Unidade VI – *Arrays* e Apontadores

Disciplina Linguagens de Programação I
Bacharelado em Ciência da Computação da Uerj
Professores Guilherme Abelha e Gilson Costa

ANSI C

```c
#include <stdio.h>
int main ()
{
   printf("Hello World!");
   return 0;
}
```

Que assuntos serão abordados nesta unidade?

- Memória, apontadores e endereços
- Operadores * e &
- Passagem de parâmetros por referência
- Vetores e apontadores
- Aritmética de apontadores
- Alocação dinâmica de *arrays* e *strings*
- *Arrays* de apontadores e apontadores de apontadores
- Precedência de operadores e declarações avançadas
- Argumentos de linha de comando em programas
- apontadores para funções
- Funções com número variável de argumentos

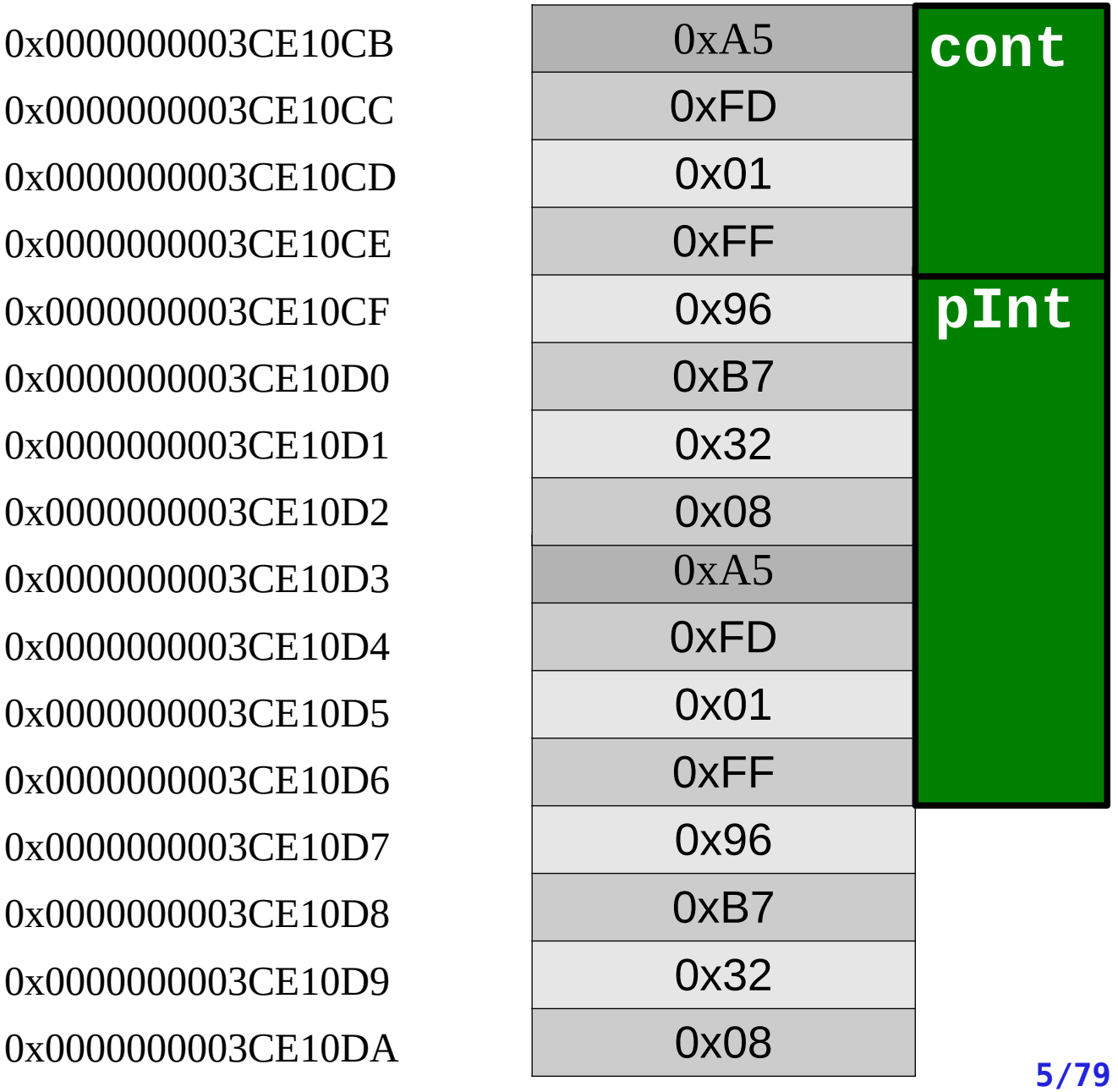
Introdução

Na linguagem C, para que controlar a memória?

- Fazer mais de uma variável apontar para o mesmo conteúdo.
- Alocar memória em função do tamanho da entrada, otimizando o uso de recursos
- Emular a passagem de parâmetros por referência
- Manipular arrays através de apontadores e de forma otimizada
- Variar a forma da execução de uma função através do uso de diferentes funções núcleo
- Passar argumentos pela linha de comando
- Escrever funções que assim como `printf` e `scanf` possam receber de 1 a n argumentos.

Operador * e declaração de apontadores

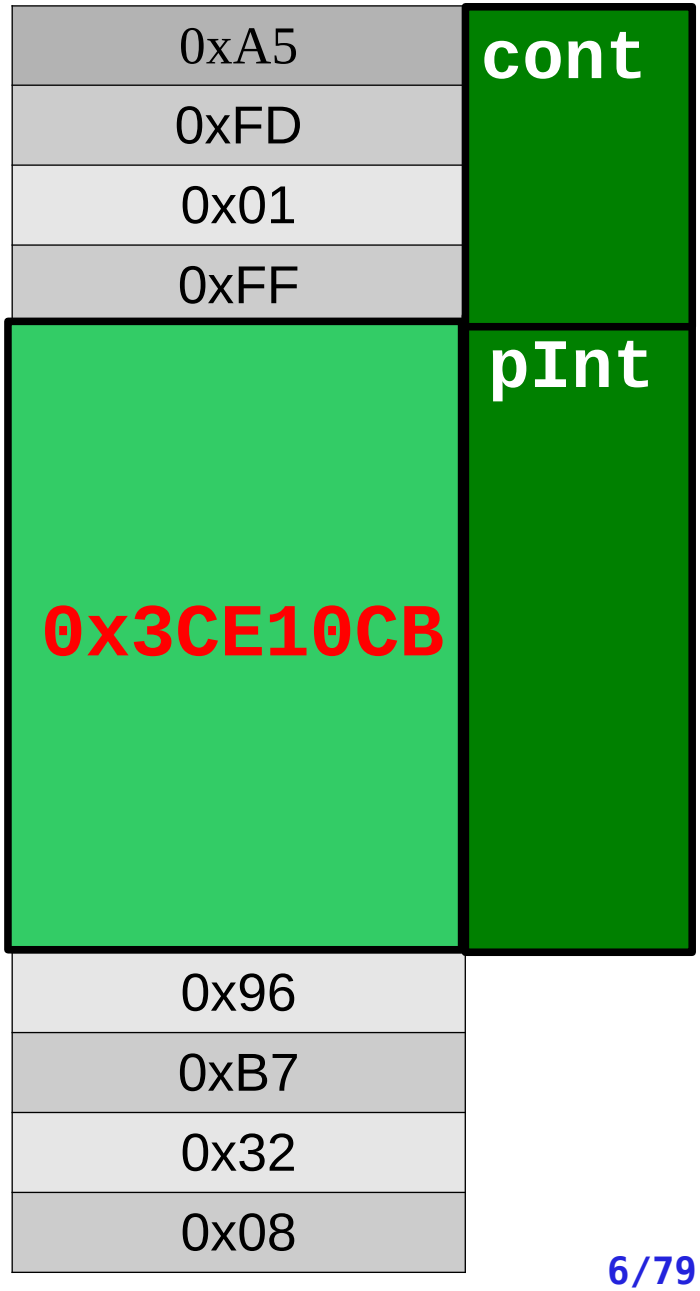
```
int main()
{
   int cont;
   int* pInt;
   return 0;
}
```



Operador & e endereço de variáveis

```
int main()
{
   int cont;
   int* pInt;
   pInt = &cont;
   return 0;
}
```

