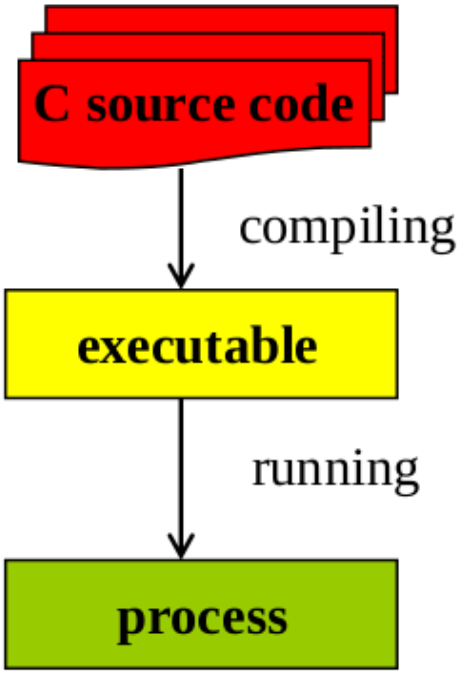
Linguagens de Programação

EXTRA: arquitetura/alocação de memória

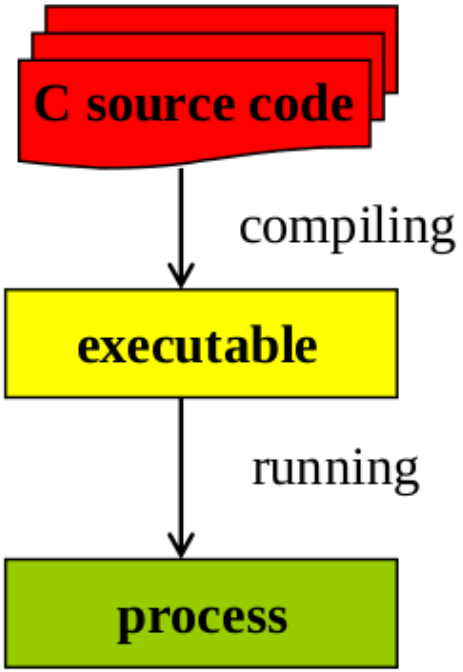
Memória e Programas/Processos

- **Memória**: armazena **padrões de bits** que podem ser **dados** ou **instruções**.
- Programas “rodam” na memória. O que significa isso?
  - **Código fonte**:
    - Declarações, algoritmos, etc.
    - Armazenados em arquivos (.c, .h)
  - **Executável**:
    - Binário gerado pelo compilador
    - Armazenado em arquivo (a.out,)



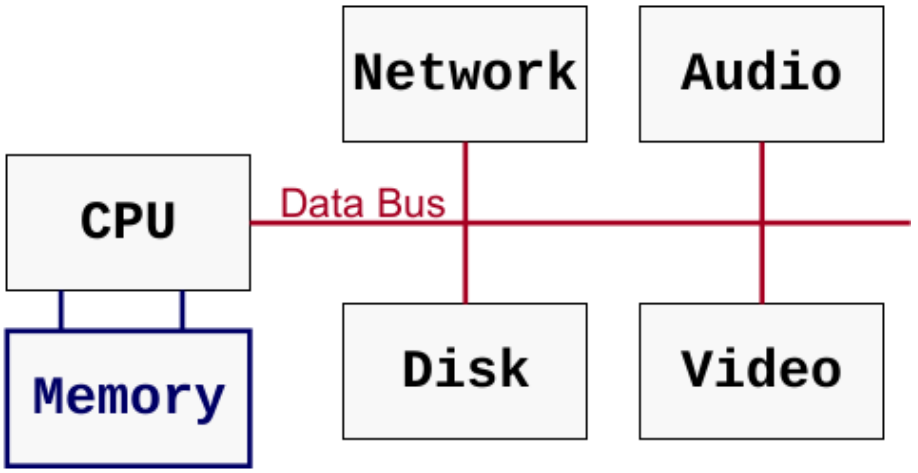
Memória e Programas/Processos

- **Processo**:
  - Instância de um programa em execução (programa em execução)
    - Tem seu próprio espaço de endereços de memória
    - Tem seu próprio ID e estado de execução
  - Gerenciado pelo SO



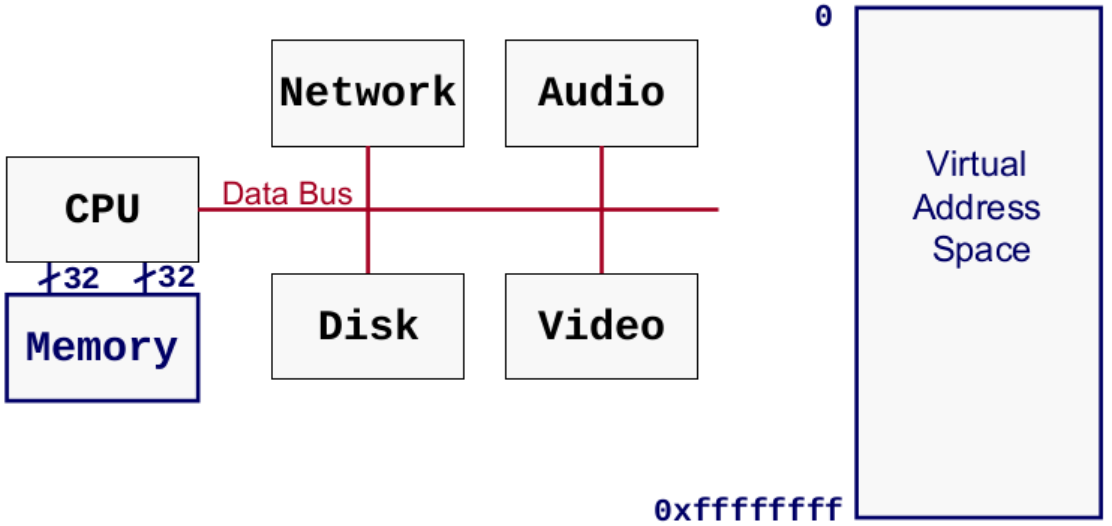
Memória Principal x Virtual

- **Memória principal**:
  - Área de armazenamento para variáveis, dados, instruções, etc.
  - Compartilhada entre diversos processos
  - Existe “de verdade”



Memória Principal x Virtual

- **Memória virtual**:
  - É uma abstração dos recursos de armazenamento realmente disponíveis em um computador
  - "Ilusão" para os usuários: todo o **espaço de endereçamento virtual** está presente, independente da quantidade de RAM física real



Memória Principal x Virtual

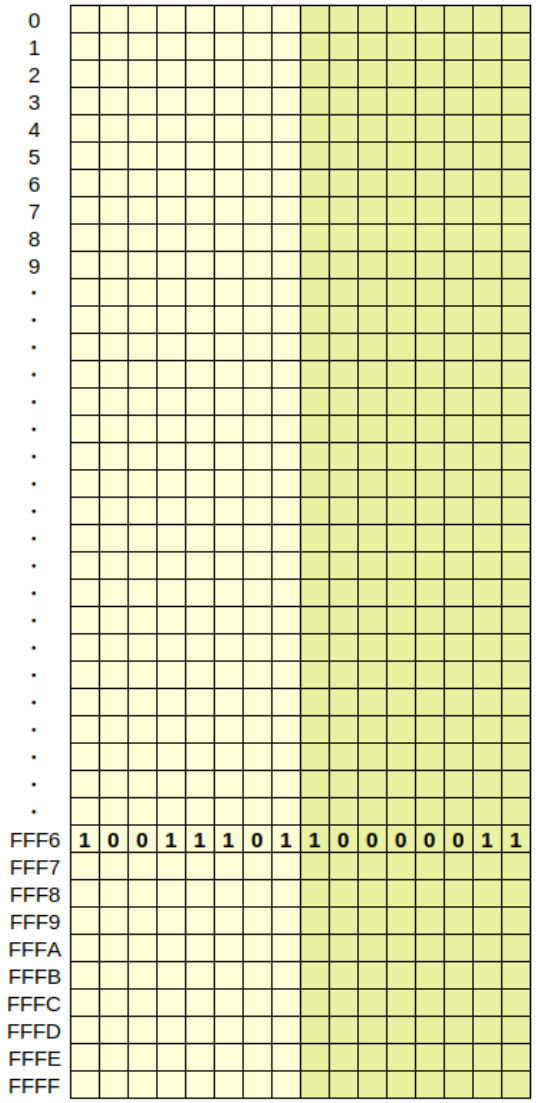
- **Espaço de endereçamento virtual**:
  - 64 bits: endereços alocados por 8 bytes
  - 32 bits: endereços alocados por 4 bytes
  - 16 bits: endereços alocados por 2 bytes

  (menor unidade endereçável pela CPU: 1 byte (8 bits)

- **Word** (palavra): é uma quantidade fixa de bits que é manipulada pelo computador como uma unidade.

- O que significa isso??

