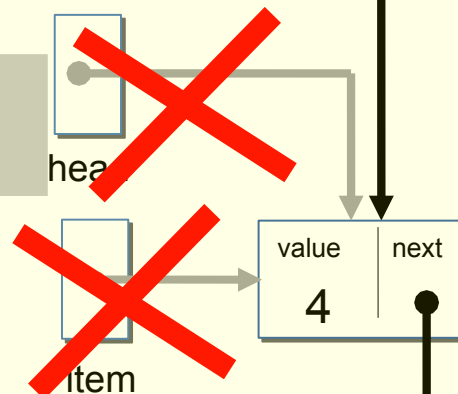
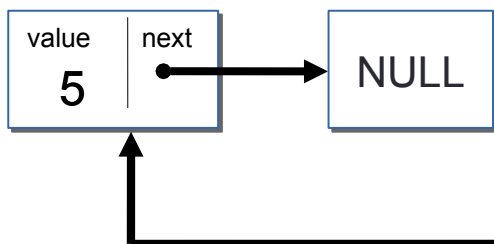
```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista();
    lista = insere_no_inicio(lista,5);
    lista = insere_no_inicio(lista,4);
}
```

```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;
```

```
ListItem* insere_no_inicio(ListItem *head, int dado){
    ListItem* item = malloc(sizeof(ListItem));
    item->value = dado;
    item->next = head;
    head = item;
}
```

A função retorna um ponteiro para o início da lista

As variáveis `head` e `item` são alocadas automaticamente no escopo da função `insere_no_inicio` e, por isso, são liberadas quando a função é finalizada.



Lista Encadeada — exemplo : inserção no início (slide 12)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista()
    lista = insere_no_inicio(lista,5);
    lista = insere_no_inicio(lista,4);
}
```

```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;
```

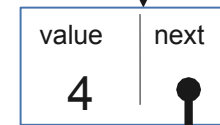
```
ListItem* insere_no_inicio(ListItem *head, int dado){
    ListItem* item = malloc(sizeof(ListItem));
    item->value = dado;
    item->next = head;
    head = item;

    return head;
}
```

Estado da lista após a inserção: [4,5]



lista

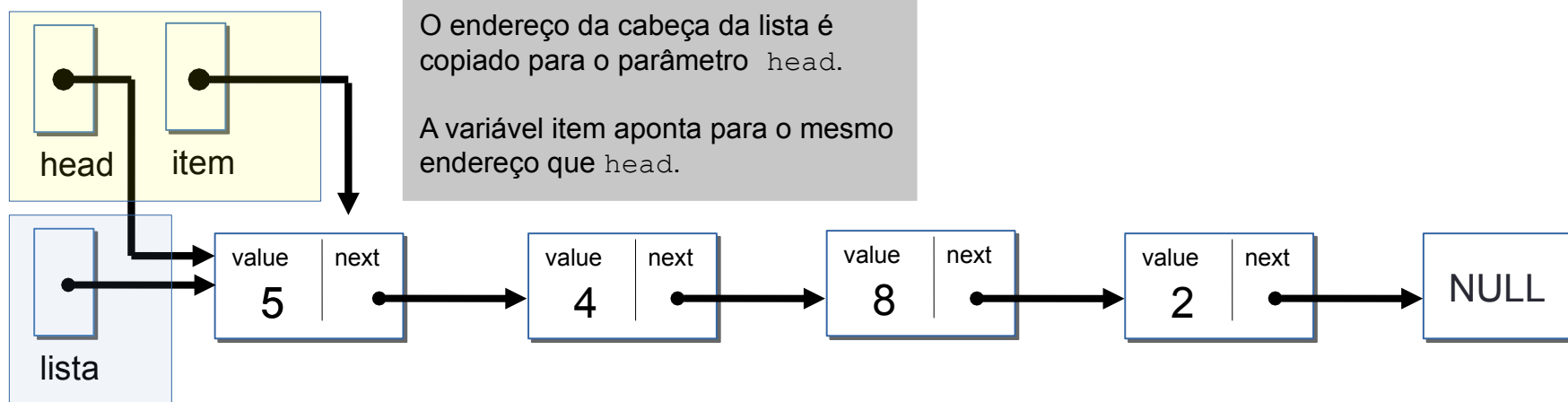


Lista Encadeada – exemplo : iteração sobre a lista (slide 1)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista()
    ...
    ...
    print(lista);
}
```

```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;

void print(ListItem *head){
    ListItem* item = head;
    while(item!=NULL){
        printf("%d\n", item->value);
        item = item->next;
    }
}
```



