

INF1007 – Programação 2

Tema 8 – Listas Encadeadas



Tópicos Principais

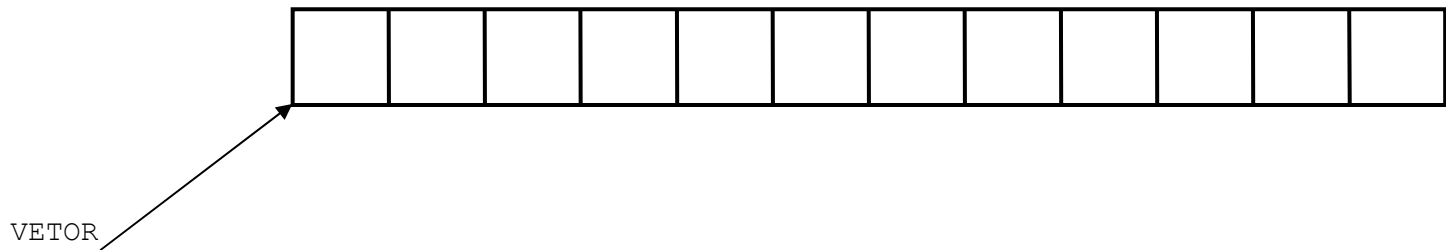
- Motivação
- Listas encadeadas
- Implementações recursivas
- Listas de tipos estruturados

Tópicos Complementares

- Listas circulares
- Listas duplamente encadeadas
- Listas de tipos estruturados

Motivação

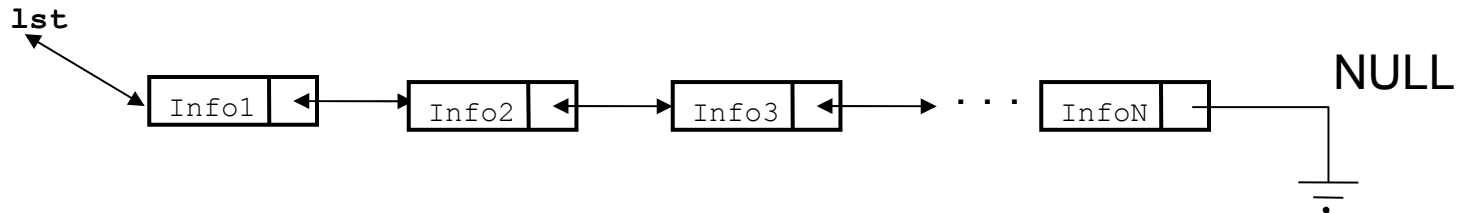
- Vetor
 - ocupa um espaço contíguo de memória
 - permite acesso randômico aos elementos
 - deve ser dimensionado com um número máximo de elementos



Motivação

- Estruturas de dados dinâmicas:
 - crescem (ou decrescem) à medida que elementos são inseridos (ou removidos)
 - Exemplo:
 - listas encadeadas:
 - amplamente usadas para implementar outras estruturas de dados

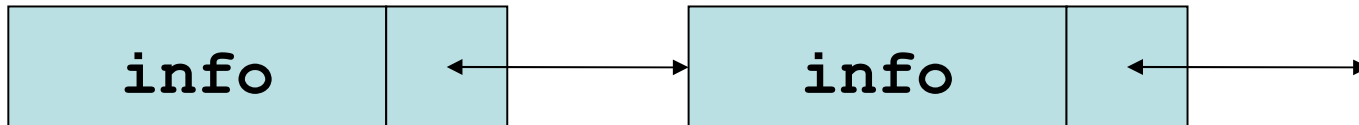
Listas Encadeadas



- Lista encadeada:
 - seqüência encadeada de elementos, chamados de *nós da lista*
 - nó da lista é representado por dois campos:
 - a informação armazenada e
 - o ponteiro para o próximo elemento da lista
 - a lista é representada por um ponteiro para o primeiro nó
 - o ponteiro do último elemento é NULL

Estrutura com ponteiro para ela mesma

```
struct elemento {  
    int info;  
    struct elemento* prox;  
};  
typedef struct elemento Elemento;
```



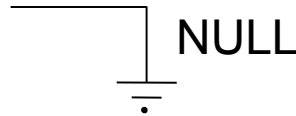
Exemplo: Lista de inteiros

```
struct elemento {  
    int info;  
    struct elemento* prox;  
};  
typedef struct elemento Elemento;
```

- **Lista** é uma estrutura auto-referenciada, pois o campo **prox** é um ponteiro para uma próxima estrutura do mesmo tipo.
- uma lista encadeada é representada pelo ponteiro para seu primeiro elemento, do tipo **Elemento***