Memória Principal x Virtual

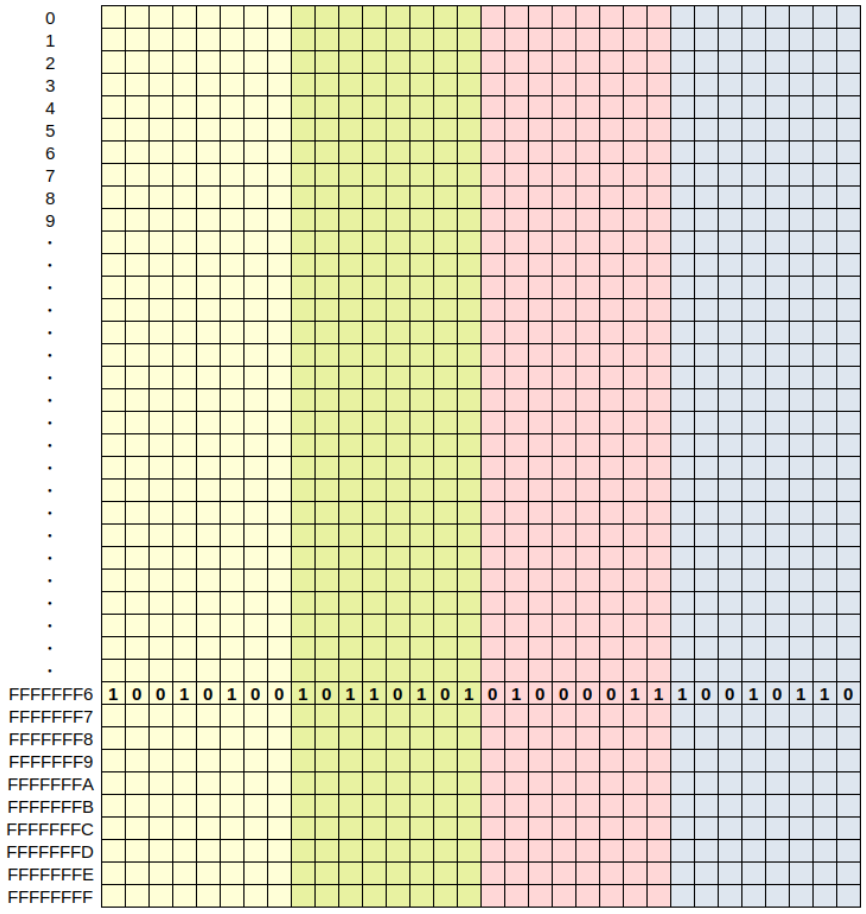


Em computadores com arquitetura de 16 bits:

- Cada Word tem 16 bits (2 bytes);
- Cada Word pode armazenar $2^{16} = 65536$ números diferentes, variando entre 0 e $2^{16} - 1$ (0 a 65535; 0 a FFFF em hexadecimal);
- Isso significa que computadores de 16 bits podem endereçar até 64 KiB de memória (65536/1024 = 64).

O endereço de memória FFF6 (65526) armazena um número binário que representa OUTRO ENDEREÇO de memória, o endereço 9D83 (40323).

Memória Principal x Virtual

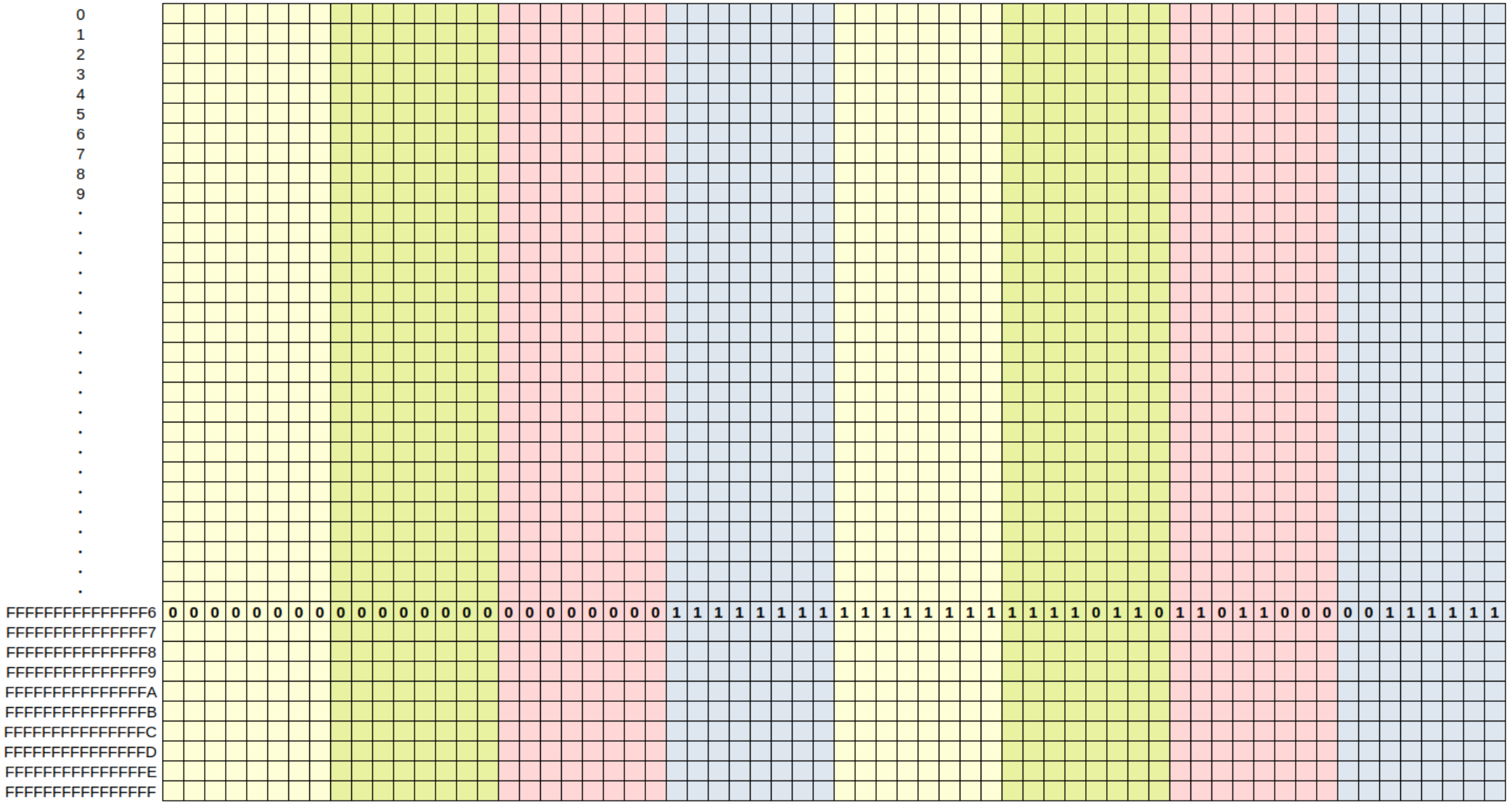


Em computadores com arquitetura de 32 bits:

- Cada Word tem 32 bits (4 bytes);
- Cada Word pode armazenar $2^{32} = 4294967296$ números diferentes, variando entre 0 e $2^{32} - 1$ (0 a 4294967295; 0 a FFFFFFFF em hexadecimal);
- Isso significa que computadores de 32 bits podem endereçar até 4 GiB de memória ($4294967296/1024^3 = 4$).

O endereço de memória FFFFFFF6 (4294967286) armazena um número binário que representa OUTRO ENDEREÇO de memória, o endereço 94B54396 (2494907286).

Memória Principal x Virtual



Memória Principal x Virtual

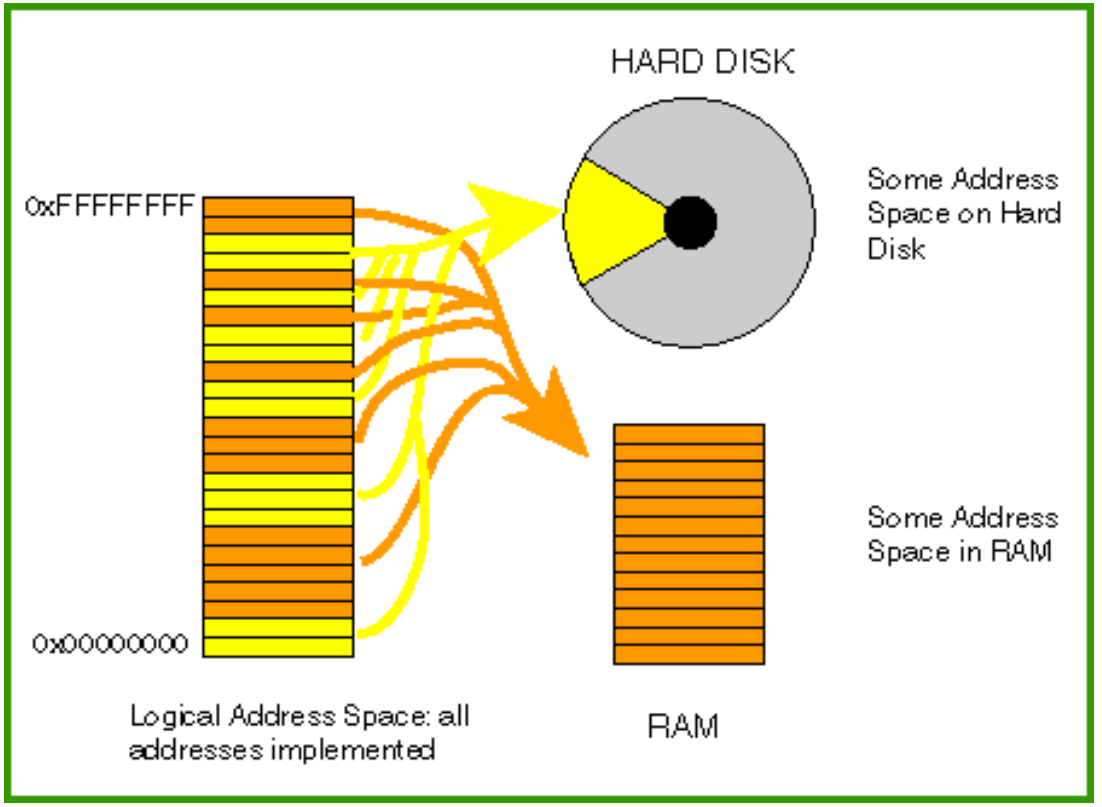
Em computadores com arquitetura de 64 bits:

- Cada Word tem 64 bits (8 bytes);
- Cada Word pode armazenar $2^{64} = 18446744073709551616$ números diferentes, va-riando entre 0 e $2^{64} - 1$ (0 a 18446744073709551615; 0 a FFFFFFFFFFFFFFFF em hexadecimal);
- Isso significa que computadores de 64 bits podem endereçar até 16 EiB de memória ($18446744073709551616/1024^6 = 16$).