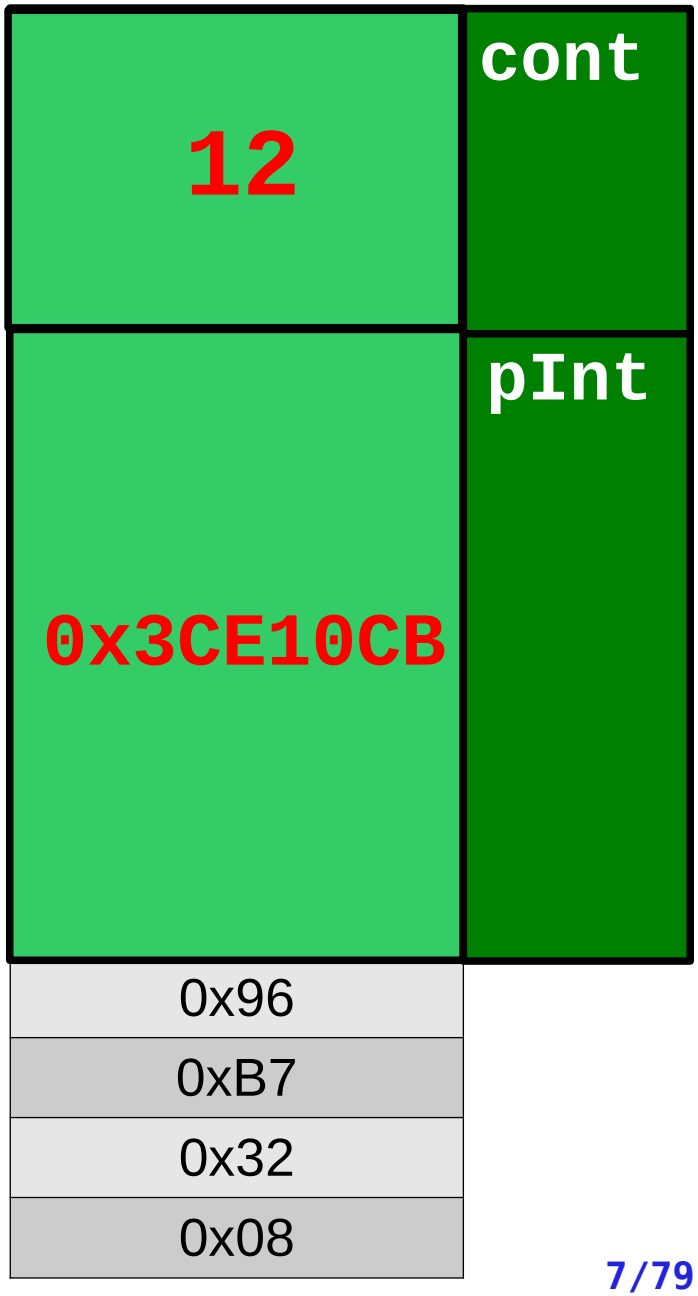
0x000000003CE10CB
0x000000003CE10CC
0x000000003CE10CD
0x000000003CE10CE
0x000000003CE10CF
0x000000003CE10D0
0x000000003CE10D1
0x000000003CE10D2
0x000000003CE10D3
0x000000003CE10D4
0x000000003CE10D5
0x000000003CE10D6
0x000000003CE10D7
0x000000003CE10D8
0x000000003CE10D9
0x000000003CE10DA



Operador * indireção - “conteúdo apontado por”

```
int main()
{
   int cont=10;
   int* pInt;
   pInt=&cont;
   (*pInt)++;
   ++*pInt;
   return 0;
}
```

0x000000003CE10CB
0x000000003CE10CC
0x000000003CE10CD
0x000000003CE10CE
0x000000003CE10CF
0x000000003CE10D0
0x000000003CE10D1
0x000000003CE10D2
0x000000003CE10D3
0x000000003CE10D4
0x000000003CE10D5
0x000000003CE10D6
0x000000003CE10D7
0x000000003CE10D8
0x000000003CE10D9
0x000000003CE10DA



Um outro exemplo

```
int main()
{
    int* pCoord;
    int linha=1;
    pCoord=&linha;
    printf("linha: %d\n*", linha);
    printf("*pCoord: %d\n", (*pCoord)++);
    printf("linha: %d\n", linha);
    printf("*pCoord: %d\n",*pCoord);
    return 0;
}
```

Passagem de parâmetros por referência

Passagem de parâmetros por referência

- Não modifica o escopo de `main`

```
void swap (int, int);

int main()
{
    int a = 10, b = 20;
    swap(a, b);
    printf("%d, %d\n",a,b);
    return 0;
}

void swap(int x, int y)
{
    int temp;
    temp = x;
    x = y;
    y = temp;
}
```

- Modifica o escopo de `main`

```
void swap (int*, int*);

int main()
{
    int a = 10, b = 20;
    swap(&a, &b);
    printf("%d, %d\n",a,b);
    return 0;
}

void swap(int* x, int* y)
{
    int temp;
    temp = *x;
    *x = *y;
    *y = temp;
}
```

Exemplo: parâmetros por referência

```
int getint(int *pn);
```

Descrição:
Obtém o inteiro equivalente a partir de uma sequência de dígitos proveniente de stdin. São válidos caracteres numéricos, além dos sinais de '+' e '–' somente caso estejam na primeira posição. Espaços, tabs e outros caracteres de espaço no início da sequência são ignorados. Após o início de um número inteiro, caracteres não dígito terminam a conversão do inteiro.
Caso o primeiro caracter lido não seja um espaço, digito, '+' ou '-', a função retorna EOF.

Retorno:
EOF - caso não haja caracteres em stdin
Zero - se a sequência não corresponde a um inteiro válido
Número positivo – para um inteiro válido
O apontador pn aponta para o inteiro lido.

Exemplo: parâmetros por referência

```
int getint(int *pn){/* get next integer from input into *pn */

   int c, sign;
   while (isspace(c = getc(stdin))) /* skip white space */
      ;
   if (!isdigit(c) && c != EOF && c != '+' && c != '-')  {
      ungetc(c,stdout); /* it is not a number */
      return 0;
   }
   sign = (c == '-') ? -1 : 1;
   if (c == '+' || c == '-')
      c = getc(stdin);
   for (*pn = 0; isdigit(c); c = getc(stdin))
      *pn = 10 * *pn + (c - '0');
   *pn *= sign;
   if (c != EOF)
      ungetc(c,stdout);
   return c;
}
```

Exercício

Exercício

- Escreva uma função `maxmin` que receba dois argumentos do tipo `float`, `max` e `min`. Independentemente de quem seja o maior dos parâmetros no momento da chamada da função, ao final da execução de `maxmin`, `max` deve conter o maior dos argumentos e `min` o menor. Este resultado deve se refletir na função chamadora.