Lista Encadeada – exemplo : iteração sobre a lista (slide 2)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista()
    ...
    ...
    print(lista);
}
```

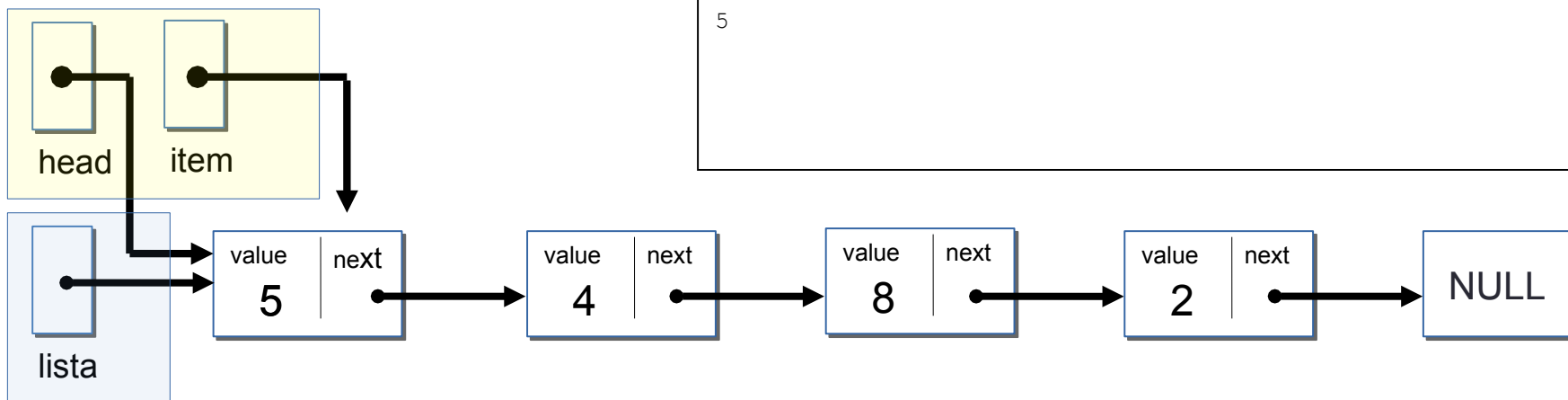
```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;

void print(ListItem *head){
    ListItem* item = head;
    while(item!=NULL){
        printf("%d\n",item->value);
        item = item->next;
    }
}
```

Imprime o campo `value` armazenado na porção de memória para onde `item` aponta.

Saída:

5



Lista Encadeada — exemplo : iteração sobre a lista (slide 2)

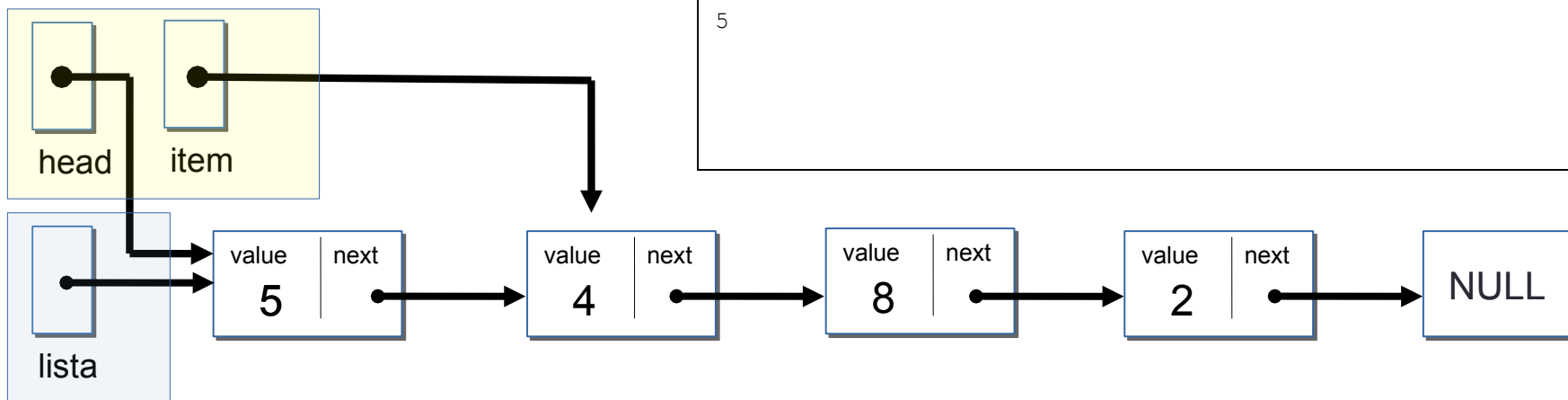
```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista()
    ...
    ...
    print(lista);
}
```

```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;

void print(ListItem *head) {

    while(item!=NULL){
        printf("%d\n", item->value);
        item = item->next;
    }
}
```

O ponteiro `item` passa a apontar para o próximo elemento.



Saída:

5

Lista Encadeada – exemplo : iteração sobre a lista (slide 2)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista()
    ...
    ...
    print(lista);
}
```

```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;

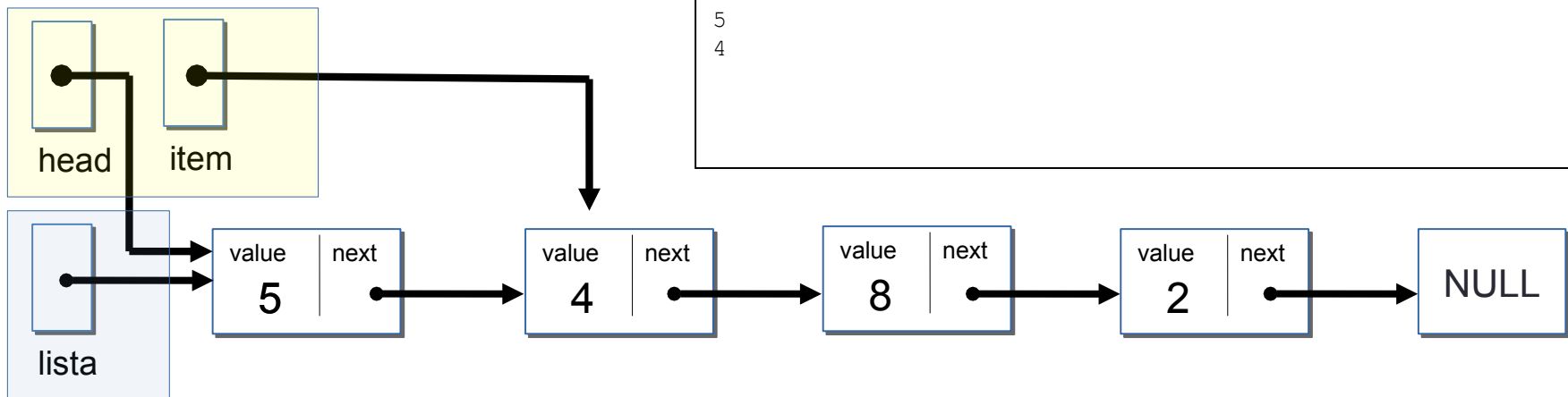
void print(ListItem *head) {

    while(item!=NULL){
        printf("%d\n",item->value);
        item = item->next;
    }
}
```