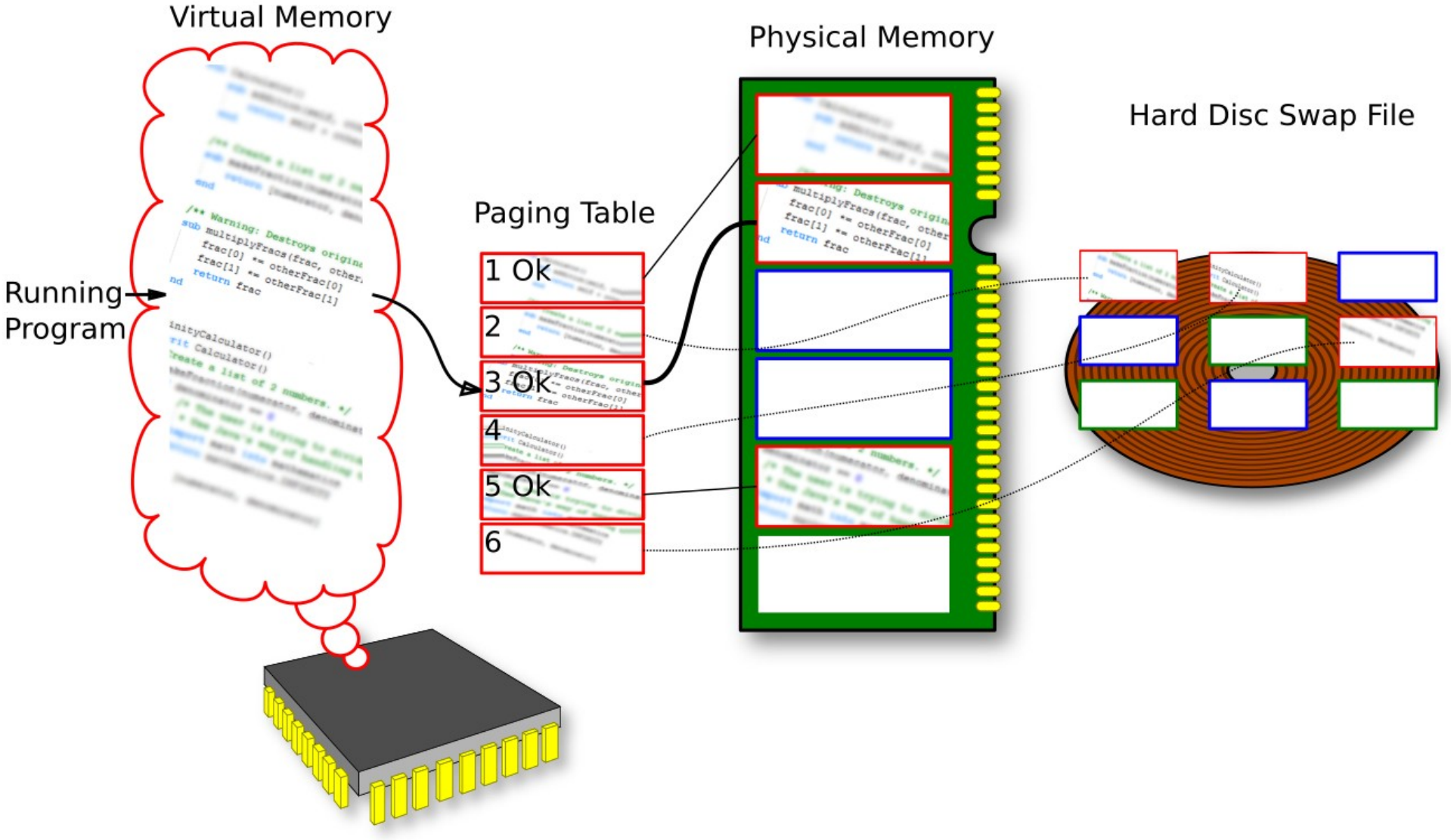
O endereço de memória FFFFFFFFFFFFFFF6 (18446744073709551606) armazena um número binário que representa OUTRO ENDEREÇO de memória, o endereço FFFFF6D83F (1099511027775).

Memória Principal x Virtual

- **Como pode isso?**
  - TODO o espaço de endereçamento está presente, independente da quantidade de RAM física real.



Memória Principal x Virtual



Memória Principal x Virtual

- **Aff...**

Physical Memory Limits: Windows Vista

The following table specifies the limits on physical memory for Windows Vista.

Version	Limit on X86	Limit on X64
Windows Vista Ultimate	4 GB	128 GB
Windows Vista Enterprise	4 GB	128 GB
Windows Vista Business	4 GB	128 GB
Windows Vista Home Premium	4 GB	16 GB
Windows Vista Home Basic	4 GB	8 GB
Windows Vista Starter	1 GB	

Memória Principal x Virtual

- **Aff...**

Physical Memory Limits: Windows 7

The following table specifies the limits on physical memory for Windows 7.

Version	Limit on X86	Limit on X64
Windows 7 Ultimate	4 GB	192 GB
Windows 7 Enterprise	4 GB	192 GB
Windows 7 Professional	4 GB	192 GB
Windows 7 Home Premium	4 GB	16 GB
Windows 7 Home Basic	4 GB	8 GB
Windows 7 Starter	2 GB	N/A

Memória Principal x Virtual

- **Aff...**

Physical Memory Limits: Windows 10

The following table specifies the limits on physical memory for Windows 10.

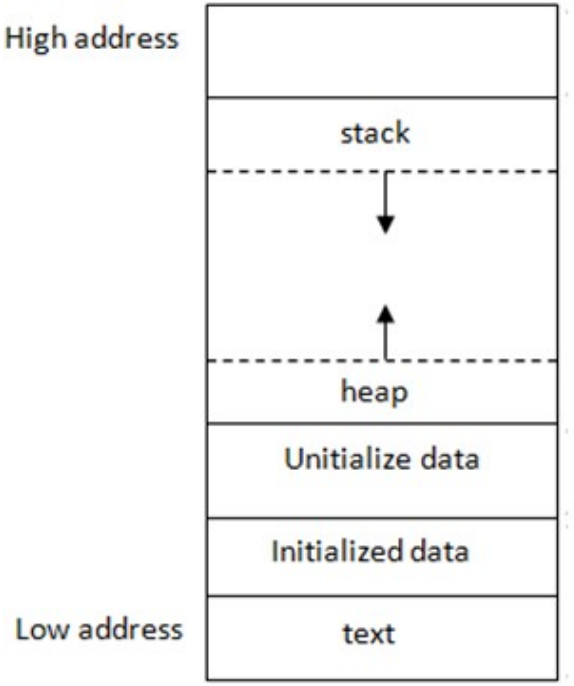
Version	Limit on X86	Limit on X64
Windows 10 Enterprise	4 GB	6 TB
Windows 10 Education	4 GB	2 TB
Windows 10 Pro for Workstations	4 GB	6 TB
Windows 10 Pro	4 GB	2 TB
Windows 10 Home	4 GB	128 GB

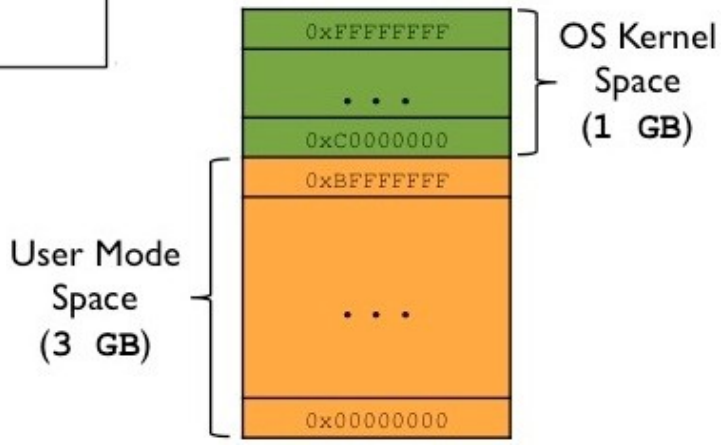
Segmentos da memória

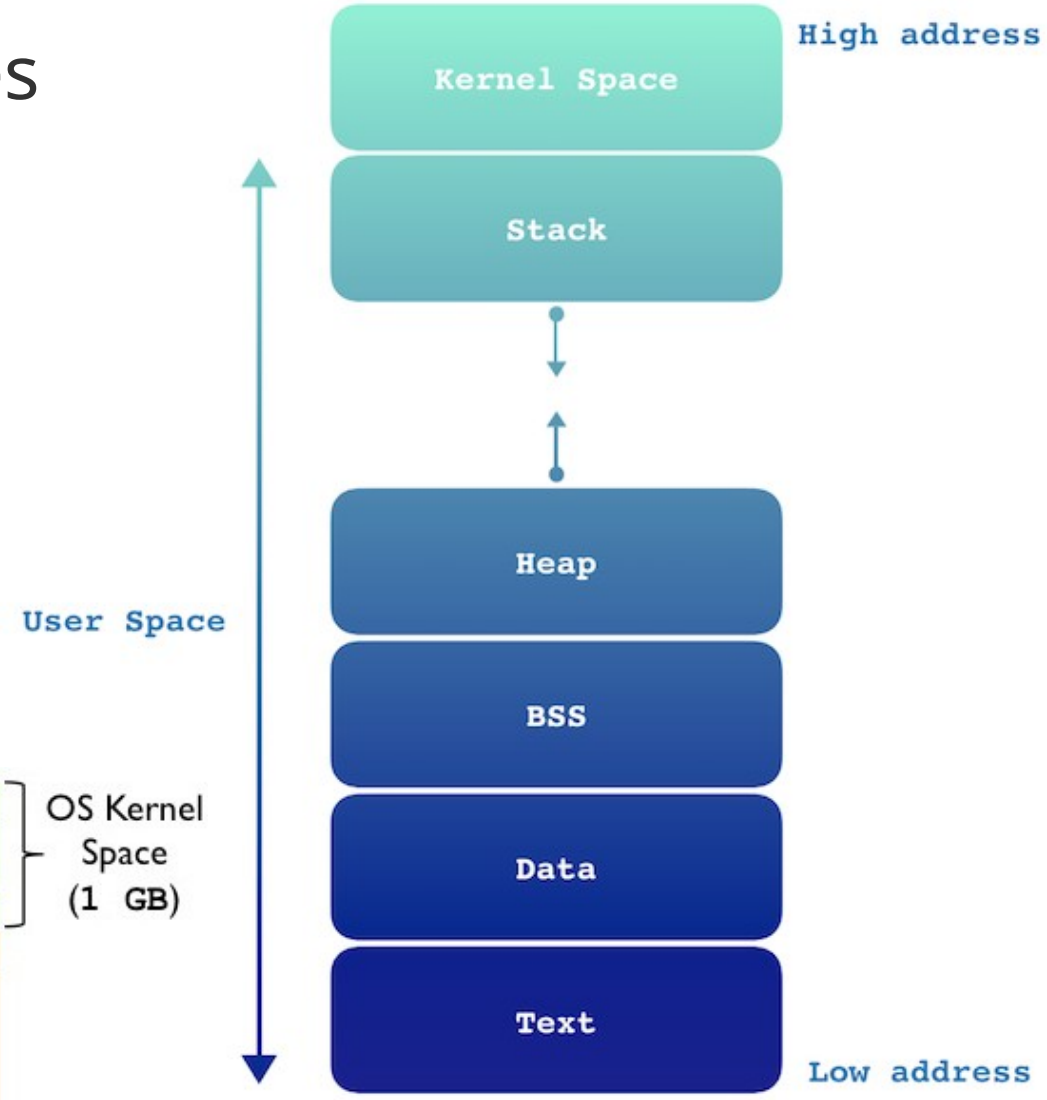
- Quando um programa executa, o processamento é realizdo em 2 grandes espaços da memória (que interagem entre si durante o processamento do programa):
  - **Kernel Space**: recursos reservados para o sistema; só pode ser acessada por processos de usuário através de chamadas de sistema.
  - **User Space**: recursos reservados para o usuário; o programa em execução consegue acessar diretamente. Dividido em diversos segmentos.