Apontadores e Arrays

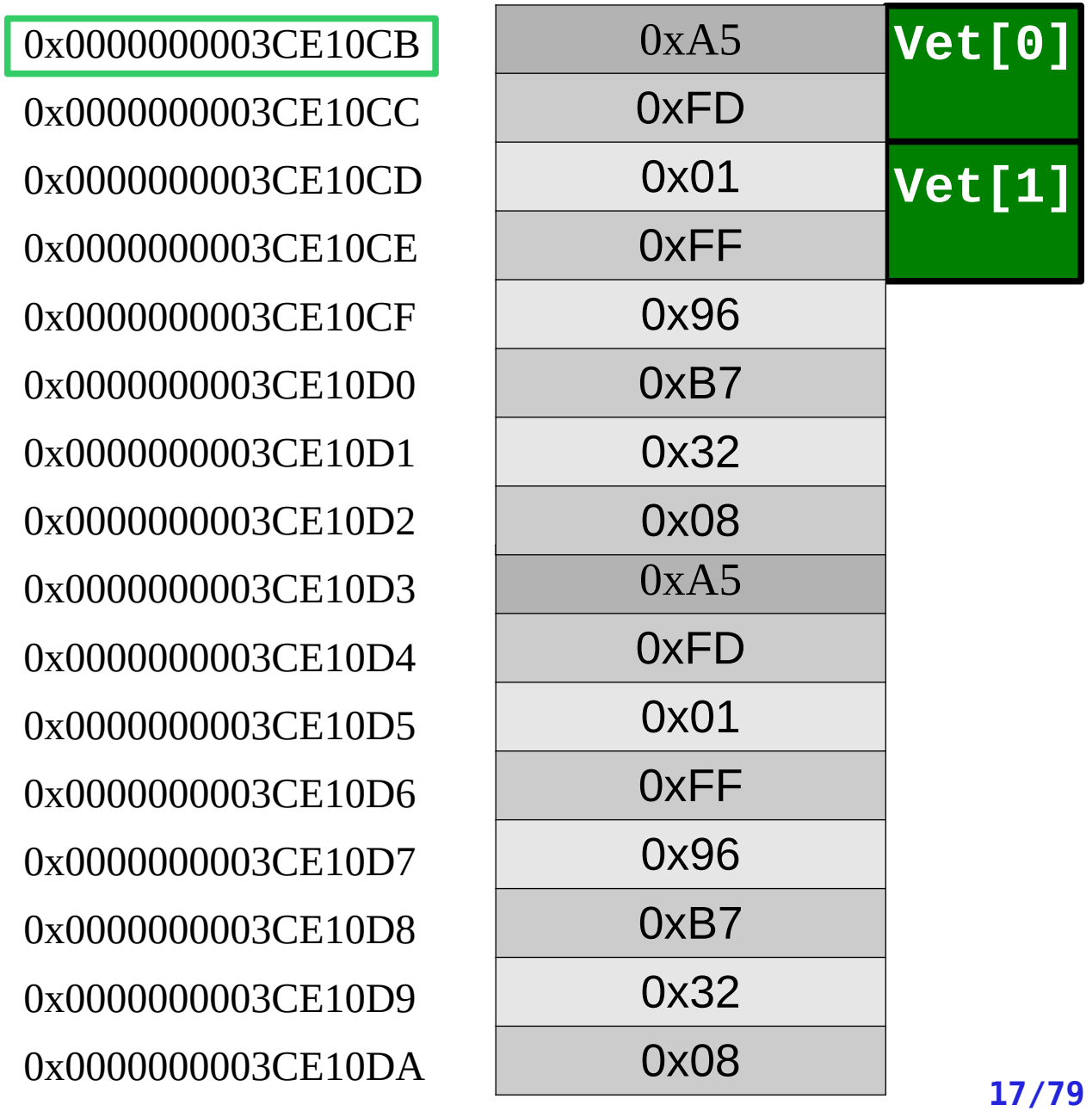
apontadors e arrays na linguagem C

- Existe um fortíssimo relacionamento entre apontadores e arrays na linguagem C
- Tamanha é a força deste relacionamento que arrays e apontadores podem ser discutidos conjuntamente
- As principais diferenças são:

	Array	**Apontador como array**
Declaração	`Tipo MeuArray[]`	`Tipo *apontador`
Alocação	Os elementos do array são alocados automaticamente	Somente o apontador é alocado automaticamente
Atribuição	Não pode estar no lado esquerdo de uma atribuição	Endereço apontado pode ser alterado em tempo de execução
Acesso a um elemento	`MeuArray[i]`	`apontador[i]` ou `*(apontador+i)`

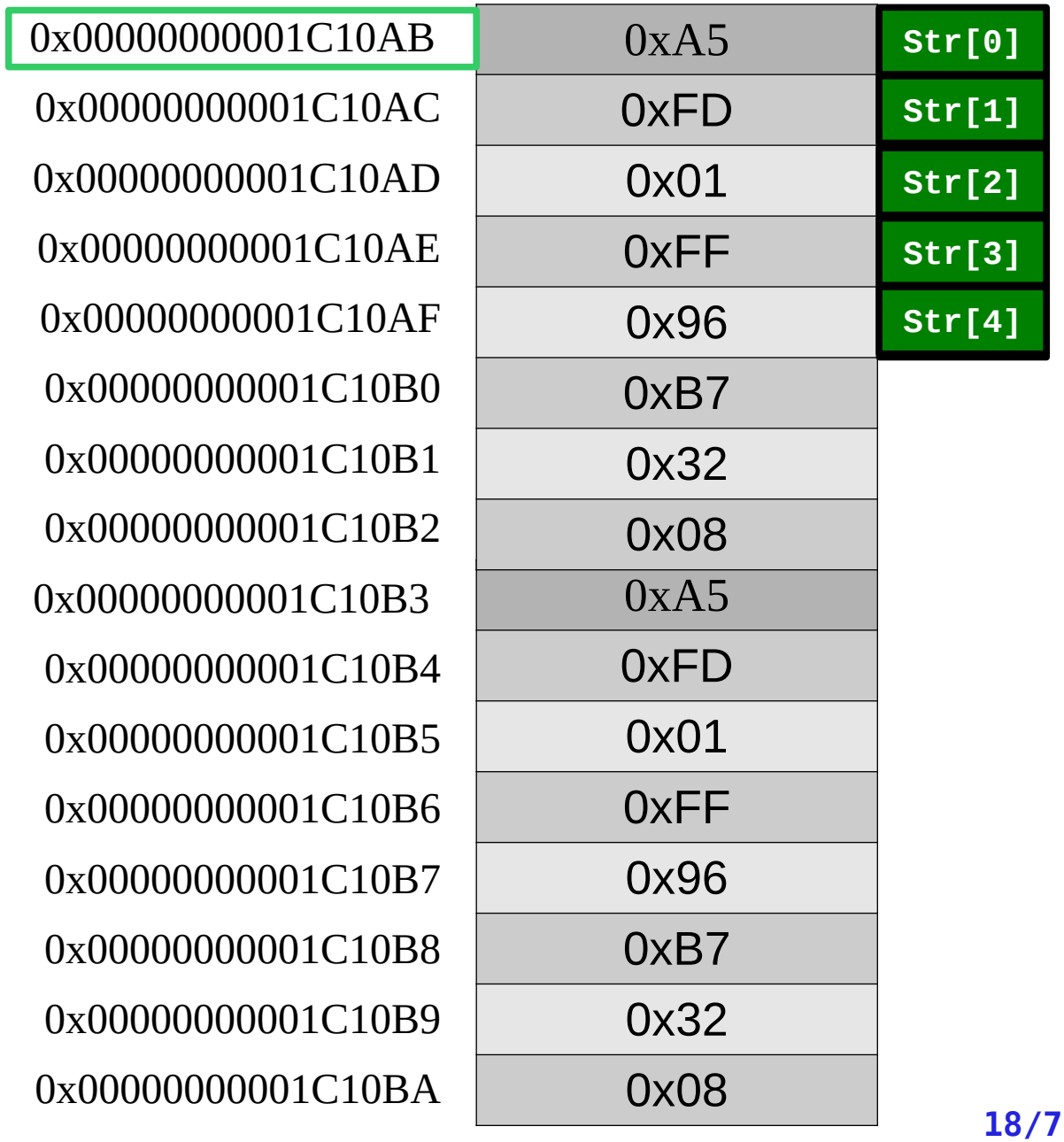
Arrays automáticas

```
int main()
{
   short Vet[2];
   return 0;
}
```



Arrays automáticas

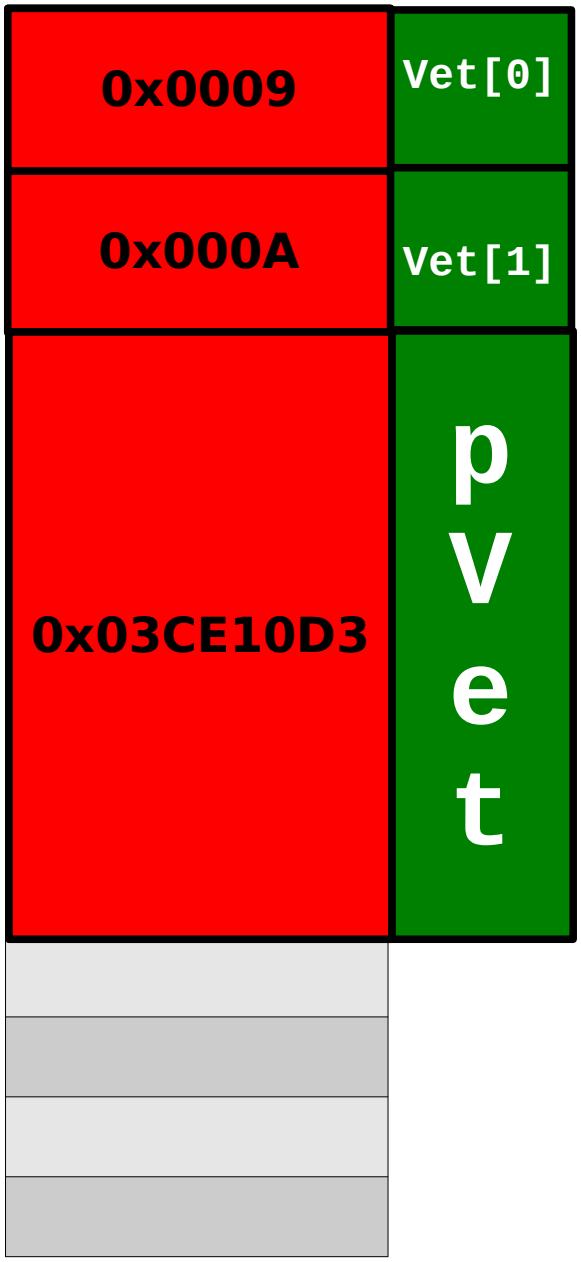
```
int main()
{
   char Str[5];
   return 0;
}
```