Imprime o campo `value` armazenado na porção de memória para onde `item` aponta.

Saída:

5
4



Lista Encadeada — exemplo : iteração sobre a lista (slide 2)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista()
    ...
    ...
    print(lista);
}
```

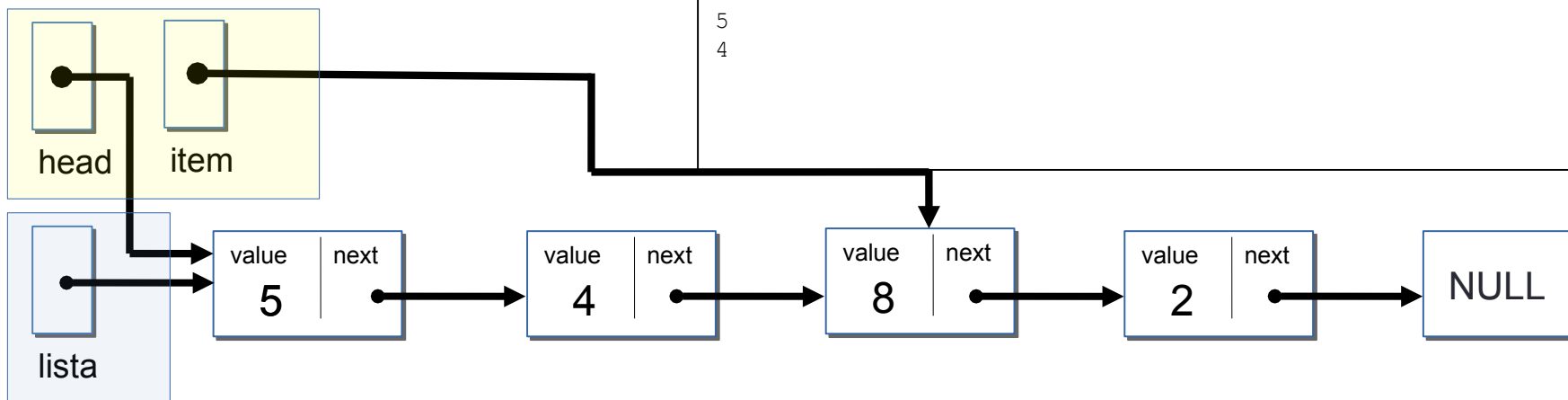
```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;

void print(ListItem *head) {

    while(item!=NULL){
        printf("%d\n", item->value);
        item = item->next;
    }
}
```

O ponteiro `item` passa a apontar para o próximo elemento.

Saída:



Lista Encadeada — exemplo : iteração sobre a lista (slide 2)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista()
    ...
    ...
    print(lista);
}
```

```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;

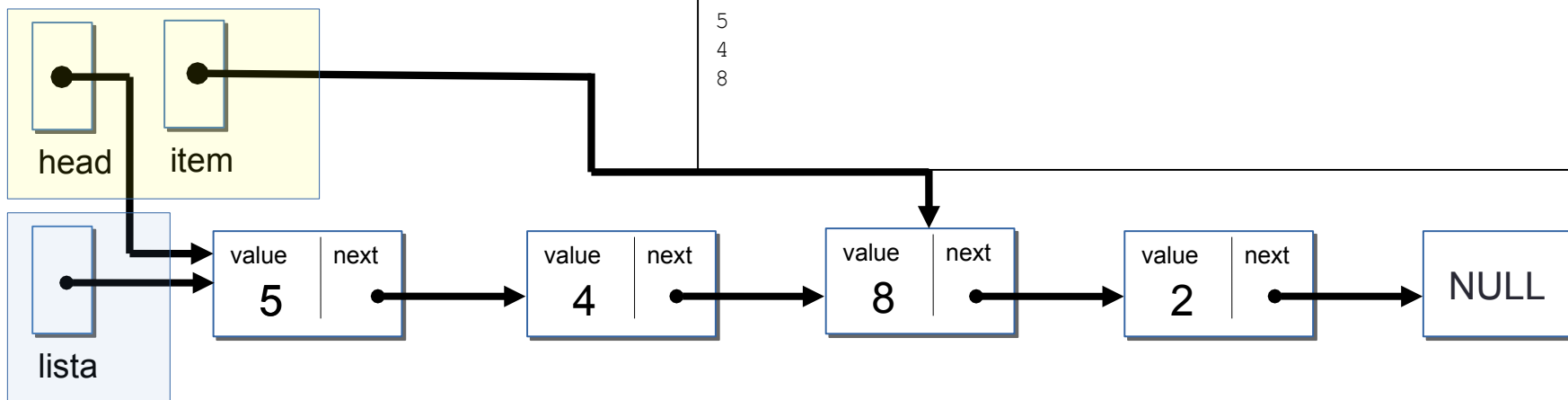
void print(ListItem *head) {

    while(item!=NULL){
        printf("%d\n",item->value);
        item = item->next;
    }
}
```

O ponteiro `item` passa a apontar para o próximo elemento.