Listas Encadeadas de inteiros: Criação

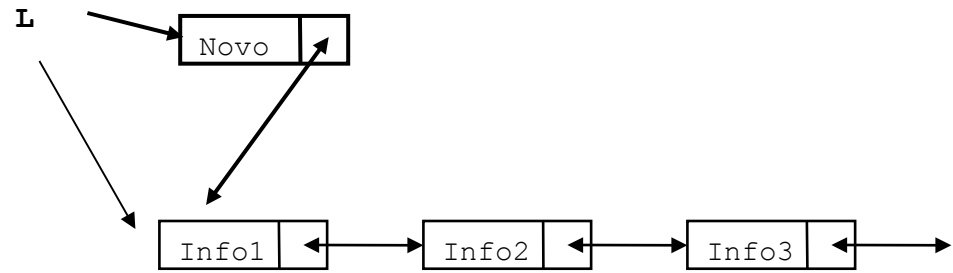
```
/* função de criação: retorna uma lista vazia */  
Elemento* lst_cria (void)  
{  
    return NULL;  
}
```



Cria uma lista vazia, representada pelo ponteiro NULL

Listas encadeadas de inteiros: Inserção

- aloca memória para armazenar o elemento
- encadeia o elemento na lista existente



```
/* inserção no início: retorna a lista atualizada */
Elemento* lst_inserere (Elemento* lst, int val)
{
    Elemento* novo = (Elemento*) malloc(sizeof(Elemento));
    novo->info = val;
    novo->prox = lst;
    return novo;
}
```

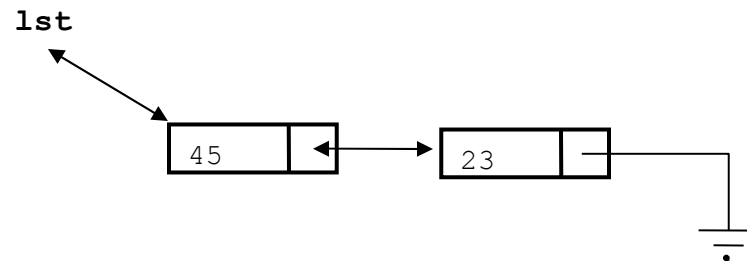
Listas Encadeadas: exemplo

- cria uma lista inicialmente vazia e insere novos elementos

```
int main (void)
{
    Elemento* lst;           /* declara uma lista não inicializada */
    → lst = lst_cria();      /* cria e inicializa lista como vazia */

    → lst = lst_inserere(lst, 23); /* insere na lista o elemento 23 */
    → lst = lst_inserere(lst, 45); /* insere na lista o elemento 45 */
    ...
    return 0;
}
```

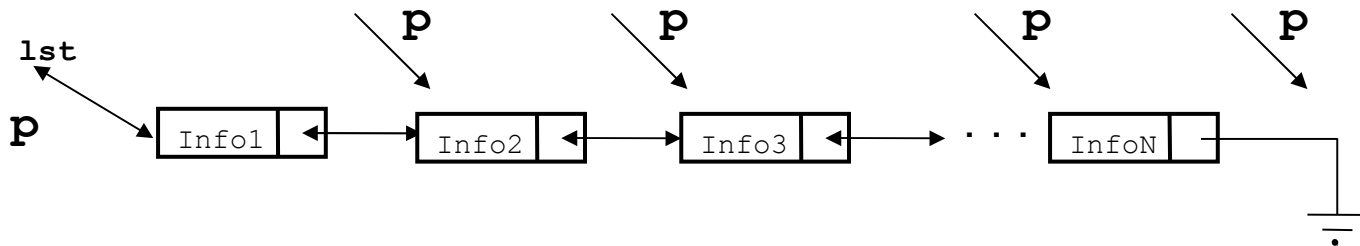
deve-se atualizar a variável que representa a lista a cada inserção de um novo elemento.



Listas Encadeadas: impressão

- Imprime os valores dos elementos armazenados

```
/* função imprime: imprime valores dos elementos */  
void lst_imprime (Elemento* lst)  
{  
    Elemento* p;  
    for (p = lst; p != NULL; p = p->prox)  
        printf("info = %d\n", p->info);  
}
```



Listas Encadeadas: Teste de vazia

- Retorna 1 se a lista estiver vazia ou 0 se não estiver vazia

```
/* função vazia: retorna 1 se vazia ou 0 se não vazia */  
int lst_vazia (Elemento* lst)  
{  
    return (lst == NULL);  
}
```