Apontadores e Arrays

```
int main()
{
    short Vet[2];
    short* pVet = NULL;
    pVet = Vet;
    *pVet=5;
    pVet[0]=9;
    pVet[1]=10;
    return 0;
}
```

0x0000000003CE10D3



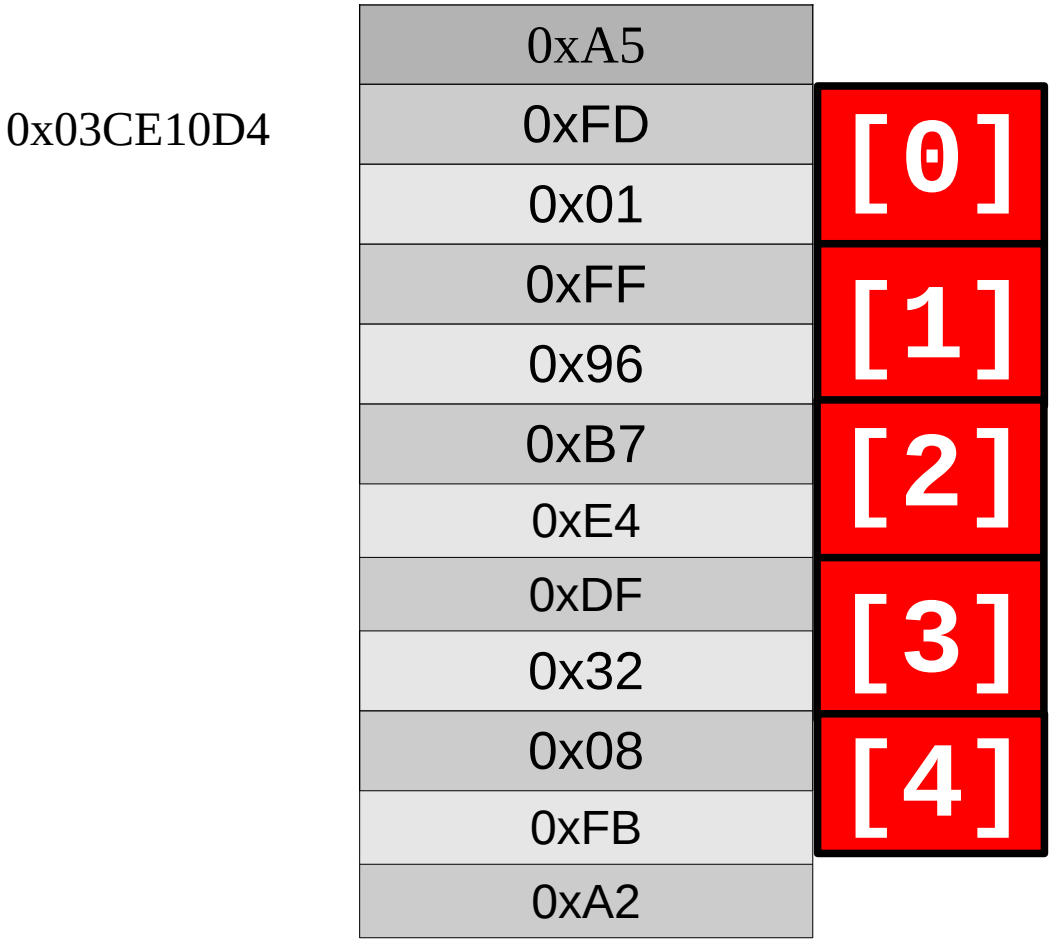
Alocação Dinâmica

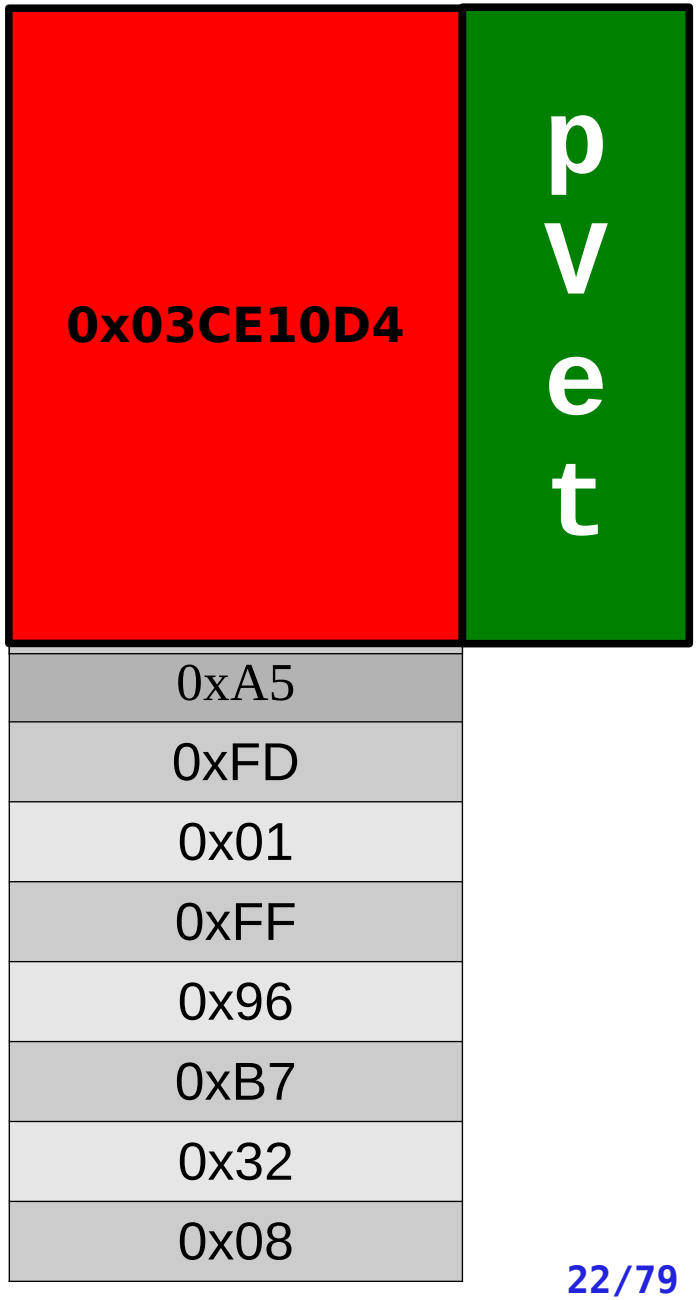
Alocação Dinâmica

- *Arrays* têm dimensões definidas em tempo de compilação
- E se o tamanho das entradas variar entre uma execução e outra?
- Podemos superdimensionar o tamanho do *array* e mudarmos a parcela efetivamente utilizada, ou
- alocar em tempo de execução o "*array*" variando o seu comprimento em função das entradas

Alocação Dinâmica de memória

```
int main()
{
   short* pVet = NULL;
   pVet =  malloc(5*sizeof(*pVet));
   return 0;
}
```





Alocação dinâmica de memória

- Operador:
  - `sizeof()`
    - Retorna o tamanho em bytes de uma varável ou tipo

```
int main()
{
   printf("%d\n", sizeof(int*));
   printf("%d\n", sizeof(void*));
   printf("%d\n", sizeof(double*));
  return 0;
}
```

Alocação dinâmica de memória

- Funções de `stdlib.h`:
  - `void* malloc(size_t size)`
    - Aloca um bloco de `size` bytes de memória e retorna o endereço do início do bloco

```
int main()
{
   int* pInt =  malloc(5*sizeof(*pInt));
   return 0;
}
```