Saída:

5
4
8



Lista Encadeada — exemplo : iteração sobre a lista (slide 2)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista()
    ...
    ...
    print(lista);
}
```

```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;

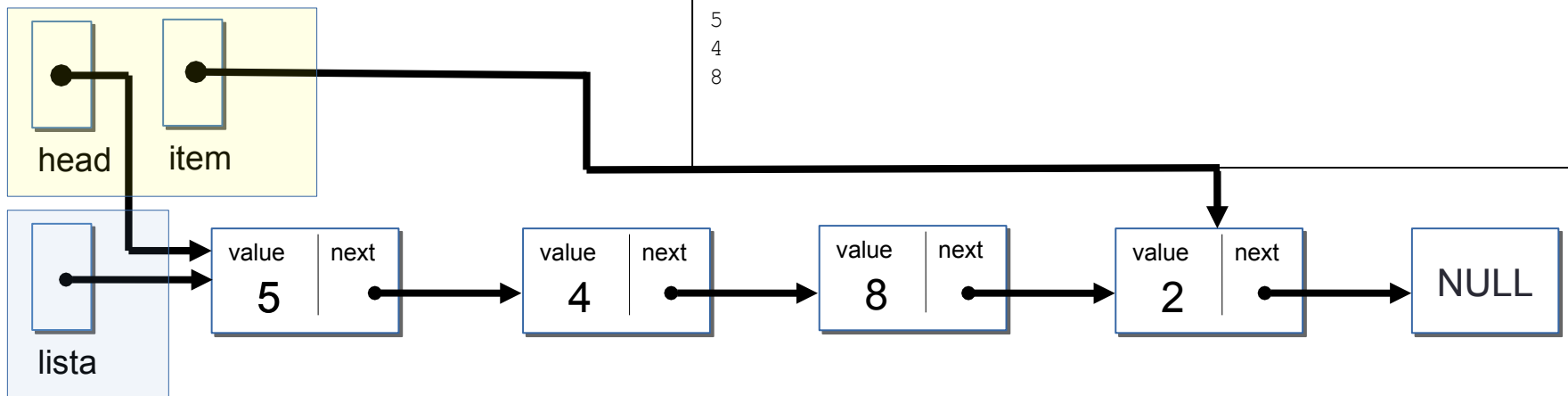
void print(ListItem *head) {

    while(item!=NULL){
        printf("%d\n", item->value);
        item = item->next;
    }
}
```

O ponteiro `item` passa a apontar para o próximo elemento.

Saída:

5
4
8



Lista Encadeada — exemplo : iteração sobre a lista (slide 2)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista()
    ...
    ...
    print(lista);
}
```

```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;

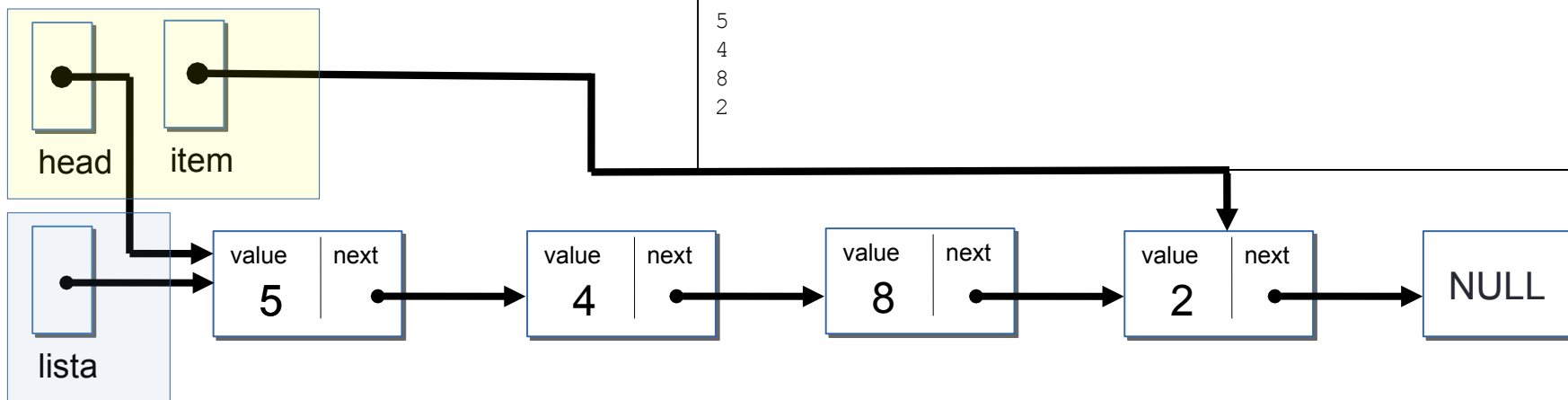
void print(ListItem *head) {

    while(item!=NULL){
        printf("%d\n",item->value);
        item = item->next;
    }
}
```

O ponteiro `item` passa a apontar para o próximo elemento.