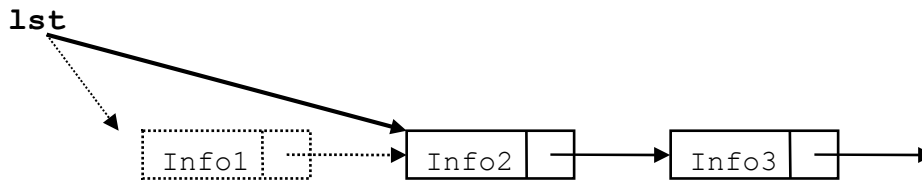
Listas Encadeadas: busca

- recebe a informação referente ao elemento a pesquisar
- retorna o ponteiro do nó da lista que representa o elemento, ou NULL, caso o elemento não seja encontrado na lista

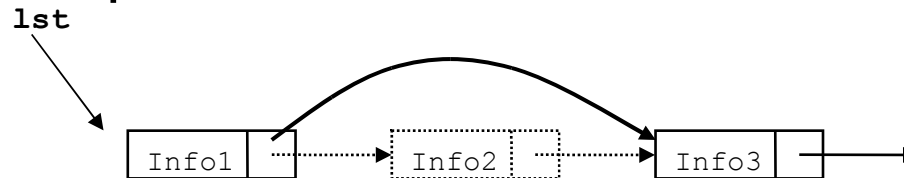
```
/* função busca: busca um elemento na lista */
Elemento* busca (Elemento* lst, int v)
{ Elemento* p;
  for (p=lst; p!=NULL; p = p->prox) {
    if (p->info == v)
      return p;
  }
  return NULL;          /* não achou o elemento */
}
```

Listas Encadeadas: remover um elemento

- recebe como entrada a lista e o valor do elemento a retirar
- atualiza o valor da lista, se o elemento removido for o primeiro



- caso contrário, apenas remove o elemento da lista



```

/* função retira: retira elemento da lista */
Elemento* lst_retira (Elemento* lst, int val)
{
    Elemento* ant = NULL; /* ponteiro para elemento anterior */
    Elemento* p = lst;    /* ponteiro para percorrer a lista */
    /* procura elemento na lista, guardando anterior */
    while (p != NULL && p->info != val) {
        ant = p;
        p = p->prox;
    }
    /* verifica se achou elemento */
    if (p == NULL)
        return lst; /* não achou: retorna lista original */
    /* retira elemento */
    if (ant == NULL)
    { /* retira elemento do inicio */
        lst = p->prox; }
    else { /* retira elemento do meio da lista */
        ant->prox = p->prox; }
    free(p);
    return lst;
}

```


Listas Encadeadas: Libera a lista

- destrói a lista, liberando todos os elementos alocados

```
void lst_libera (Elemento* lst)
{
    Elemento *p = lst, *t;
    while (p != NULL) {
        t = p->prox; /* guarda referência p/ próx. elemento */
        free(p);    /* libera a memória apontada por p */
        p = t;      /* faz p apontar para o próximo */
    }
}
```

TAD Listas Encadeadas de Inteiros

```
/* TAD: lista de inteiros */

typedef struct elemento Elemento;

Elemento* lst_cria (void);
void lst_libera (Elemento* lst);

Elemento* lst_insere (Elemento* lst, int val);
Elemento* lst_retira (Elemento* lst, int val);

int lst_vazia (Elemento* lst);
Elemento* lst_busca (Elemento* lst, int val);
void lst_imprime (Elemento* lst);
```

```
#include <stdio.h>
```

```
#include "lista.h"
```

```
int main (void)
```

```
{
```

```
    Elemento* lst;                /* declara uma lista não iniciada */
```

```
    lst=lst_cria();               /* inicia lista vazia */
```

```
    lst=lst_inserere(lst,23);     /* insere na lista o elemento 23 */
```

```
    lst=lst_inserere(lst,45);     /* insere na lista o elemento 45 */
```

```
    lst=lst_inserere(lst,56);     /* insere na lista o elemento 56 */
```

```
    lst=lst_inserere(lst,78);     /* insere na lista o elemento 78 */
```

```
    lst_imprime(lst);            /* imprimirá: 78 56 45 23 */
```

```
    lst=lst_retira(lst,78);
```

```
    lst_imprime(lst);            /* imprimirá: 56 45 23 */
```

```
    lst=lst_retira(lst,45);
```

```
    lst_imprime(lst);            /* imprimirá: 56 23 */
```

```
    lst_libera(lst);
```