Alocação dinâmica de memória

- Funções de `stdlib.h`:
  - `void* calloc(size_t num, size_t size)`
    - Aloca uma região de memória contendo `num` elementos, cada um com `size` bytes, zera todos os bits do bloco e retorna o endereço do início do bloco

```
int main()
{
   int* pInt = calloc(4,sizeof(*pInt));
   return 0;
}
```

Alocação dinâmica de memória

- Funções de `stdlib.h`:
  - `void* realloc(void* ptr, size_t size)`
    - Redimensiona o bloco apontado por `ptr` para `size` bytes de memória e retorna o endereço inicial
    - O conteúdo é preservado a menos que `size` seja menor que o tamanho do bloco original

```
int main()
{
   float* pFloat = calloc(4,sizeof(*pFloat));
   pFloat = realloc(pFloat, 8*sizeof(*pFloat));
   return 0;
}
```

Alocação dinâmica de memória

- Funções de `stdlib.h`:
  - `void free(void* ptr)`
    - Libera bloco de memória previamente alocado apontado por `ptr`

```
int main ()
{
  int *buf1 = NULL, *buf2 = NULL, *buf3 = NULL;
  buf1 =  malloc (100*sizeof(*buf1));
  buf2 =  calloc (100,sizeof(*buf2));
  buf3 =  realloc (buf2,500*sizeof(*buf3));
  free (buf1);
  free (buf3); buf1 = buf2 = buf3 = NULL;
  return 0;
}
```

Aritmética de apontadores

Aritmética de apontadores

- apontadors podem ser submetidos a operações lógicas e aritméticas
- apontadors podem ser incrementados ou decrementados de *x* posições
  - Operadores: `+`, `-`, `++`, `--`, `+=`, `-=`
  - Neste processo o tipo é usado para saber o tamanho do passo em bytes
- Dois endereços podem ser comparados
  - Operadores: `<`, `>`, `>=`, `<=`
- Endereços podem ser convertidos
  - Operador de `typecasting`

Arrays e Aritmética de apontadores

- Como *arrays*

```
int strlen(char s[])
{
   int len=0;
   while (s[len] != '\0')
      len++;
   return len;
}
```

- Aritmética de apontadores

```
int strlen(char *s)
{
   char *p = s;
   while (*p != '\0')
      p++;
   return p - s;
}
```

Exercícios

Exercício

- Converta a função abaixo substituindo o operador [] por aritmética de apontador e pelo operador de declaração de apontador *.

```
/* copy: copy 'from' into 'to' */
void copy(char to[], char from[])
{
   int i;
   i = 0;
   while ((to[i] = from[i]) != '\0')
      ++i;
}
```

Exercício

- Converta a função abaixo substituindo o operador [] por aritmética de apontador e pelo operador de declaração de apontador *.

```
/* atoi: convert s to integer */
int atoi(char s[])
{
   int i, n;
   n = 0;
   for (i = 0; s[i] >= '0' && s[i] <= '9'; ++i)
      n = 10 * n + (s[i] - '0');
   return n;
}
```

Programa Principal Soma Vetores

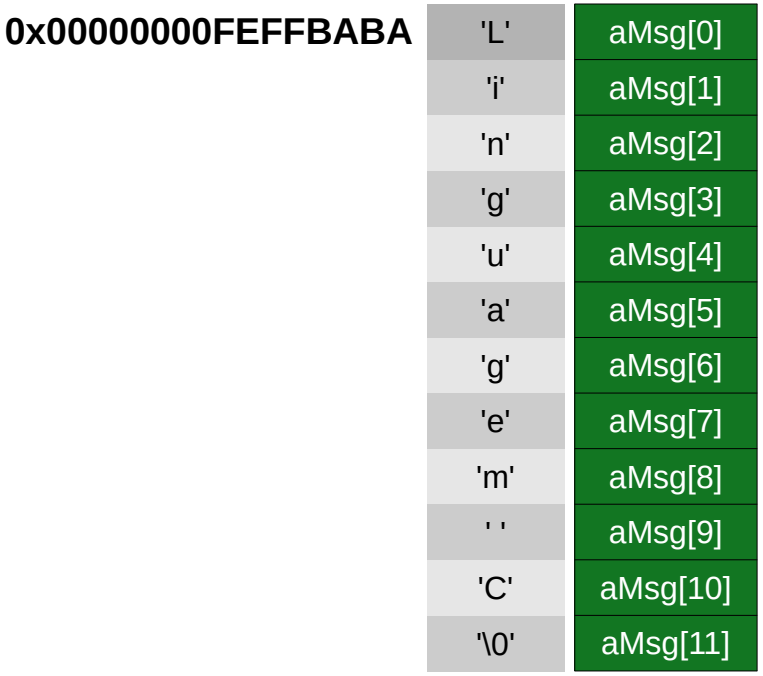
```c
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>
float* getvect(int *);
float* sum(float*, float*, int);
void print (float*, int);

int main(){
    int size_v1, size_v2, size_v3;
    float *v1 = getvect(&size_v1);
    float *v2 = getvect(&size_v2);
    if (size_v1==size_v2)
    {
        float *v3 = sum(v1,v2,size_v1);
        print(v3, size_v1);
        free (v3);
    }
    else
        printf("Erro: os vetores tem que ter o mesmo tamanho.\n");
    free (v1);
    free (v2);
    return 0;
}
```

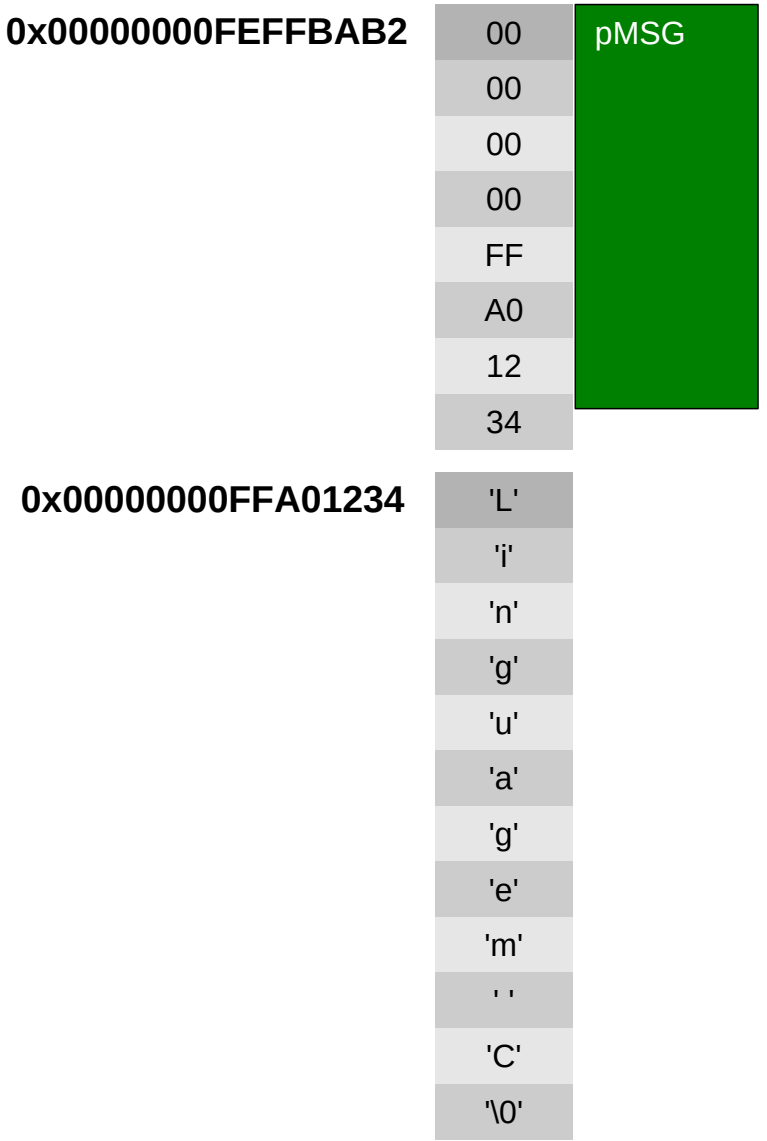
Funções e apontadores de char

Arrays, Constantes e apontadores de char

```
char aMsg[] = "Linguagem C";
```




```
char* pMSG = "Linguagem C";
```