Saída:

5
4
8
2



Lista Encadeada — exemplo : iteração sobre a lista (slide 2)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista()
    ...
    ...
    print(lista);
}
```

```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;

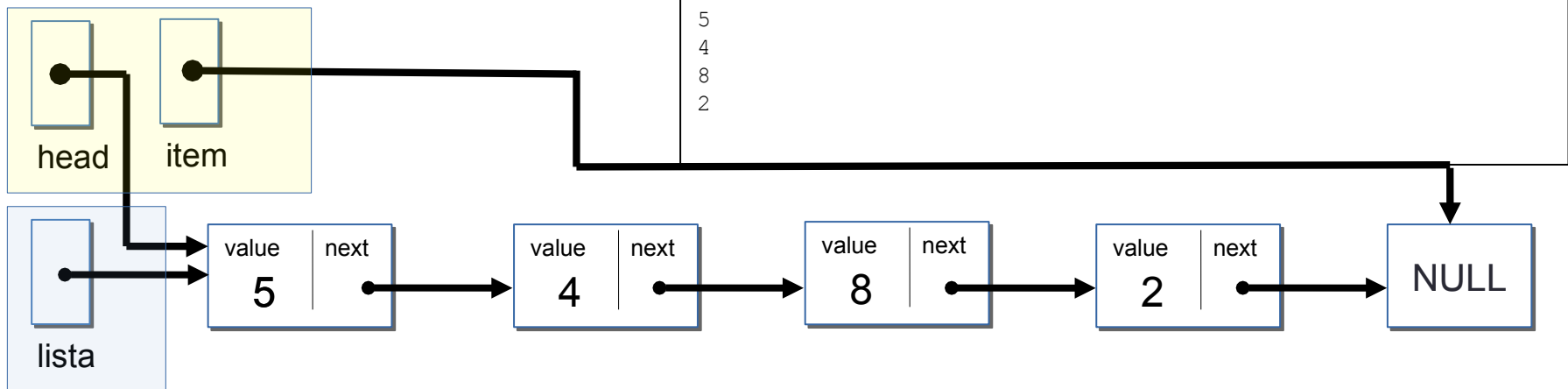
void print(ListItem *head) {

    while(item!=NULL){
        printf("%d\n", item->value);
        item = item->next;
    }
}
```

O ponteiro `item` passa a apontar para o próximo elemento.

Saída:

5
4
8
2



Lista Encadeada — exemplo : iteração sobre a lista (slide 2)

```
int main(){
    ListItem* lista = cria_lista()
    ...
    ...
    print(lista);
}
```

```
typedef struct listItem {
    int value; // valor do elemento da lista
    struct listItem *next; // ponteiro para o próximo elemento
} ListItem;