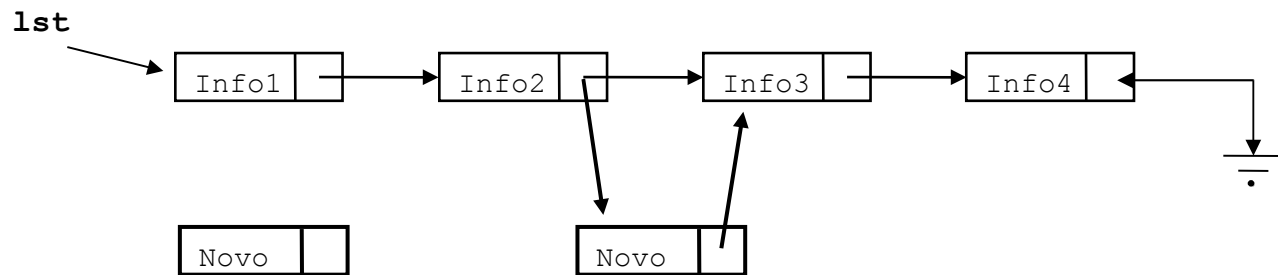
```
    return 0;
```

```
}
```

programa que utiliza as funções de lista exportadas

Listas Encadeadas Ordenadas

- Manutenção da lista ordenada
 - função de inserção percorre os elementos da lista até encontrar a posição correta para a inserção do novo



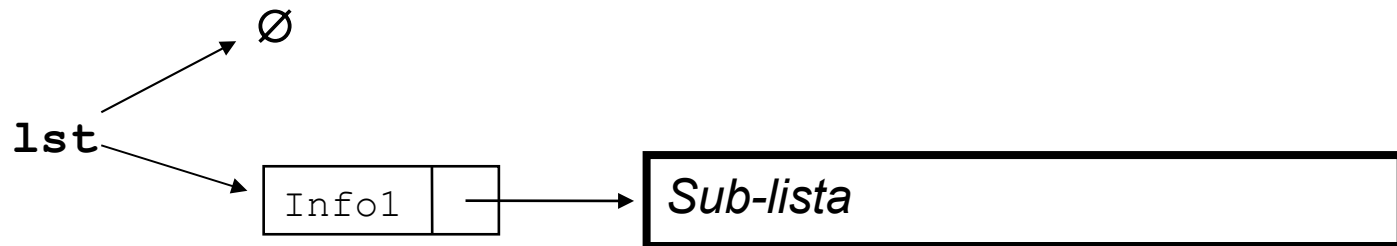
```

/* função insere_ordenado: insere elemento em ordem */
Elemento* lst_insere_ordenado (Elemento* lst, int val)
{
    Elemento* novo;
    Elemento* ant = NULL; /* ponteiro para elemento anterior */
    Elemento* p = lst;    /* ponteiro para percorrer a lista */
    /* procura posição de inserção */
    while (p != NULL && p->info < val)
    { ant = p; p = p->prox; }
    /* cria novo elemento */
    novo = (Elemento*) malloc(sizeof(Elemento));
    novo->info = val;
    /* encadeia elemento */
    if (ant == NULL)
    { /* insere elemento no início */
        novo->prox = lst; lst = novo; }
    else { /* insere elemento no meio da lista */
        novo->prox = ant->prox;
        ant->prox = novo; }
    return lst;
}

```

Definição recursiva de lista

- uma lista é
 - uma lista vazia; ou
 - um elemento seguido de uma (sub-)lista



Exemplo - Função recursiva para imprimir uma lista

- se a lista for vazia, não imprima nada
- caso contrário,
 - imprima a informação associada ao primeiro nó, dada por `lst->info`
 - imprima a sub-lista, dada por `lst->prox`, chamando recursivamente a função

Função imprime recursiva

```
/* Função imprime recursiva */
void lst_imprime_rec (Elemento* lst)
{
    if ( ! lst_vazia(lst) ) {
        /* imprime primeiro elemento */
        printf("info: %d\n",lst->info);
        /* imprime sub-lista */
        lst_imprime_rec(lst->prox);
    }
}
```


Função imprime recursiva invertida

```
/* Função imprime recursiva invertida */  
void lst_imprime_rec (Elemento* lst)  
{  
    if ( !lst_vazia(lst) ) {  
        /* imprime sub-lista */  
        lst_imprime_rec(lst->prox);  
        /* imprime ultimo elemento */  
        printf("info: %d\n",lst->info);  
    }  
}
```

Exemplo - função para retirar um elemento da lista

- retire o elemento, se ele for o primeiro da lista (ou da sub-lista)
- caso contrário, chame a função recursivamente para retirar o elemento da sub-lista

Lista: Retira recursiva

```
/* Função retira recursiva */
Elemento* lst_retira_rec (Elemento* lst, int val)
{
    Elemento* t;
    if (!lst_vazia(lst)) {
        /* verifica se elemento a ser retirado é o primeiro */
        if (lst->info == val) {
            t = lst; /* temporário para poder liberar */
            lst = lst->prox;
            free(t);
        }
        else {
            /* retira de sub-lista */
            lst->prox = lst_retira_rec(lst->prox, val);
        }
    }
    return lst;
}
```

é necessário re-atribuir o valor de **l->prox** na chamada recursiva, já que a função pode alterar a sub-lista