Exemplos Função strcpy

- Copia t para s → versão índice de array

```
void strcpy(char *s, char *t) {
   int i;
   i = 0;
   while ((s[i] = t[i]) != '\0')
      i++;
}
```

Exemplos Função strcpy

- Copia t para s → versão aritmética de apontadores

```
void strcpy(char *s, char *t) {
   while ((*s = *t) != '\0') {
      s++;
      t++;
   }
}
```

Exemplos Função strcpy

- Copia t para s → versão aritmética de apontadores 2.0

```
void strcpy(char *s, char *t)
{
   while ((*s++ = *t++) != '\0')
      ;
}
```

Exemplos Função strcpy

- Copia t para s → versão aritmética de apontadores 3.0

```
void strcpy(char *s, char *t)
{
   while (*s++ = *t++)
      ;
}
```

Exemplos Função strcpy

```
void strcpy(char *s, char *t)
{
   int i;
   i = 0;
   while ((s[i] = t[i]) != '\0')
      i++;
}
```

```
void strcpy(char *s, char *t)
{
   while (*s++ = *t++)
      ;
}
```

Recordando Precedência de Operadores

A ordem de avaliação dos operadores unários `++`, `--` e `*` é da direita para esquerda

- `*p++ = val` → faz indireção com o apontador original e incrementa endereço
- `val = *--p` → decrementa o endereço original e faz a indireção a partir do novo endereço
- `val=(*p)++` → incrementa ao final da execução da instrução o conteúdo apontado pelo apontador
- `val = ++*p` → incrementa imediatamente o conteúdo apontado pelo apontador

Arrays de apontadores e apontadores de apontadores

Arrays de apontadores

- Apontadores podem ser utilizados como tipos primitivos ou declarados pelo programa
- Assim é possível declarar arrays de apontadores

```
char* StringsArray[10];

int* IntPointerArray [25];

struct Student{
  char Name[255];
  char ID [12];
}
struct Student* StructPointerArray[50];
```

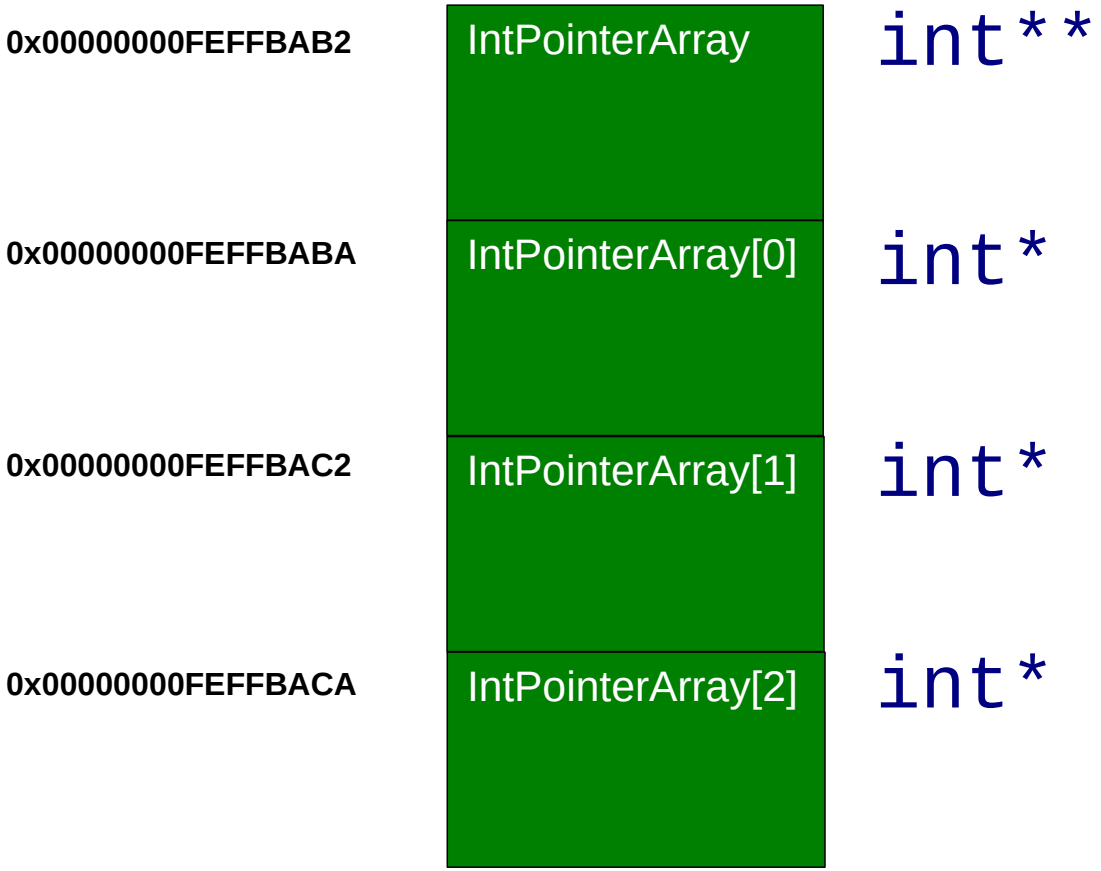
Arrays de apontadores

- O tipo do cabeça do array é: apontador para o tipo do elemento
- Portanto, se cada elemento é um apontador para inteiro `int*`, o cabeça do array é do tipo `int **`

```
int* IntPointerArray [25];
```

Arrays de apontadores

```
int* IntPointerArray [3];
```



Programa exemplo *array* de apontadores

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

void printText(char* [], int);
void sortText(char* [], int);
void swap(char * [], int, int);

int main (void) {
   char * text []={"defghi","jklmnopqrst","abc"};
   printText(text, 3);
   sortText(text, 3);
   printText(text, 3);
   return 0;
}
```

Programa exemplo array de apontadores

```
void printText(char* lText[], int Size)
{
   printf("\n--------------------\n");
   while (Size>0)
   {
      printf("%s\n",*lText++);
      Size--;
   }
   printf("--------------------\n");
}
```

Programa exemplo array de apontadores

```
void sortText(char * lText[], int Size){
   int i, j;
   for(i=Size-2; i >= 0; i--)
      for (j=0; j<=i; j++)
         if(strcmp(lText[j], lText[j+1])>0)
            swap(lText, j, j+1);
}


void swap(char* lText[], int i, int j){
   char * Temp;
   Temp = lText[i];
   lText[i] = lText[j];
   lText[j] = Temp;
}
```

Arrays Multidimensionais

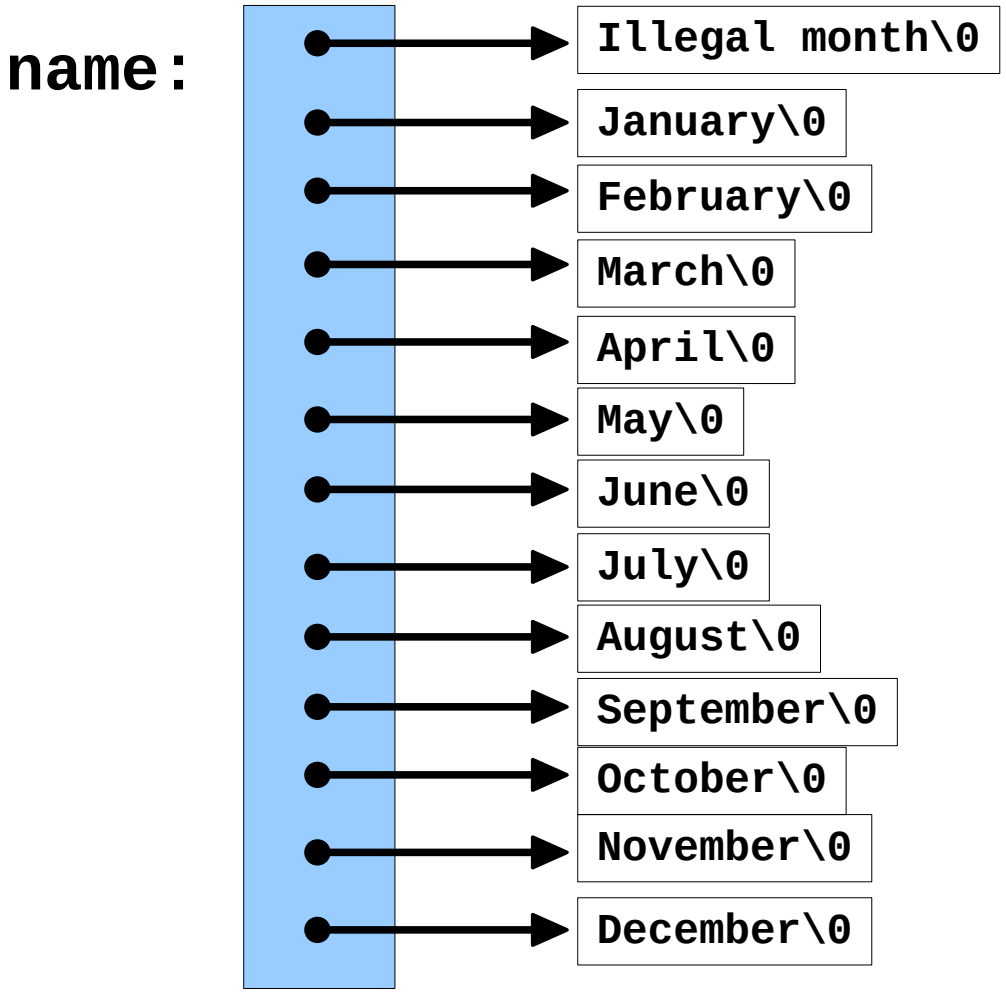
Inicialização de Arrays de apontadores