Segmentos da memória

- Diferentes representações

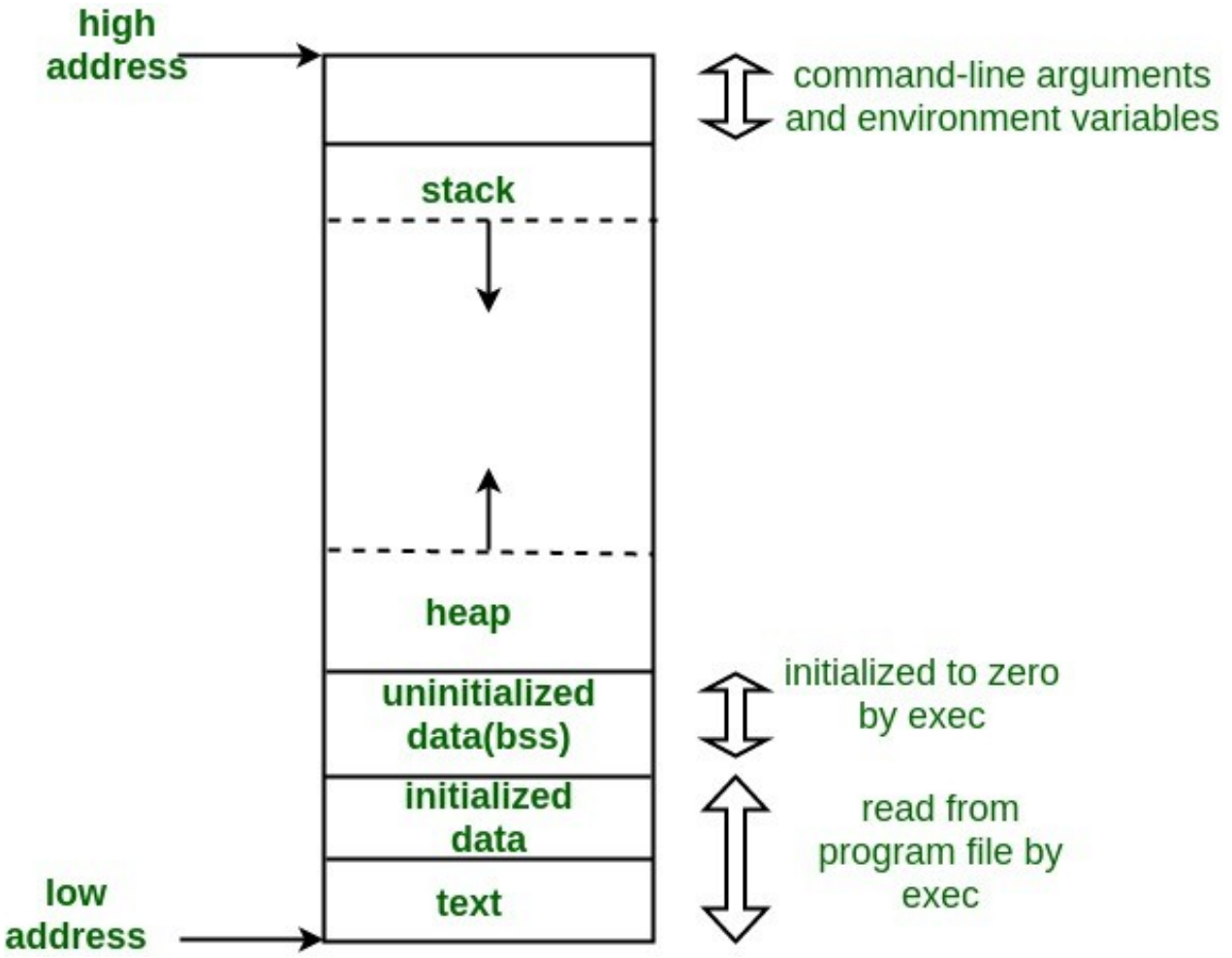






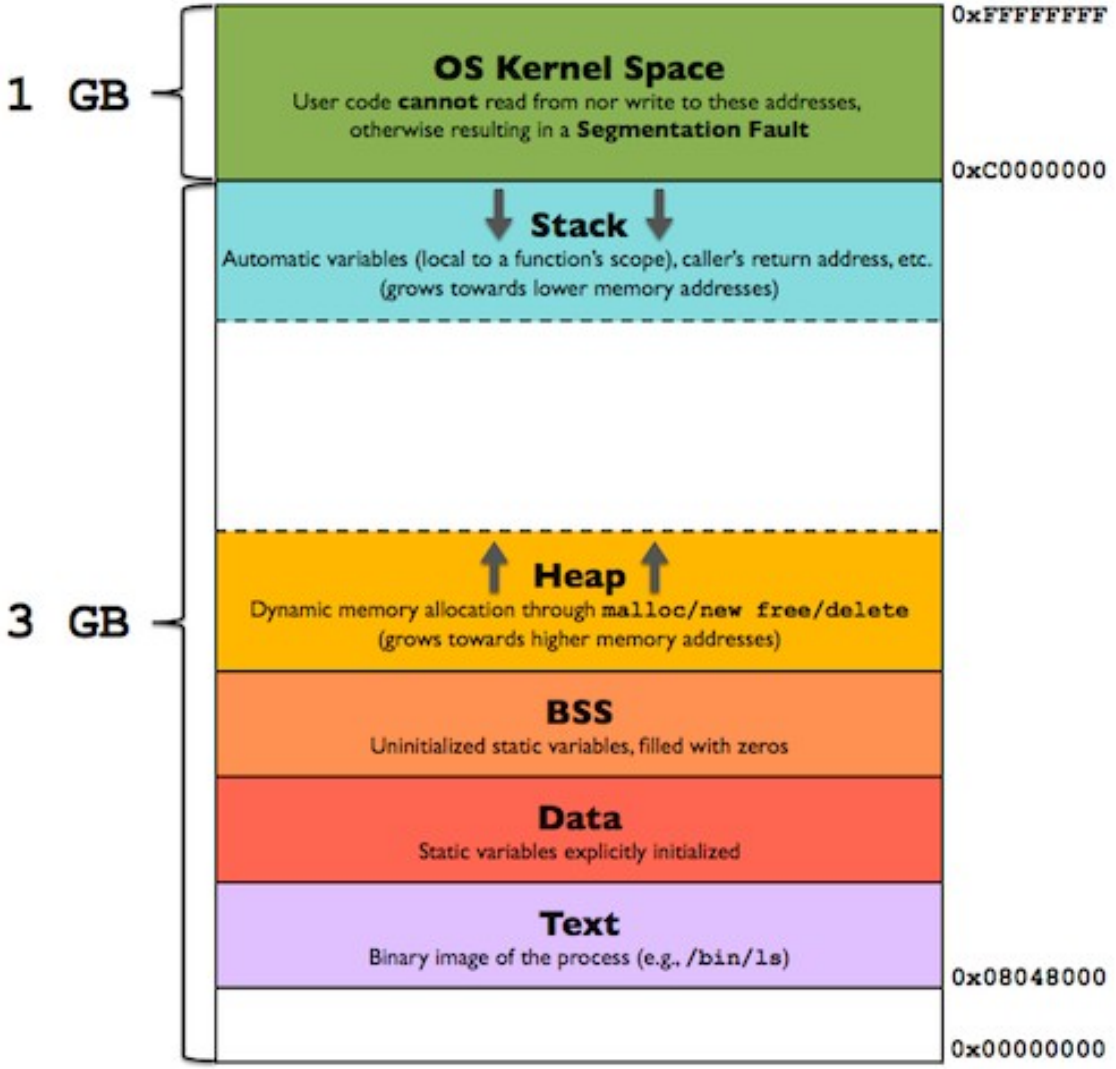
Segmentos da memória

- Diferentes representações



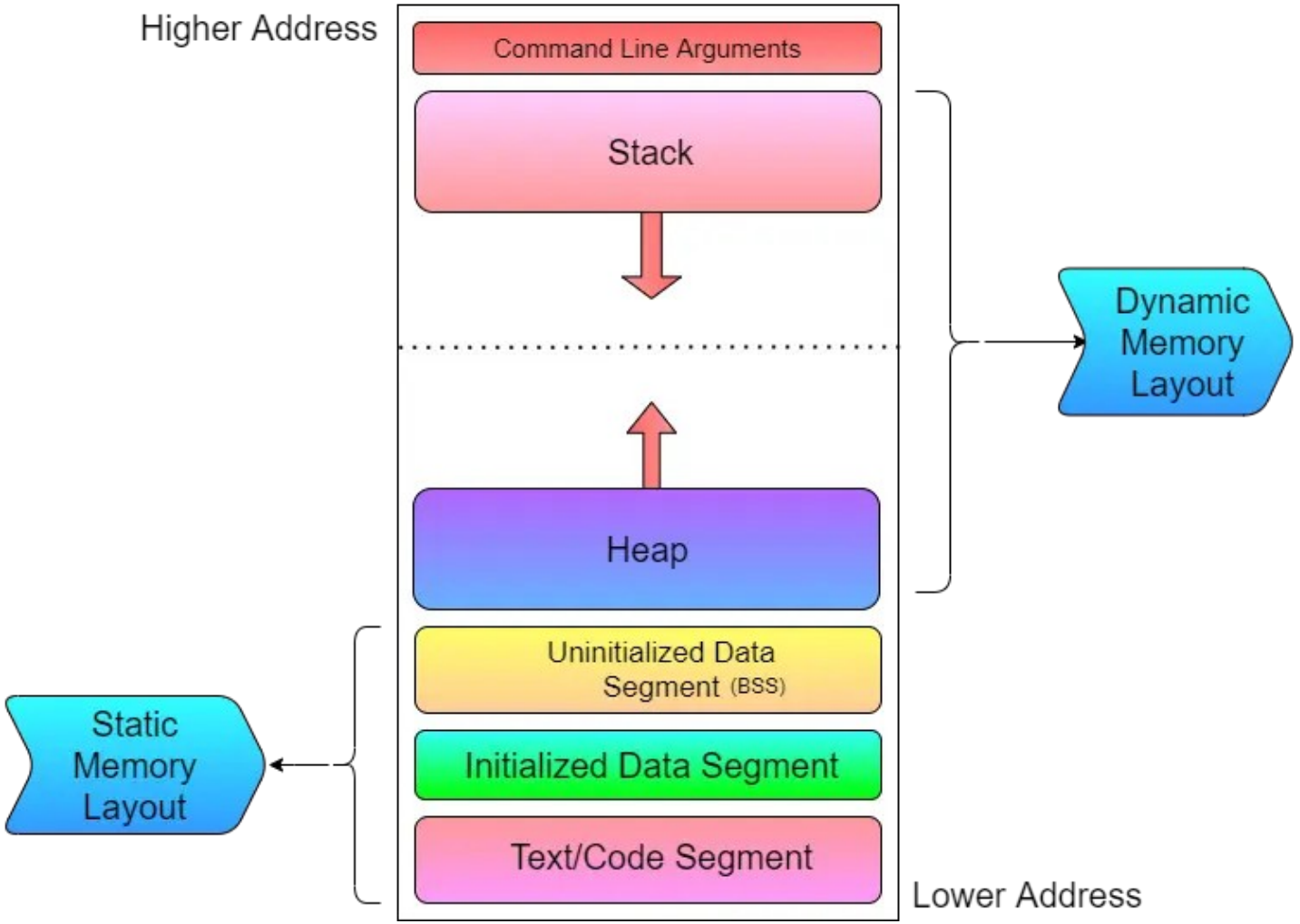
Segmentos da memória

- Diferentes representações



Segmentos da memória

- Diferentes representações



Entendendo:

- Cada programa em execução (processo) tem seu próprio layout de memória (user space) separado de outros programas.
- O espaço de memória é dividido em segmentos, cada um com uma função específica.
- Entender esses segmentos é fundamental para entender o funcionamento das variáveis nas linguagens de programação.
- Vamos ENTENDER e FAZER NA PRÁTICA.

Entendendo: TEXT

- **Text Segment (Code Segement)**:
  - Tamanho fixo
  - Instruções executáveis do programa, o código sendo executado, em linguagem de máquina
  - Inclui a “lógica” do programa
  - Usualmente compartilhado
  - Geralmente:
    - Read-only
    - Execute

Praticando: TEXT

- Verifique o conteúdo do arquivo codigo01.c
- Compile o programa
- Utilize o comando size para verificar a área TEXT

```
[abrantesasf@ideapad ~/memoria]$ gcc -o codigo01 codigo01.c

[abrantesasf@ideapad ~/memoria]$ size codigo01
   text    data     bss     dec     hex filename
   1418     544       8    1970     7b2 codigo01
```

- Use o objdump para obter o segmento TEXT

```
[abrantesasf@ideapad ~/memoria]$ objdump -S codigo01
```

Entendendo: DATA

- **Data Segment (Initialized Data Segement)**:
  - Variáveis globais, estáticas, constantes e extern que foram inicializadas com algum valor diferente de 0
  - Parte read-only e parte read-write
  - Alocado no início do programa
  - Tamanho fixo após alocação
  - Não compartilhado

Praticando: DATA

- Verifique o conteúdo dos arquivo codigo02a.c e codigo02b.c
- Compile os programam
- Utilize o comando size para verificar a área DATA

```
[abrantesasf@ideapad ~/memoria]$ size codigo02a
   text    data     bss     dec     hex filename
   1418     564       4    1986     7c2 codigo02a

[abrantesasf@ideapad ~/memoria]$ size codigo02b
   text    data     bss     dec     hex filename
   1454     552       8    2014     7de codigo02b
```

Entendendo: BSS

- **BSS (Block Started by Symbol, Uninitialized Data Segment)**:
  - Variáveis globais, estáticas e extern que não foram inicializadas ou que foram inicializadas com 0
    - Se não inicializadas, o kernel inicializa com 0
  - Read-write
  - Alocado no início do programa
  - Tamanho fixo após alocação
  - Não compartilhado

Praticando: BSS

- Sua vez! Crie um programa em C para mostrar que variáveis globais e estáticas não inicializadas são armazenadas no segmento BSS!
- Utilize o comando size para ter certeza.

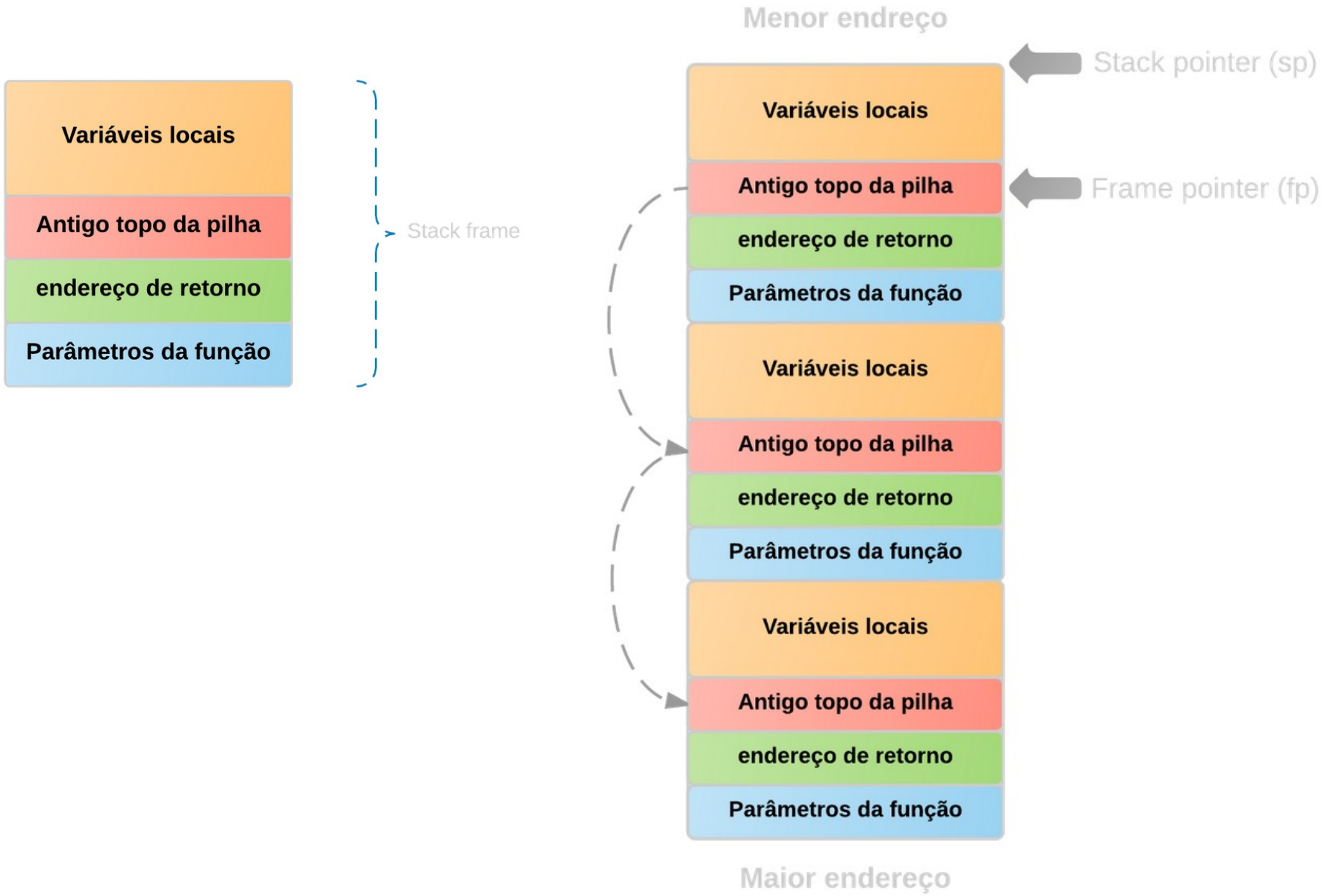
Entendendo: STACK

- **STACK (pilha de execução)**:
  - É uma estrutura de dados do tipo pilha (LIFO)
  - Armazenamento temporário
  - Tudo que é necessário em uma chamada de função (incluindo funções recursivas): STACK FRAME
    - Função chamada e endereço de retorno
    - Parâmetros com seus argumentos
    - Variáveis locais