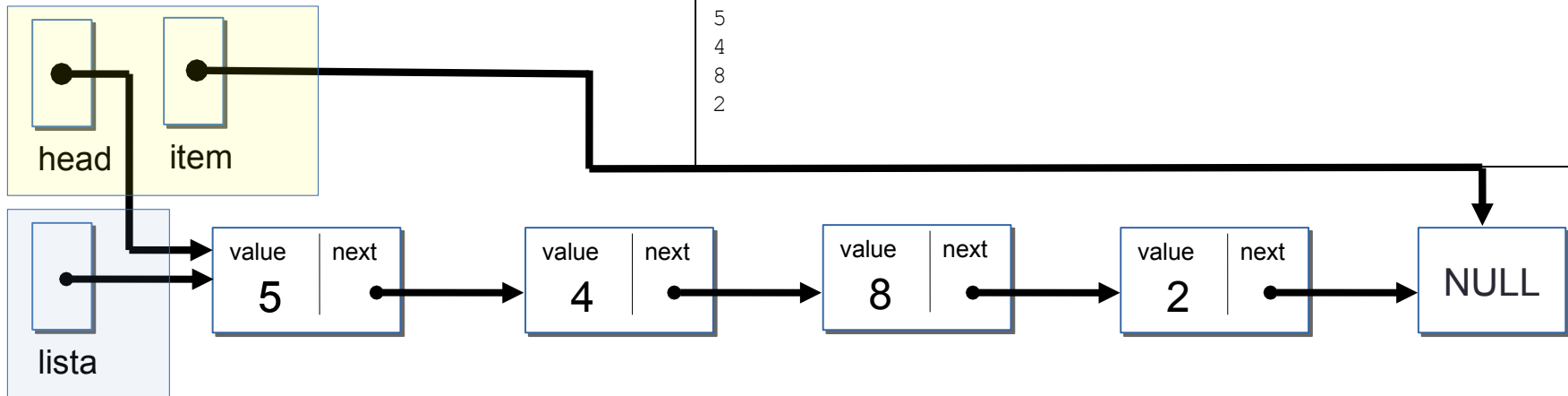
void print(ListItem *head) {

    while(item!=NULL){
        printf("%d\n", item->value);
        item = item->next;
    }
}
```

Continua a iteração até item apontar para NULL

Saída:

5
4
8
2



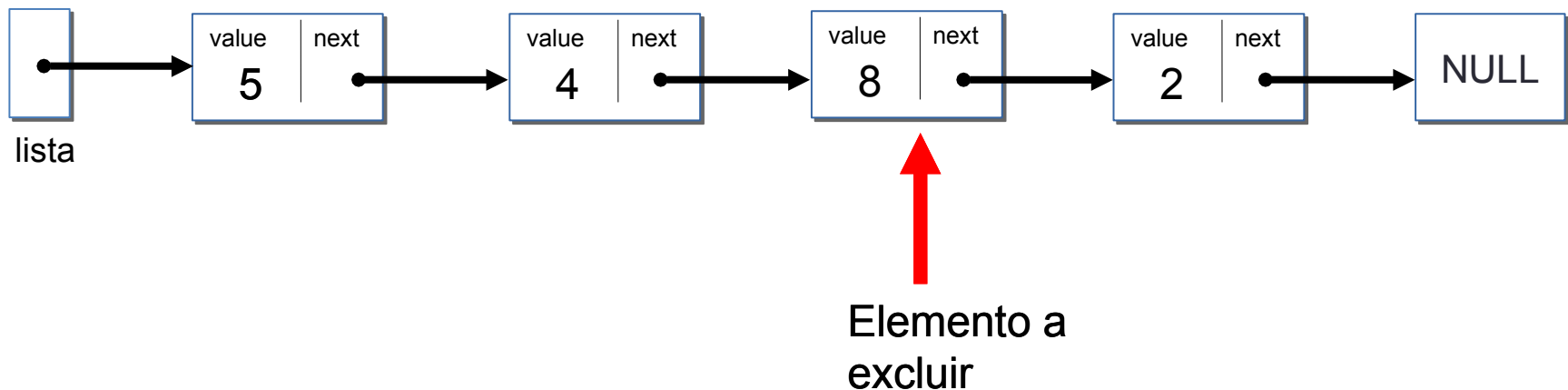
Lista Encadeada — exemplo : remoção de elementos da lista (slide 1)

A remoção de elementos em listas encadeadas segue o mesmo princípio da inserção:

Deve-se ajustar os ponteiros dos elementos para que o elemento a ser removido não faça mais parte da lista.

Exemplo – exclusão do 3º elemento da lista:

Passo 1: encontrar o elemento a ser excluído (usando a estratégia de iteração sobre a lista)



Lista Encadeada — exemplo : remoção de elementos da lista (slide 1)

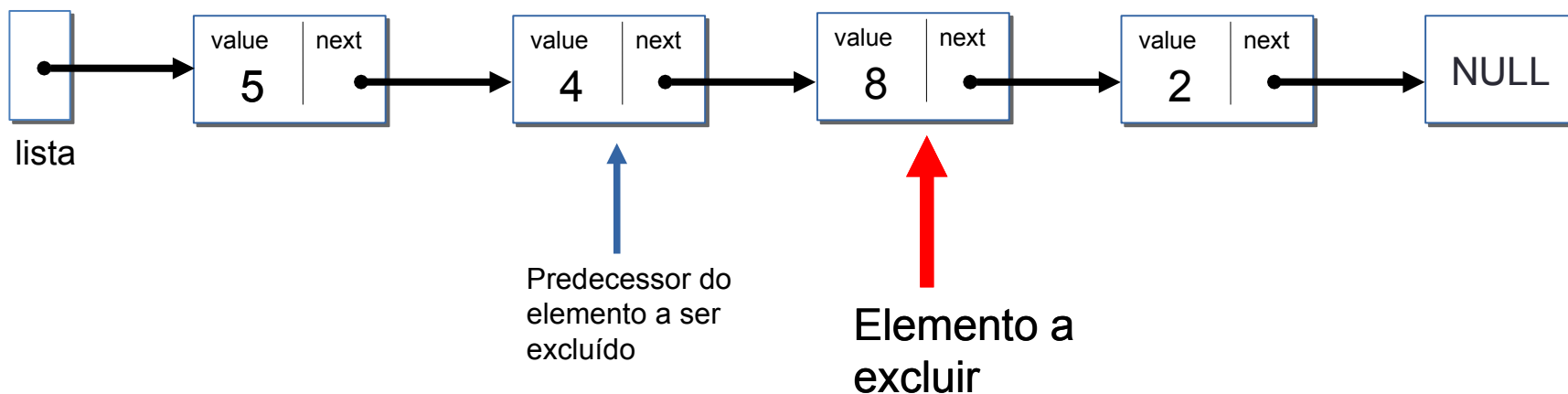
A remoção de elementos em listas encadeadas segue o mesmo princípio da inserção:

Deve-se ajustar os ponteiros dos elementos para que o elemento a ser removido não faça mais parte da lista.

Exemplo – exclusão do 3º elemento da lista:

Passo 1: encontrar o elemento a ser excluído (usando a estratégia de iteração sobre a lista)

Passo 2: encontrar o predecessor do elemento a ser excluído



Lista Encadeada — exemplo : remoção de elementos da lista (slide 1)

A remoção de elementos em listas encadeadas segue o mesmo princípio da inserção:

Deve-se ajustar os ponteiros dos elementos para que o elemento a ser removido não faça mais parte da lista.

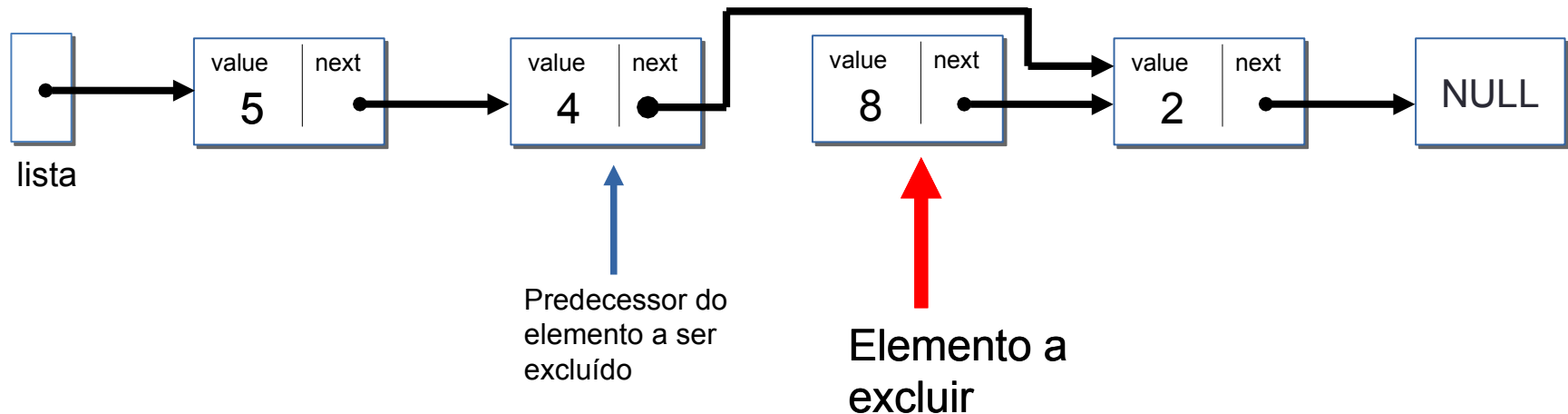
Exemplo – exclusão do 3º elemento da lista:

Passo 1: encontrar o elemento a ser excluído (usando a estratégia de iteração sobre a lista)

Passo 2: encontrar o predecessor do elemento a ser excluído