```
/* month_name: return name of n-th month */

char *month_name(int n)
{
    static char *name[] =
    {
        "Illegal month","January", "February",
        "March", "April", "May", "June", "July",
        "August", "September", "October",
        "November", "December"
    };
    return (n < 1 || n > 12) ? name[0] : name[n];
}
```

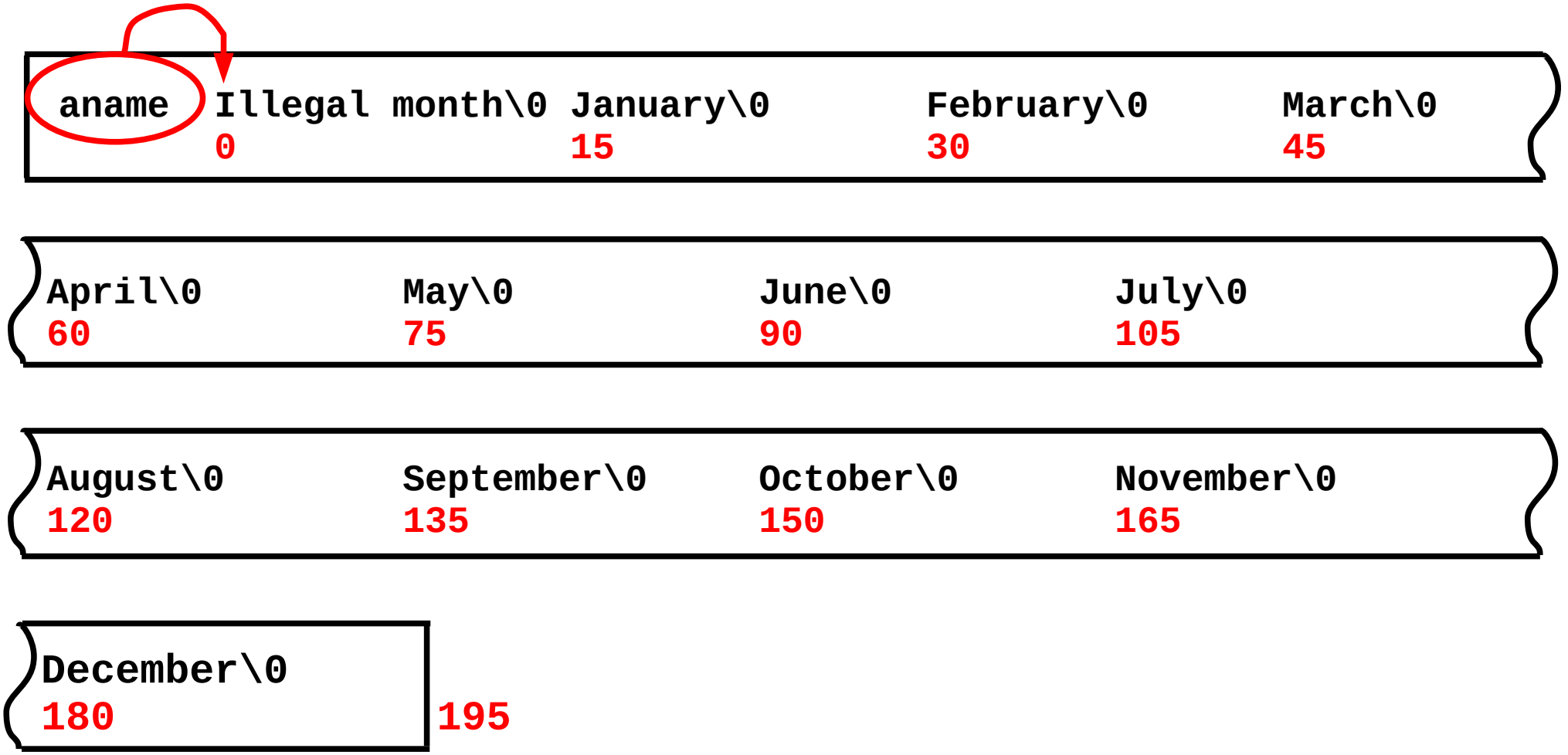
Arrays de apontadores

```
char* name[13]={"Illegal month", "January", "February", "March",
"April", "May", "June", "July", "August", "September", "October",
"November", "December" };
```



Arrays Multidimensionais

```
char aname[][15]={"Illegal month", "January", "February",  "March",
"April", "May", "June", "July", "August", "September", "October",
"November", "December" };
```



Exemplos de Tipos Multidimensionais Compatíveis

```
f(int daytab[2][13]) { ... }

f(int daytab[][13]) { ... }
/*tamanho da primeira dimensão é irrelevante*/

f(int (*daytab)[13]) { ... }
/*apontador para array de 13 elementos inteiros*/

f (int* daytab[13]){...}
/* incompatível! Este tipo é um array de 13 posições de
apontador para inteiro*/
```

Redução de *Array* Bidimensional para apontador

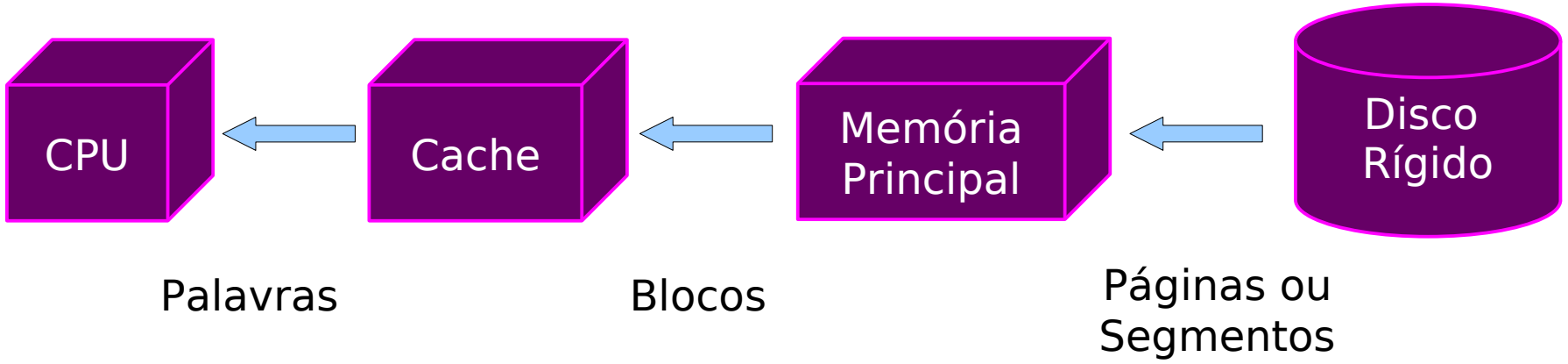
```
void printMat(int * Mat, int rows, int cols){
    int i, j;
    printf("{\n");
    for(i=0; i<rows; i++)   {
        printf("  {");
        for (j=0; j<cols; j++)
            printf("%d%s", *(Mat+cols*i+j), (j<cols-1)?", ":"}\n" );
    }
    printf("}\n");
}


int main() {
    int Mat1[3][3]={{1 , 2,  3}, {4, 5, 6}, {7, 8, 9}};
    int Mat2[2][4]={{1 , 0,  0, 0}, {0, 0, 0, 1}};
    printMat((int *)Mat1,3,3);
    printMat((int *)Mat2,2,4);
    return 0;
}
```

Alocação Dinâmica de *Arrays* Multidimensionais

Reflexo da localidade na hierarquia de memória

- Tempo: Manter os dados mais frequentemente, ou recentemente acessados nos níveis mais altos.
- Espaço: carregar blocos.



Princípio da Localidade

- Programas tendem a acessar uma porção relativamente pequena do executável em um determinado intervalo.
- Dois tipos de localidade:
  - Temporal: se um item é referenciado, ele tende a ser referenciado novamente em breve (ex: loops e reuso de variáveis)
  - Espacial: se um item é referenciado, itens adjacentes (com endereço próximo) tendem a ser referenciados em breve (ex: vetores)

Array Multidimensional Dinâmico Degenerado