Igualdade de listas

```
int lst_igual (Elemento* lst1, Elemento* lst2) ;
```

- implementação não recursiva
 - percorre as duas listas, usando dois ponteiros auxiliares:
 - se duas informações forem diferentes,
as listas são diferentes
 - ao terminar uma das listas (ou as duas):
 - se os dois ponteiros auxiliares são NULL,
as duas listas têm o mesmo número de elementos e são iguais

Listas iguais: não recursiva

```
int lst_igual (Elemento* lst1, Elemento* lst2)
{
    Elemento* p1;  /* ponteiro para percorrer l1 */
    Elemento* p2;  /* ponteiro para percorrer l2 */
    for (p1=lst1, p2=lst2;
         p1 != NULL && p2 != NULL;
         p1 = p1->prox, p2 = p2->prox)
    {
        if (p1->info != p2->info) return 0;
    }
    return p1==p2;
}
```

Igualdade de listas (recursiva)

```
int lst_igual (Elemento* lst1, Elemento* lst2) ;
```

- implementação recursiva
 - se as duas listas dadas são vazias, são iguais
 - se não forem ambas vazias, mas uma delas é vazia, são diferentes
 - se ambas não forem vazias, teste
 - se informações associadas aos primeiros nós são iguais e
 - se as sub-listas são iguais

Listas iguais: recursiva

```
int lst_igual (Elemento* lst1, Elemento* lst2)
{
    if (lst1 == NULL && lst2 == NULL)
        return 1;
    else if (lst1 == NULL || lst2 == NULL)
        return 0;
    else
        return (lst1->info == lst2->info) &&
            lst_igual(lst1->prox, lst2->prox);
}
```

Listas de Tipos Estruturados

- Lista de tipo estruturado:
 - a informação associada a cada nó de uma lista encadeada pode ser mais complexa, sem alterar o encadeamento dos elementos
 - as funções apresentadas para manipular listas de inteiros podem ser adaptadas para tratar listas de outros tipos

Listas de Tipos Estruturados

- Lista de tipo estruturado (cont.):
 - o campo da informação pode ser representado por um ponteiro para uma estrutura, em lugar da estrutura em si
 - independente da informação armazenada na lista, a estrutura do nó é sempre composta por
 - um ponteiro para a informação e
 - um ponteiro para o próximo nó da lista

Listas de Tipos Estruturados

- Exemplo – Lista de retângulos

```
struct retangulo {  
    float b;  
    float h;  
};  
typedef struct retangulo Retangulo;  
  
struct lista {  
    Retangulo* info;  
    struct lista *prox;  
};
```

campo da informação representado por um ponteiro para uma estrutura, em lugar da estrutura em si

Listas de Tipos Estruturados

- Exemplo – Função auxiliar para alocar um nó

```
static Lista* aloca (float b, float h)
{
    Retangulo* r = (Retangulo*) malloc(sizeof(Retangulo));
    Lista* p = (Lista*) malloc(sizeof(Lista));
    r->b = b;
    r->h = h;
    p->info = r;
    p->prox = NULL;
    return p;
}
```

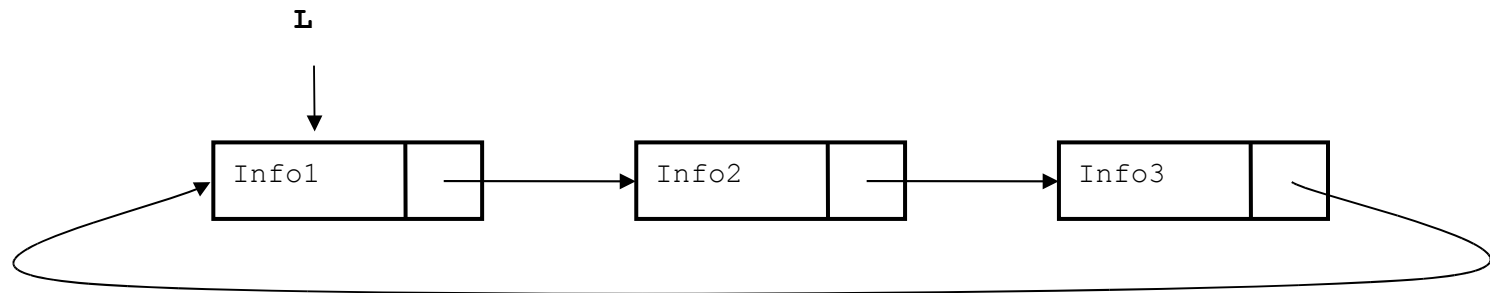
Para alocar um nó, são necessárias duas alocações dinâmicas: uma para criar a estrutura do retângulo e outra para criar a estrutura do nó.