Passo 3: fazer o predecessor apontar para o sucessor do elemento a ser excluído

observações: - o elemento a ser excluído já não faz mais parte da lista
o elemento a ser excluído continua apontando para o seu sucessor



Lista Encadeada — exemplo : remoção de elementos da lista (slide 1)

A remoção de elementos em listas encadeadas segue o mesmo princípio da inserção:

Deve-se ajustar os ponteiros dos elementos para que o elemento a ser removido não faça mais parte da lista.

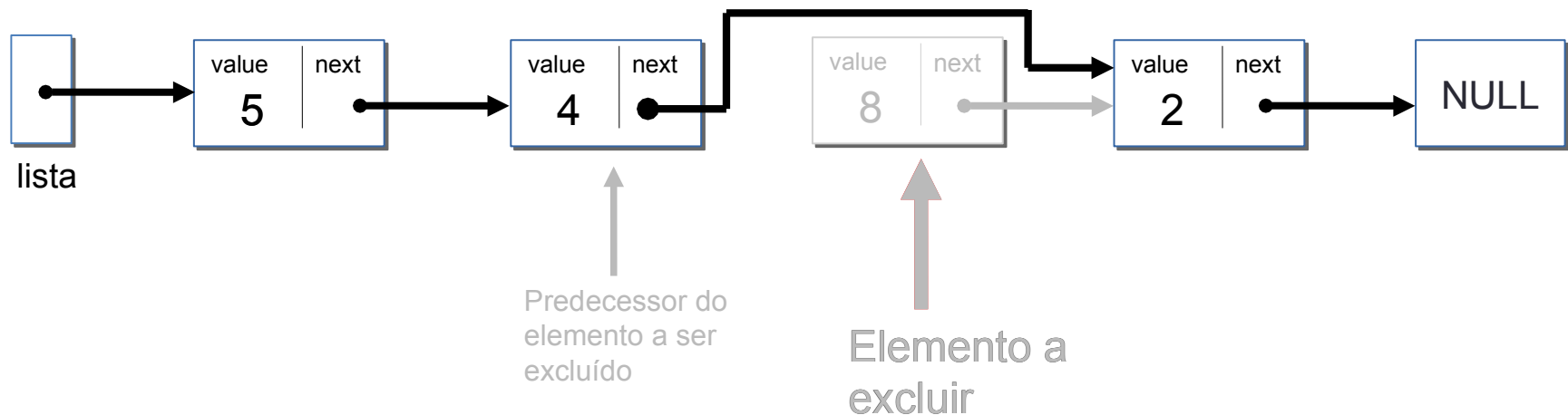
Exemplo – exclusão do 3º elemento da lista:

Passo 1: encontrar o elemento a ser excluído (usando a estratégia de iteração sobre a lista)

Passo 2: encontrar o predecessor do elemento a ser excluído

Passo 3: fazer o predecessor apontar para o sucessor do elemento a ser excluído

Passo 4: liberar a memória do elemento excluído (em linguagem C, usar a função *free*)



Vetor vs. Lista Encadeada

Implementação baseada em Vetores (desvantagens)

- Para inserir ou eliminar um elemento no vetor poderá ser necessário:
 - mover outros elementos para posições posteriores ou anteriores (no pior caso, todos os elementos!)
 - re-alocar memória, quando a capacidade atual do vetor é excedida; ou diminuir o tamanho do vetor, quando se eliminam muitos elementos, evitando ocupação desnecessária de memória

Vetor vs. Lista Encadeada

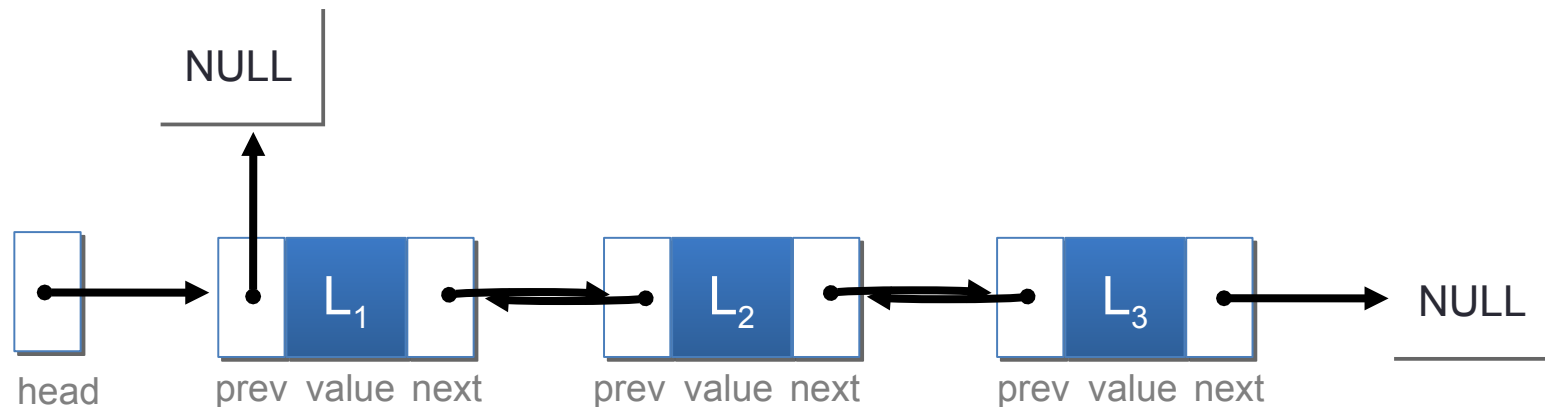
Implementação baseada em Lista Encadeada(desvantagens)

- Não é possível acessar posições aleatórias da lista através do uso de índices.
- Os elementos requerem mais espaço de memória do que na implementação baseada em vetores porque, para além dos dados, é necessário armazenar a referência do próximo elemento.