Entendendo: STACK

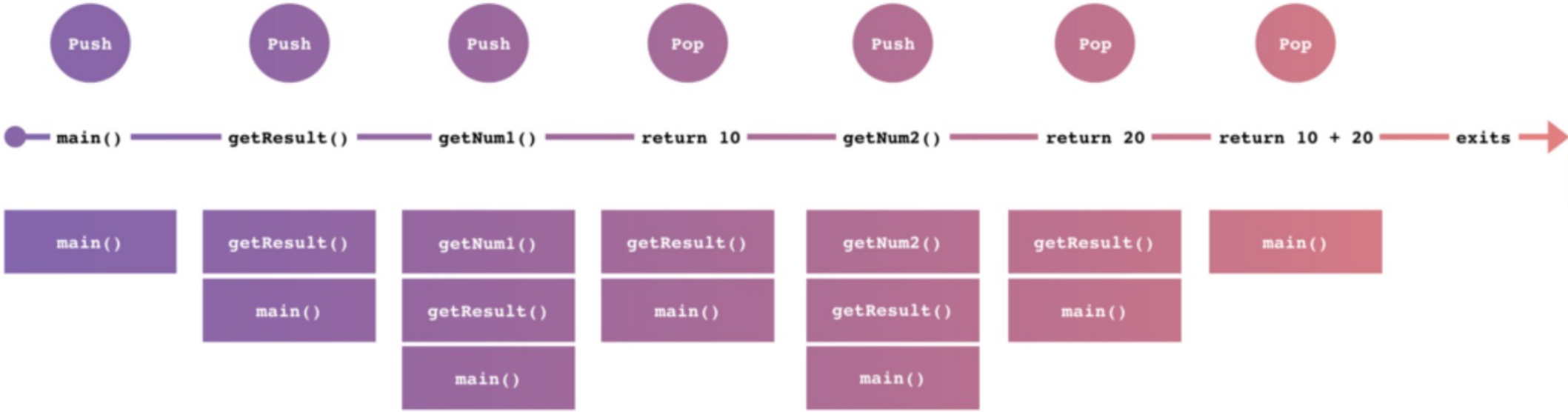
- **STACK (pilha de execução)**:
  - Normalmente é **pequena**! 8 MB ou menos!
    - “ulimit -s” ou “ulimit -a”
    - Objetos grandes não devem ser colocados no stack, risco de stack overflow
    - Não é possível expandir “slots” no stack
    - Não é possível inserir/remover no meio (LIFO)
  - Alocação/desalocação é automática e rápida
  - O stack frame é descartado após a função retornar

Entendendo: STACK

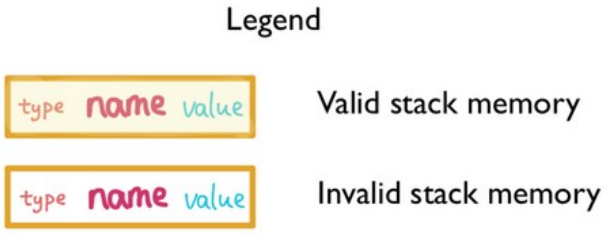


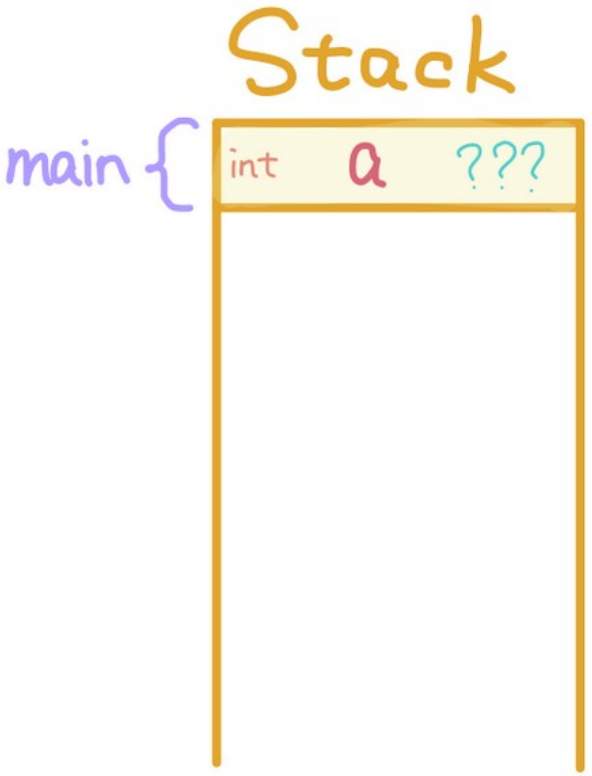
Entendendo: STACK

```
int main() {
  int result = getResult();
}

int getResult() {
  int num1 = getNum1();
  int num2 = getNum2();
  return num1 + num2;
}

int getNum1() {
  return 10;
}

int getNum2() {
  return 20;
}
```



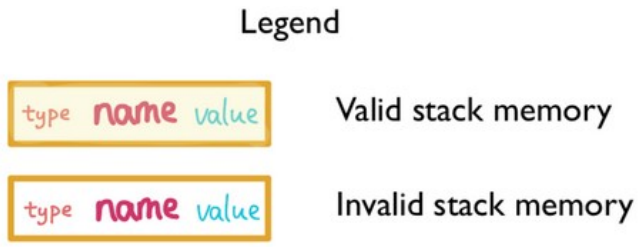
Entendendo: STACK

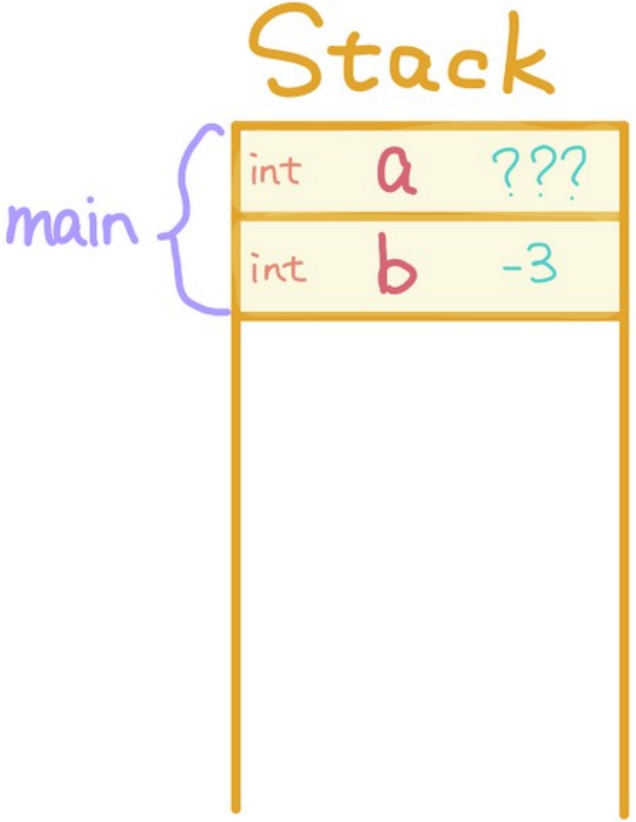





```c
int hello() {
  int a = 100;
  return a;
}
int main() {
  int a;
  int b = -3;
  int c = 12345;
  int *p = &b;
  int d = hello();
  return 0;
}
```

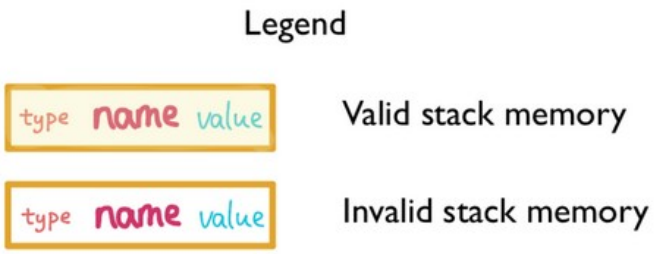
Entendendo: STACK

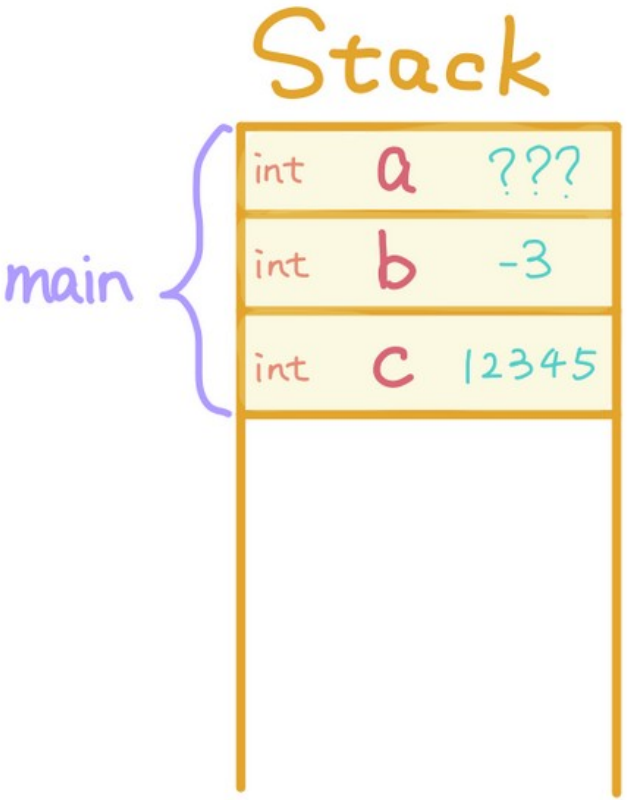





```c
int hello() {
  int a = 100;
  return a;
}
int main() {
  int a;
  int b = -3;
  int c = 12345;
  int *p = &b;
  int d = hello();
  return 0;
}
```

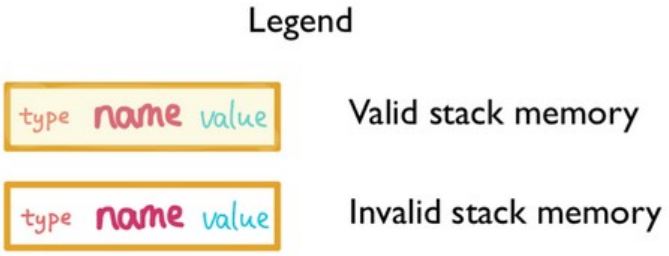
Entendendo: STACK

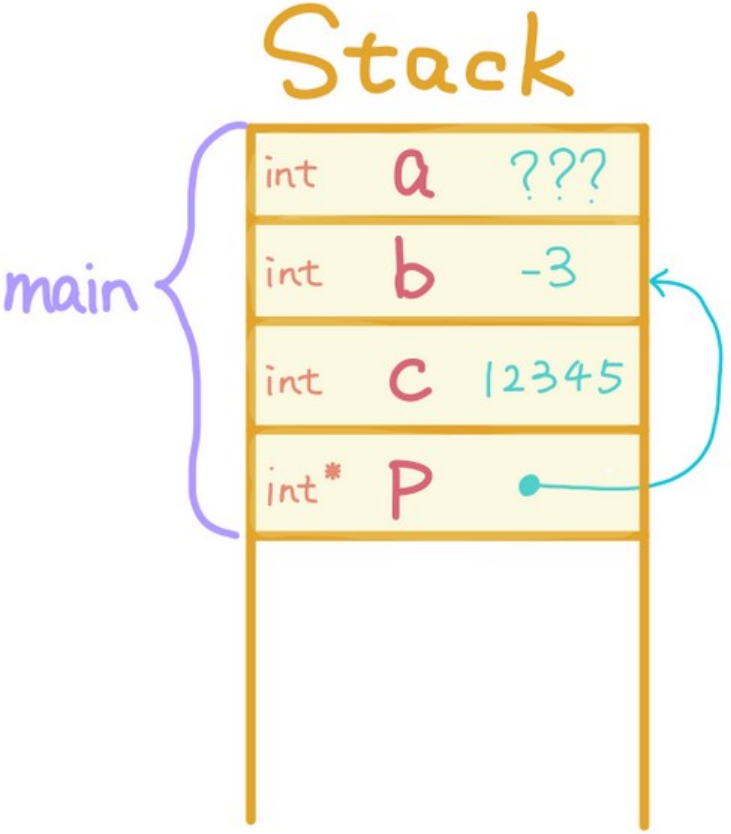





```c
int hello() {
  int a = 100;
  return a;
}
int main() {
  int a;
  int b = -3;
  int c = 12345;
  int *p = &b;
  int d = hello();
  return 0;
}
```