O valor da base associado a um nó **p** seria acessado por: **p->info->b**.

Tópicos Complementares

Listas Circulares

- Lista circular:
 - o último elemento tem como próximo o primeiro elemento da lista, formando um ciclo
 - a lista pode ser representada por um ponteiro para um elemento inicial qualquer da lista

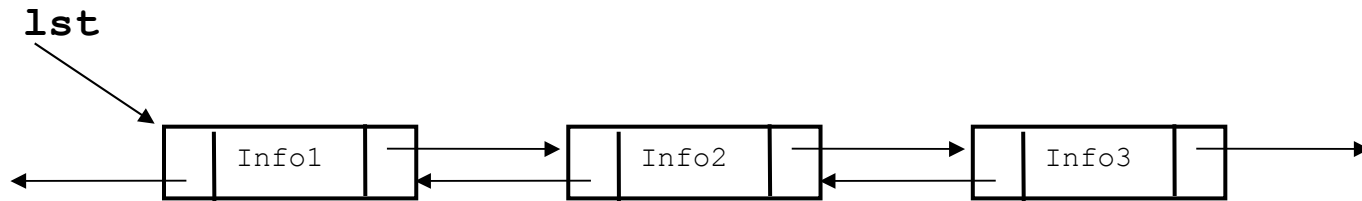


Listas Circulares

- Exemplo - Função para imprimir uma lista circular
 - visita todos os elementos a partir do ponteiro do elemento inicial até alcançar novamente esse mesmo elemento
 - se a lista é vazia, o ponteiro para um elemento inicial é NULL

```
/* função imprime: imprime valores dos elementos */  
void lcirc_imprime (Elemento* lst)  
{  
    Elemento* p = lst;          /* faz p apontar para o nó inicial */  
    /* testa se lista não é vazia e então percorre com do-while */  
    if (p) do {  
        printf("%d\n", p->info); /* imprime informação do nó */  
        p = p->prox;             /* avança para o próximo nó */  
    } while (p != lst);  
}
```

Listas Duplamente Encadeadas



- cada elemento tem um ponteiro para o próximo elemento e um ponteiro para o elemento anterior
- dado um elemento, é possível acessar o próximo e o anterior
- dado um ponteiro para o último elemento da lista, é possível percorrer a lista em ordem inversa

Exemplo: Listas Duplamente Encadeadas

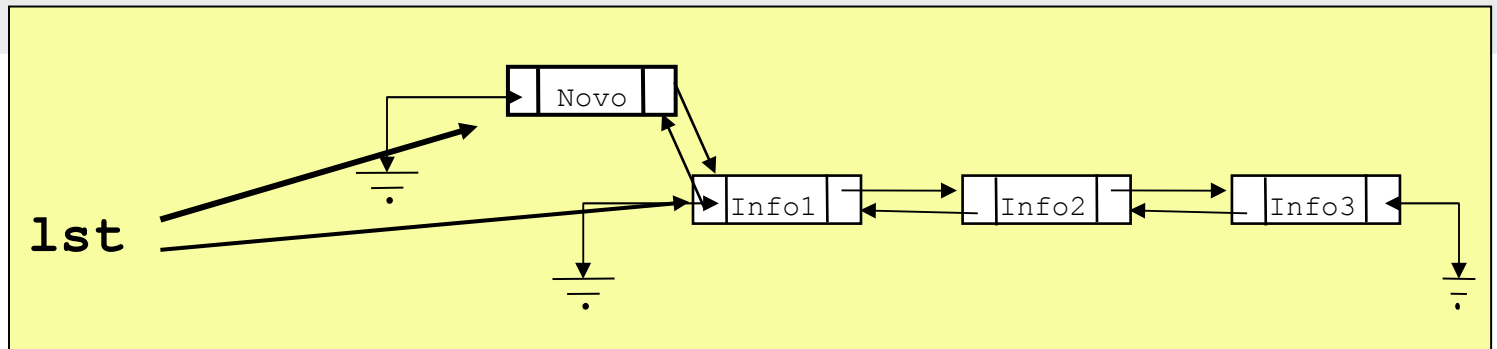
```
struct lista2 {  
    int info;  
    struct lista2* ant;  
    struct lista2* prox;  
};  
typedef struct lista2 Lista2;
```

- lista encadeada armazenando valores inteiros
 - struct **lista2**
 - estrutura dos nós da lista
 - tipo **Lista2**
 - tipo dos nós da lista

Listas Duplamente Encadeadas

- Exemplo - Função de inserção (no início da lista)

```
/* inserção no início: retorna a lista atualizada */  
Lista2* lst2_insere (Lista2* lst, int val)  
{  
    Lista2* novo = (Lista2*) malloc(sizeof(Lista2));  
    novo->info = val;  
    novo->prox = lst;  
    novo->ant = NULL;  
    /* verifica se lista não estava vazia */  
    if (lst != NULL)  
        lst->ant = novo;  
    return novo;  
}
```