Lista Duplamente Encadeada

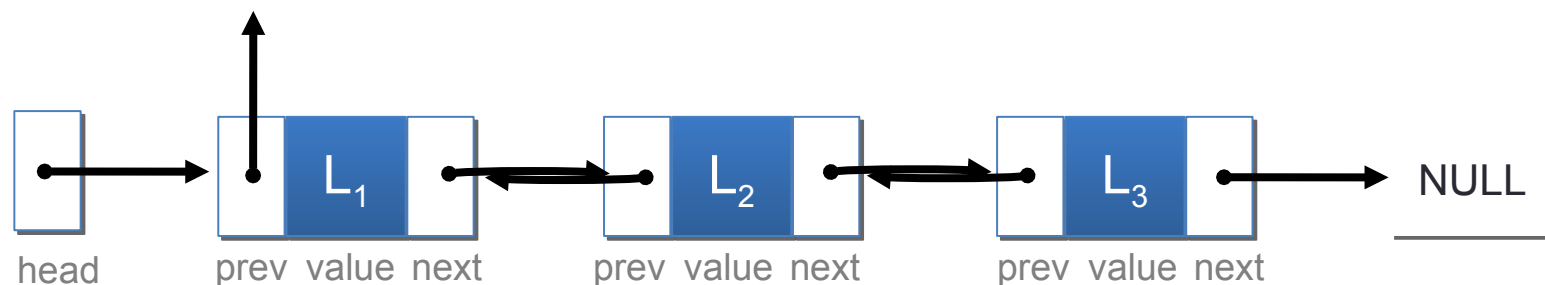
Uma **lista duplamente encadeada** é um tipo especial de lista, em que cada elemento inclui dois apontadores, um para o elemento anterior e outro para o elemento seguinte da lista.

Estas listas são úteis em aplicações em que há necessidade de percorrer a lista em ambos os sentidos.



Lista Duplamente Encadeada

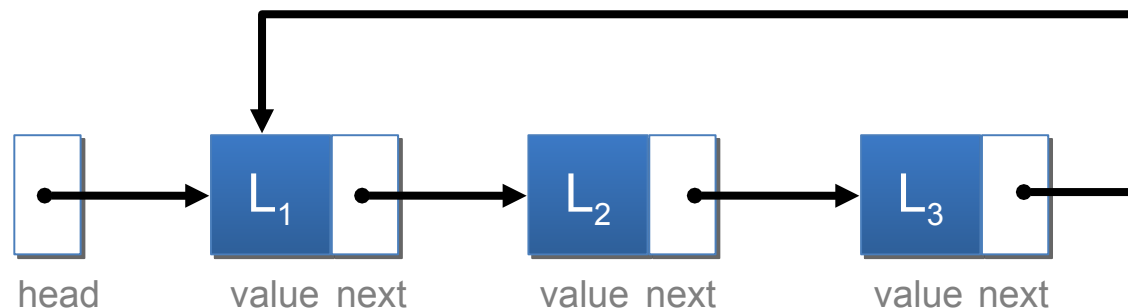
```
struct listItem {  
    data_type value;           /* valor do elemento da lista */  
    struct listItem *prev;    /* apontador para o elemento anterior */  
    struct listItem *next;    /* apontador para o próximo elemento */  
};  
  
struct listItem* head = NULL; /*apontador para o início da lista (raiz) */  
                             /* pode também definir-se um apontador  
                             para o fim da lista */
```



Listas Circulares

Uma **lista circular** é um tipo especial de lista encadeada, em que o último elemento referencia o primeiro elemento da lista.

Estas listas são úteis em aplicações em que há necessidade de percorrer a lista em modo “loop”, dado que permitem percorrer a lista do fim para o início.



Listas Circulares

```
struct listItem {  
    data_type value;           /* valor do elemento da lista */  
    struct listItem *next;    /* apontador para o próximo elemento */  
};  
  
struct listItem* head = NULL; /* apontador para o início da lista (raíz)*/  
                             /* pode também definir-se um apontador para o  
                             fim da lista */
```