```
int *m;
int i,j;

/*aloca m*/
if ((m = malloc(10 * 5 *sizeof(*m))) == NULL)
{
   fprintf(stderr,"Erro no malloc\n");
   return 1;
}

printf("m: %p\n", m);
for (i=0; i<10; i++)
{
   printf("&m[%d]: %p\n", i,&m[i*5]);
   for (j=0; j<5; j++)
      printf("m[%d][%d]: %p\n", i,j,&m[i*5+j]);
}

/*libera m*/
free(m);
```

Alocação Dinâmica Fragmentada por Linha

```
int **m;
int i,j;
/*aloca m*/
if ((m =  malloc(10 * sizeof(*m))) == NULL)
{
   fprintf(stderr,"Erro no malloc\n");
   return 1;
}

for (i=0; i<10; i++)
{
   if ((m[i] =  malloc(5 * sizeof(**m))) == NULL)
   {
      fprintf(stderr,"Erro no malloc\n");
      return 1;
   }
}
```

Alocação Dinâmica Fragmentada por Linha

```
printf("m: %p\n", m);
for (i=0; i<10; i++)
{
   printf("m[%d]: %p\n", i,m[i]);

   for (j=0; j<5; j++)
      printf("m[%d][%d]: %p\n", i,j,&(m[i][j]));
}

/*libera m*/
for (i=0; i<10; i++)
   free(m[i]);
free(m);
```

Array Multidimensional com Alocação Contínua

```
int *m;
int **m2;
int i,j;
/*aloca m*/
if ((m =  malloc(10 * 5 *sizeof(**m2))) == NULL)
{
   fprintf(stderr,"Erro no malloc\n");
   return 1;
}

if ((m2 =  malloc(10 *sizeof(*m2))) == NULL)
{
   fprintf(stderr,"Erro no malloc\n");
   return 1;
}

for (i=0; i<10; i++)
{
   m2[i] = &(m[i*5]);
}
```

Array Multidimensional com Alocação Contínua

```
printf("m: %u\n", ((int)m)/4);
for (i=0; i<10; i++)
{
   for (j=0; j<5; j++)
      printf("m[%d][%d]: %p\n", i,j, &m2[i][j]);
}

/*libera m*/
free(m);
free(m2);
```

Alocação contínua vs alocação por linha

	Contínua	Por linha
Acesso	É preciso usar fórmula de mapeamento (i*colunas+j) ou preencher manualmente o vetor de apontadors para as linhas	Abstração [ ][ ] é direta
Custo da alocação	1 malloc para os dados + 1 malloc para o vetor de apontadors (opcional)	1 malloc por linha + 1 malloc para o vetor de apontadors
Uso da cache	Mais eficiente. Para matrizes pequenas, várias linha cabem em um bloco de cache.	Menos eficiente. Para matrizes grandes é indiferentes, pois uma linha ocupa vários blocos de cache.
Erros na alocação	Para matrizes grandes, pode não ser possível achar um espaço que comporte a matriz completa	Se a linha for muito grande também podemos ter erros no malloc (menos provável)
Resumo	Melhor desempenho (cache e custo de alocação). Maior complexidade. Faz mais sentido para matrizes menores.	Pior desempenho. Menor complexidade. Compensa para matrizes grandes.

Apontadores de funções

Apontadores de Funções

- Em C, é possível definir apontadores de funções
- Apontadores de função permitem:
  - atribuição direta
  - armazenamento em *arrays*
  - passagem como parâmetro para outras funções

Sintaxe de apontadores de Funções

```
<tipo> (*NomeDoapontador) (<tipoArg1>, ..., <tipoArgN>)
```

- Apontador de função para função como argumento

```
void qsort(void *lineptr[], int left, int right,
int (*comp)(void *, void *));

int numcmp(char *s1, char *s2);


int main(){
   qsort((void**) lineptr, 0, nlines-1,
     (int (*)(void*,void*))(numeric ? numcmp : strcmp));
   return 0;
}
```

Exemplo

```
void qsort(void *v[], int left, int right,
int (*comp)(void *, void *))
{
   int i, last;
   void swap(void *v[], int, int);
   if (left >= right)
      return;
   swap(v, left, (left + right)/2);
   last = left;
   for (i = left+1; i <= right; i++)
      if ((*comp)(v[i], v[left]) < 0)
         swap(v, ++last, i);
   swap(v, left, last);
   qsort(v, left, last-1, comp);
   qsort(v, last+1, right, comp);
}
```

Exemplo

```
int numcmp(char *s1, char *s2)
{
   double v1, v2;
   v1 = atof(s1);
   v2 = atof(s2);
   if (v1 < v2)
      return -1;
   else if (v1 > v2)
      return 1;
   else
   return 0;
}
```

Argumentos de Linha de Comando

Argumentos de Linha de Comando

- Em C existe uma forma de passar argumentos para o programa que se deseja executar
- `int argc` → número de argumentos de linha de comando
- `char * argv[]` → array de [`argc`] apontadors para `char`
- `int main(int argc, char* argv[])`

Exemplo

```
/* grep: finds lines that match pattern from 1st arg */
int main(int argc, char *argv[])
{
   char line[MAXLINE];
   int found = 0;
   if (argc != 2)
      printf("Usage: find pattern\n");
   else
   while (getline(line, MAXLINE) > 0)
      if (strstr(line, argv[1]) != NULL) {
         printf("%s", line);
         found++;
      }
   return found;
}
```

Exercícios

1) Faça um programa que receba como argumentos de linha de comando uma sequência de números reais e imprima o respectivo somatório

2) Faça um programa que receba como entrada pela linha de comando três argumentos: operando 1, operador e operando 2 e retorne o resultado da operação: use apontadors de função.

Funções com número variável de argumentos

Funções com número variável de argumentos

- Várias das funções do padrão ansi C estudadas podem receber número variável de argumentos:

```
int printf ( const char * format, ... );

int scanf ( const char * format, ... );

int fprintf ( FILE * stream, const char *
              format, ... );

int fscanf ( FILE * stream, const char * format,
             ... );

int sprintf ( char * str, const char * format,
              ... );

int sscanf ( const char * s, const char * format,
             ...);
```

Funções com número de argumentos variável

- Recursos utilizados em sua criação:
  - `stdarg.h` → biblioteca de funções relacionadas
  - `va_list` → tipo usado para armazenar listas de argumentos
  - `void va_start(va_list ap, paramN);` → inicializa e retorna lista contendo os argumentos após `paramN`.
  - `type va_arg(va_list ap, type)` → retorna próximo argumento da lista.
  - `void va_end(va_list ap)` → finaliza a estrutura ap
  - `...` → operador que representa os argumentos de número variável

Funções com número de argumentos variável

- Exemplo:

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

void PrintFloats (int n, ...){
  int i;
  double val;
  va_list vl;
  va_start(vl,n);
  for (i=0;i<n;i++)  {
    val=va_arg(vl,double);
    printf (" [%.2f]",val);
  }
  va_end(vl);
  printf ("\n");
}

int main (){
  PrintFloats (1,3.14159);
  PrintFloats (2,3.14159,2.71828);
  PrintFloats (3,3.14159,2.71828,1.41421);
  return 0;
}
```

Exercício

1) Faça uma função que calcule o produtório de qualquer quantidade de argumentos do tipo double.

2) Crie um programa principal que demonstre o funcionamento de sua função.

Fim