Listas Duplamente Encadeadas

- Exemplo - Função de busca
 - recebe a informação referente ao elemento a pesquisar
 - retorna o ponteiro do nó da lista que representa o elemento, ou NULL, caso o elemento não seja encontrado na lista
 - implementação idêntica à lista encadeada (simples)

```
/* função busca: busca um elemento na lista */
Lista2* lst2_busca (Lista2* lst, int val)
{
    Lista2* p;
    for (p=lst; p!=NULL; p=p->prox)
        if (p->info == val)
            return p;
    return NULL;          /* não achou o elemento */
}
```

Listas Duplamente Encadeadas

- Exemplo - Função para retirar um elemento da lista
 - **p** aponta para o elemento a retirar
 - se **p** aponta para um elemento no meio da lista:
 - o anterior passa a apontar para o próximo: `p->ant->prox=p->prox;`
 - o próximo passa a apontar para o anterior:
`p->prox->ant = p->ant;`
 - se **p** aponta para o último elemento
 - não é possível escrever `p->prox->ant`, pois `p->prox` é `NULL`
 - se **p** aponta para o primeiro elemento
 - não é possível escrever `p->ant->prox`, pois `p->ant` é `NULL`
 - é necessário atualizar o valor da lista, pois o primeiro elemento pode ser removido

```

/* função retira: remove elemento da lista */
Lista2* lst2_retira (Lista2* lst, int val)
{
    Lista2* p = busca(lst, val);

    if (p == NULL)
        return lst; /* não achou o elemento: retorna lista inalterada */

    /* retira elemento do encadeamento */
    if (lst == p) /* testa se é o primeiro elemento */
        lst = p->prox;
    else
        p->ant->prox = p->prox;

    if (p->prox != NULL) /* testa se é o último elemento */
        p->prox->ant = p->ant;

    free(p);

    return lst;
}

```

Listas heterogêneas

- A representação da informação por um ponteiro permite construir listas heterogêneas, isto é, listas em que as informações armazenadas diferem de nó para nó

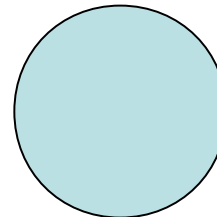
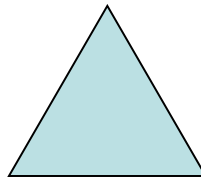
Exemplo:

- listas de retângulos, triângulos ou círculos
- áreas desses objetos são dadas por:

$$r = b * h$$

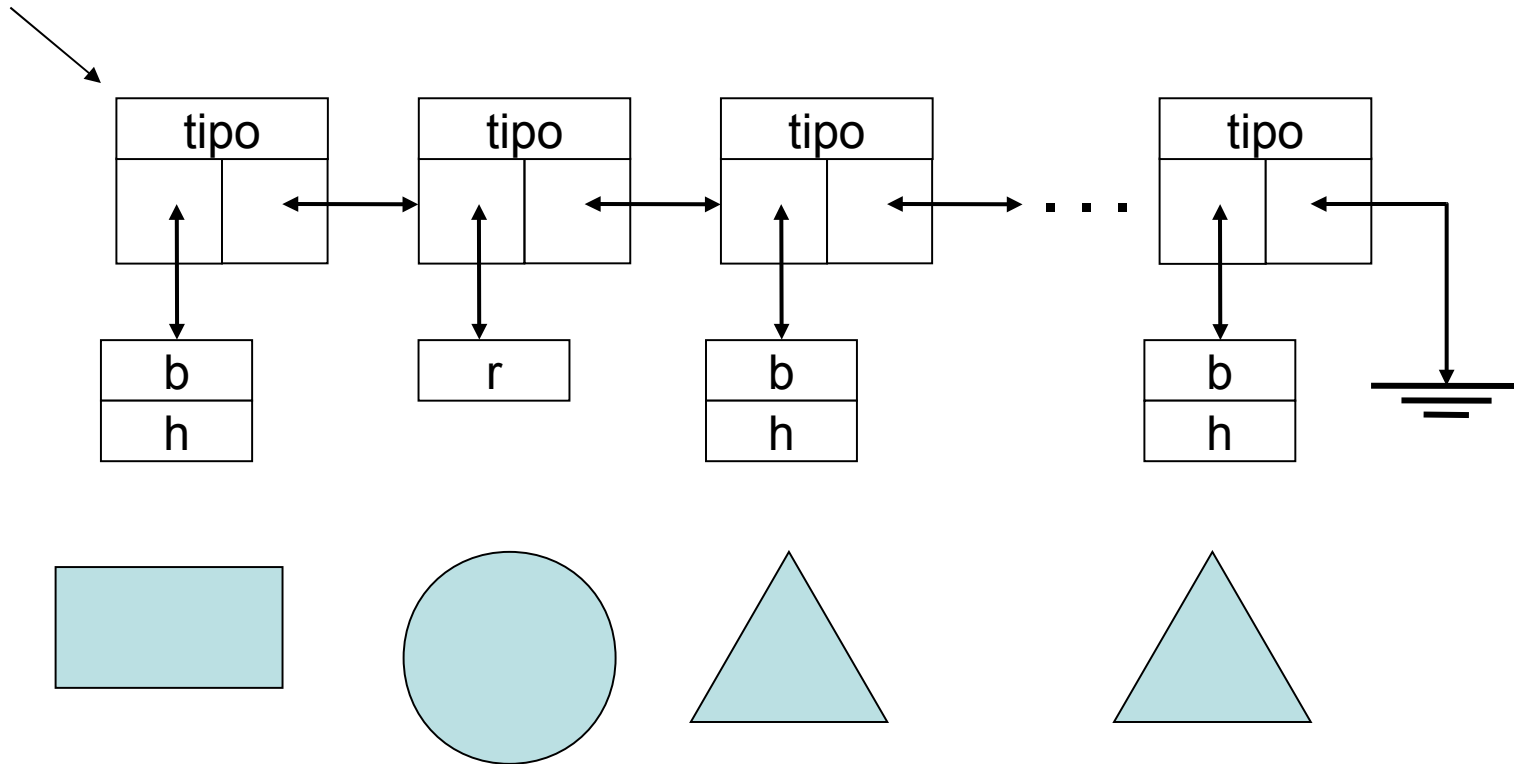
$$t = \frac{b * h}{2}$$

$$c = \pi r^2$$



```
struct retangulo {  
    float b;  
    float h;  
};  
typedef struct retangulo Retangulo;  
  
struct triangulo {  
    float b;  
    float h;  
};  
typedef struct triangulo Triangulo;  
  
struct circulo {  
    float r;  
};  
typedef struct circulo Circulo;
```

Lista homogênea de objetos heterogêneos

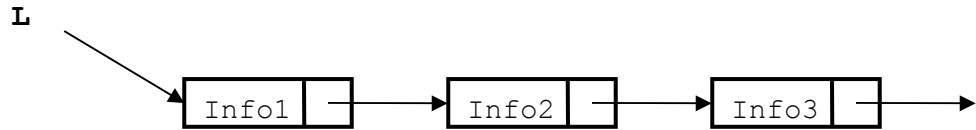


Exemplo: Lista de ponteiros

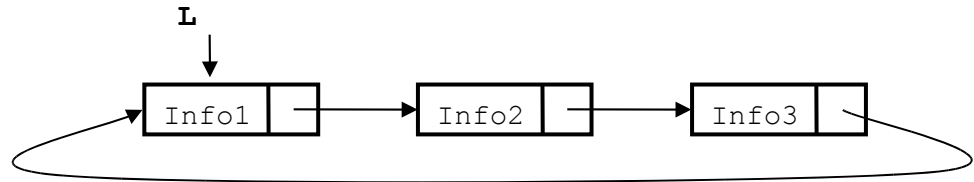
- a lista é homogênea - todos os nós contêm os mesmos campos:
 - um ponteiro para o próximo nó da lista
 - um ponteiro para a estrutura que contém a informação
 - deve ser do tipo genérico (ou seja, do tipo `void*`)
pois pode apontar para um retângulo, um triângulo ou um círculo
 - um identificador indicando qual objeto o nó armazena
 - consultando esse identificador, o ponteiro genérico pode ser convertido no ponteiro específico para o objeto e os campos do objeto podem ser acessados

Resumo

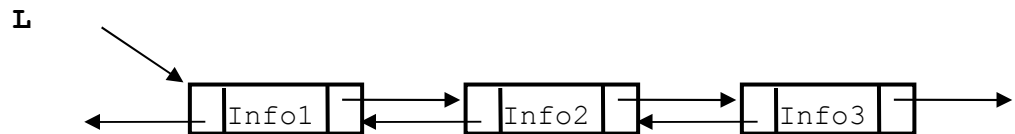
Listas encadeadas



Listas circulares



Listas duplamente encadeadas



Referências

Waldemar Celes, Renato Cerqueira, José Lucas Rangel,
Introdução a Estruturas de Dados, Editora Campus
(2004)

Capítulo 10 – Listas encadeadas

Referências Complementares

Kyle Loudon, *Dominando Algoritmos em C*, Editora Ciência Moderna (2000)

Capítulo 5 – Listas encadeadas