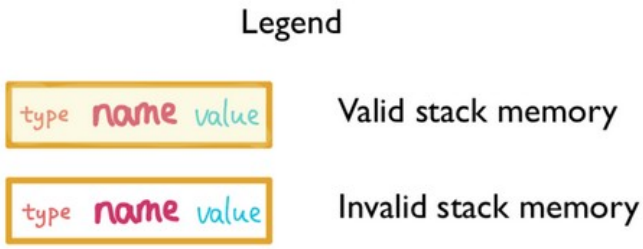
Entendendo: STACK

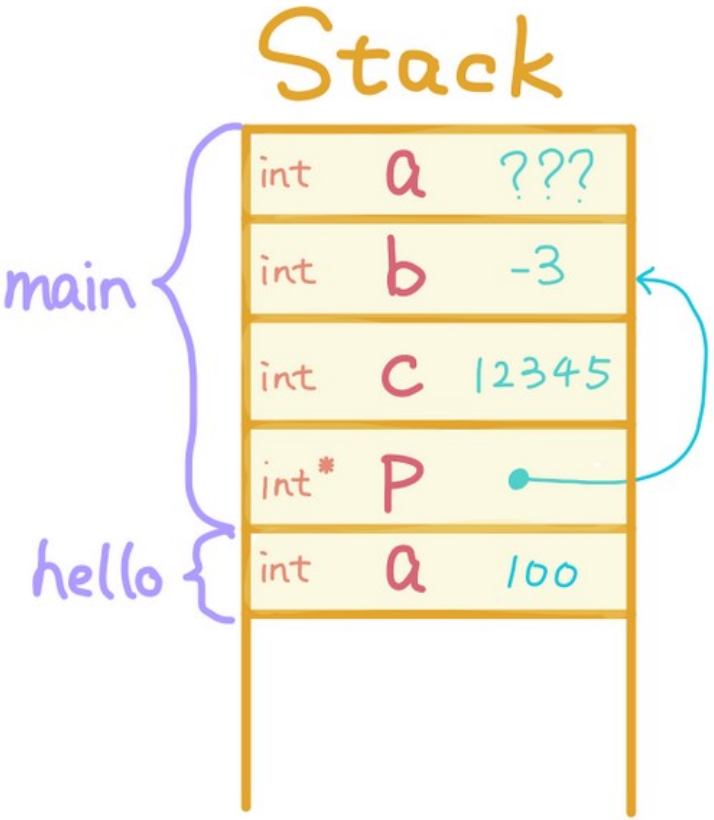





```c
int hello() {
  int a = 100;
  return a;
}
int main() {
  int a;
  int b = -3;
  int c = 12345;
  int *p = &b;
  int d = hello();
  return 0;
}
```

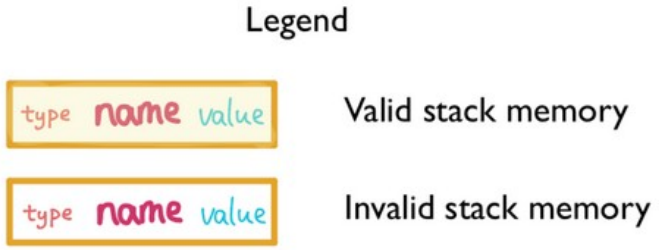
Entendendo: STACK

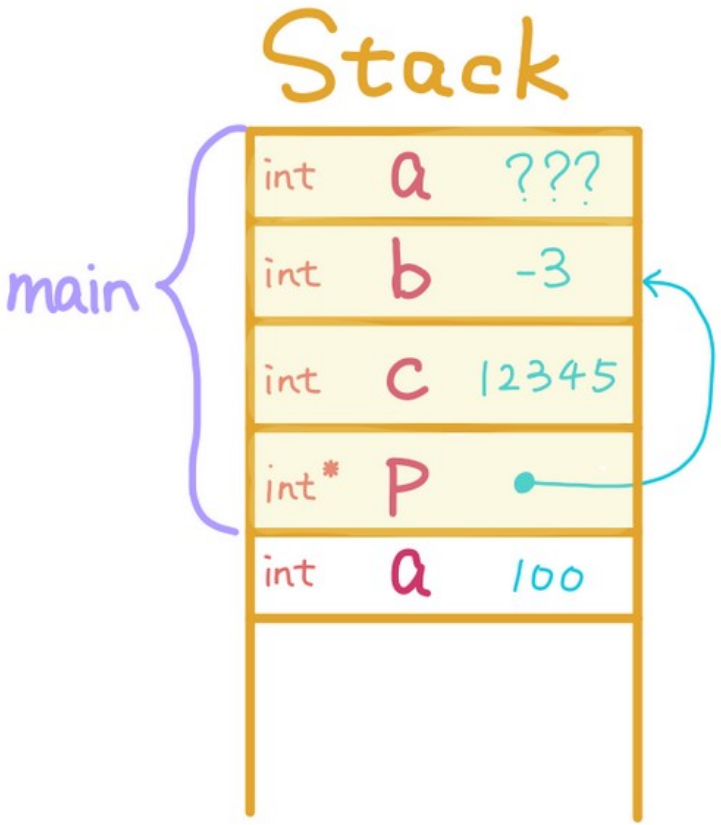





```c
int hello() {
  int a = 100;
  return a;
}
int main() {
  int a;
  int b = -3;
  int c = 12345;
  int *p = &b;
  int d = hello();
  return 0;
}
```

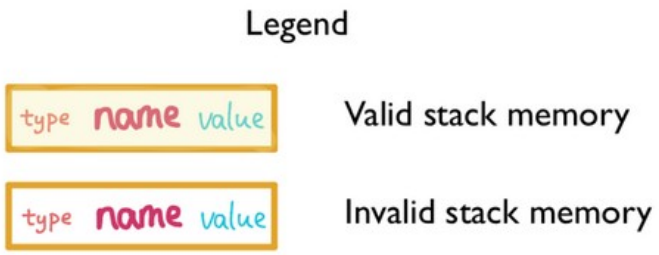
Entendendo: STACK

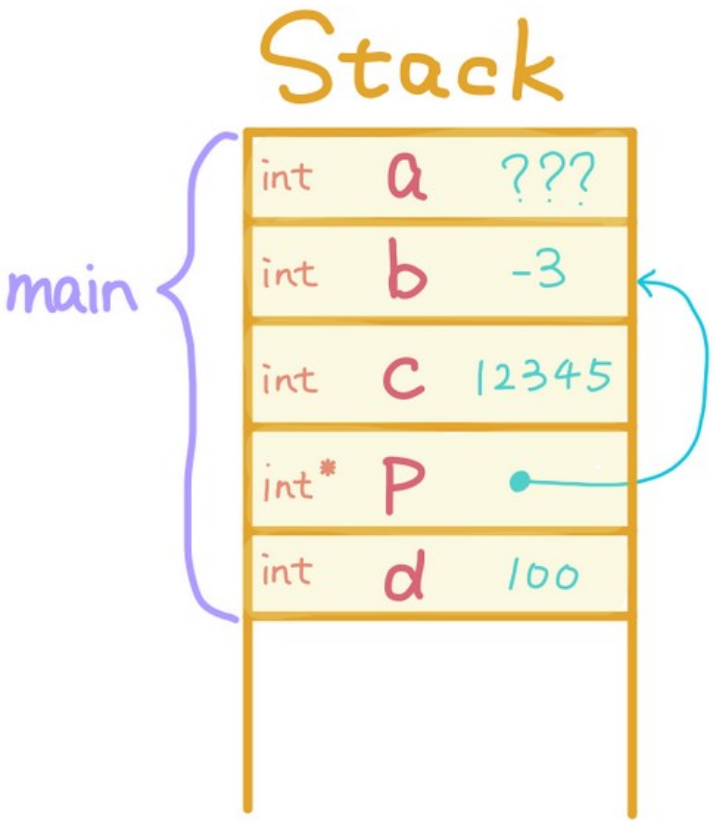





```c
int hello() {
  int a = 100;
  return a;
}
int main() {
  int a;
  int b = -3;
  int c = 12345;
  int *p = &b;
  int d = hello();
  return 0;
}
```

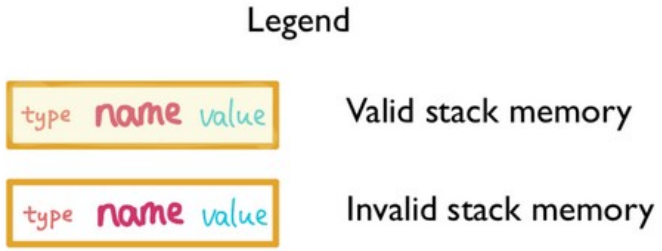
Entendendo: STACK

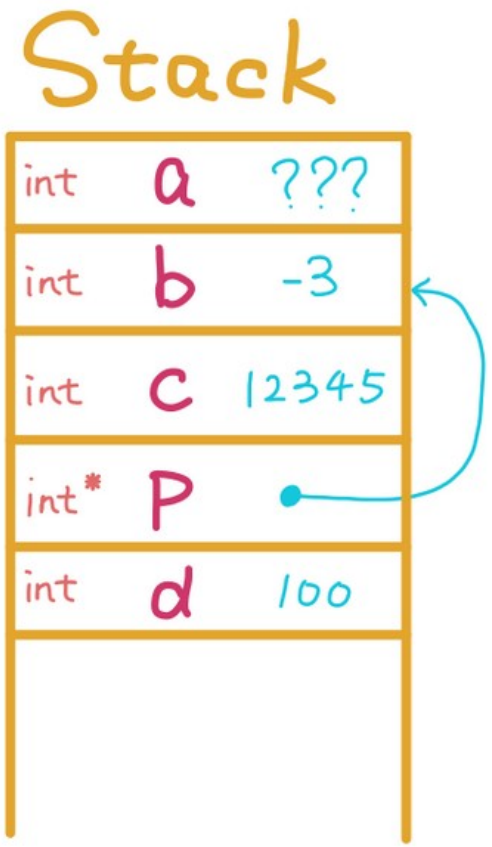





```c
int hello() {
  int a = 100;
  return a;
}
int main() {
  int a;
  int b = -3;
  int c = 12345;
  int *p = &b;
  int d = hello();
  return 0;
}
```

Entendendo: STACK



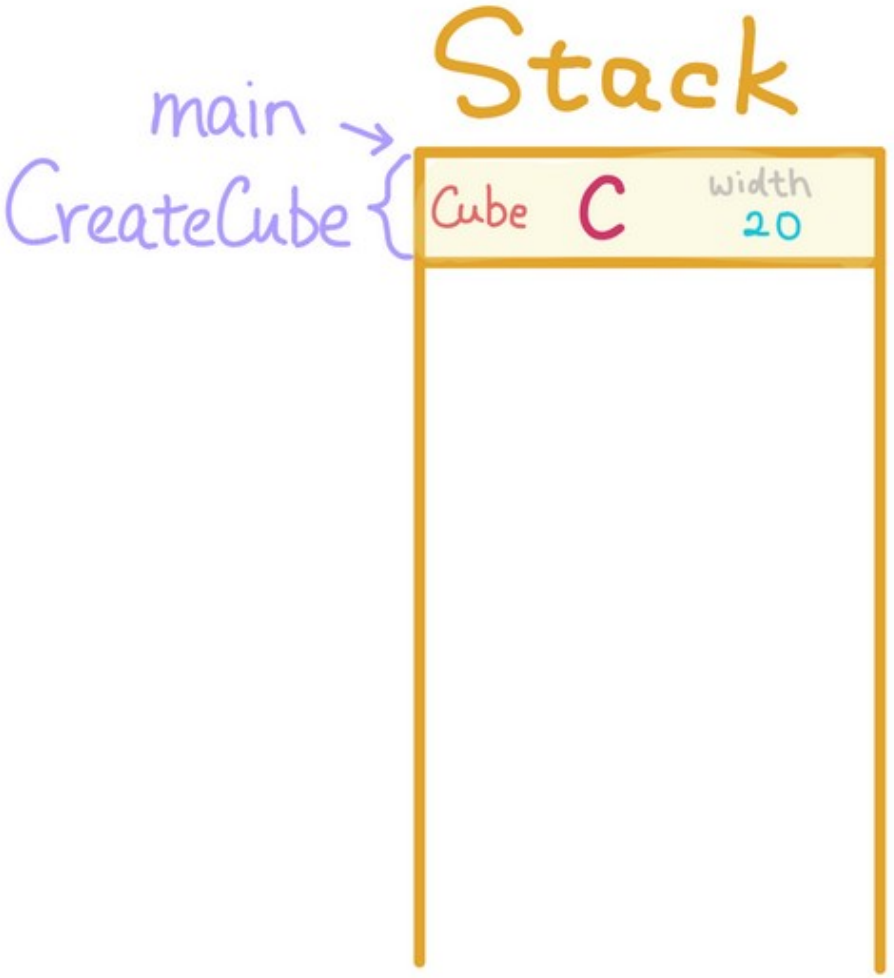



```c
int hello() {
  int a = 100;
  return a;
}
int main() {
  int a;
  int b = -3;
  int c = 12345;
  int *p = &b;
  int d = hello();
  return 0;
}
```

Entendendo: STACK

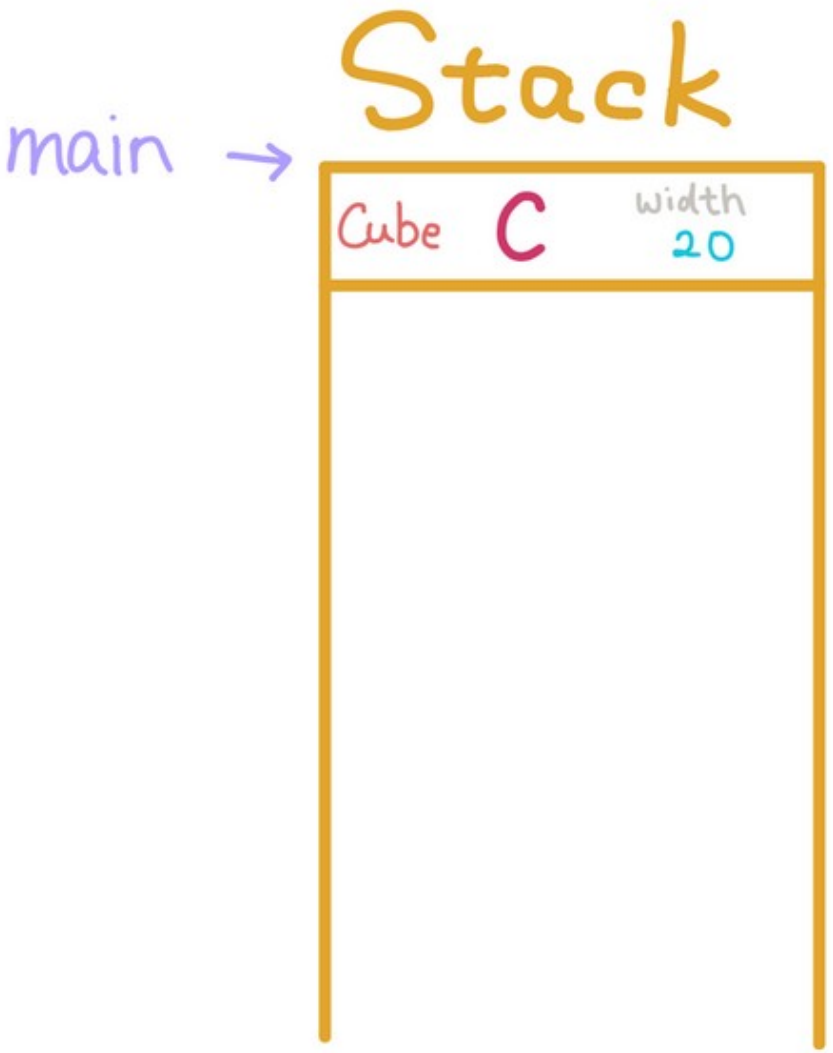
- **STACK (pilha de execução)**:
  - Cuidado para não tentar usar uma variável criada no stack FORA do escopo da função que foi chamada!
    - Lembre-se que a desalocação é automática!!!
    - Fonte comum de erros nos programas em C, C++

Entendendo: STACK



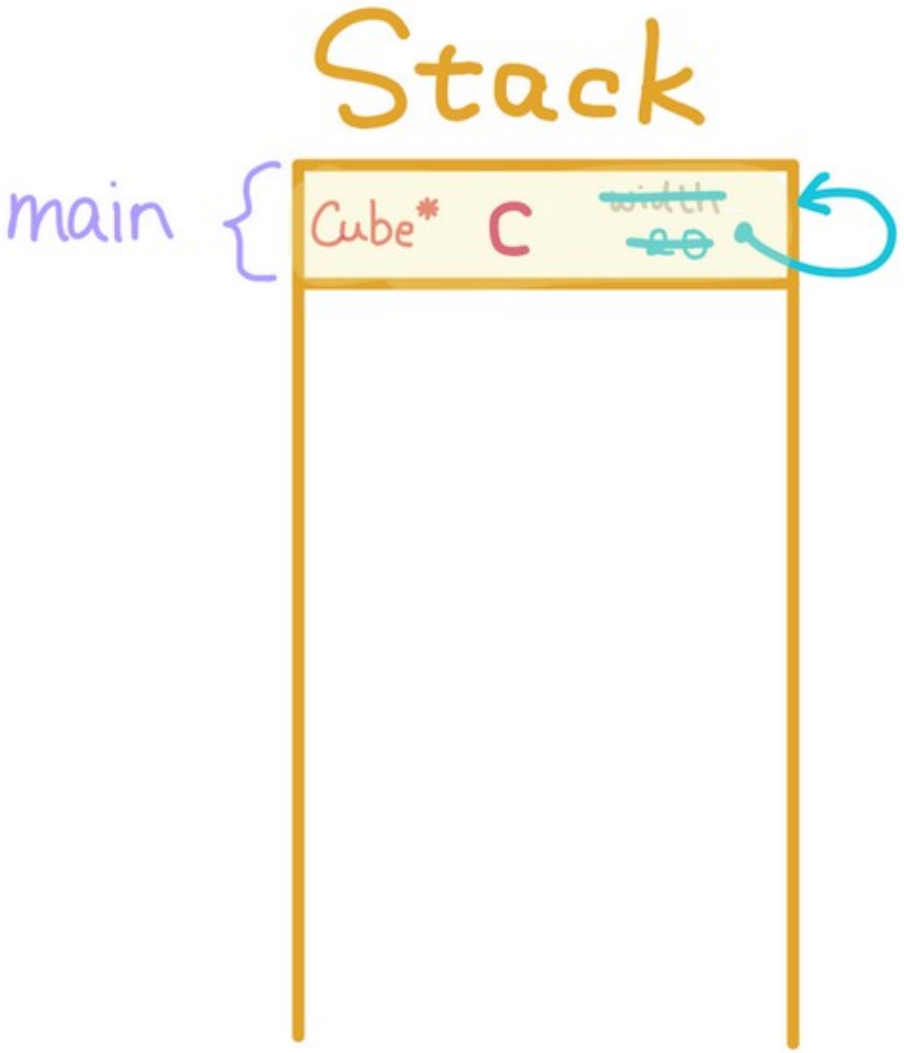

```
Cube *CreateCube() {
  Cube c(20);
  return &c;
}
int main() {
  Cube *c = CreateCube();
  double r = c->getVolume();
  double v = c->getSurfaceArea();
  return 0;
}
```

Entendendo: STACK



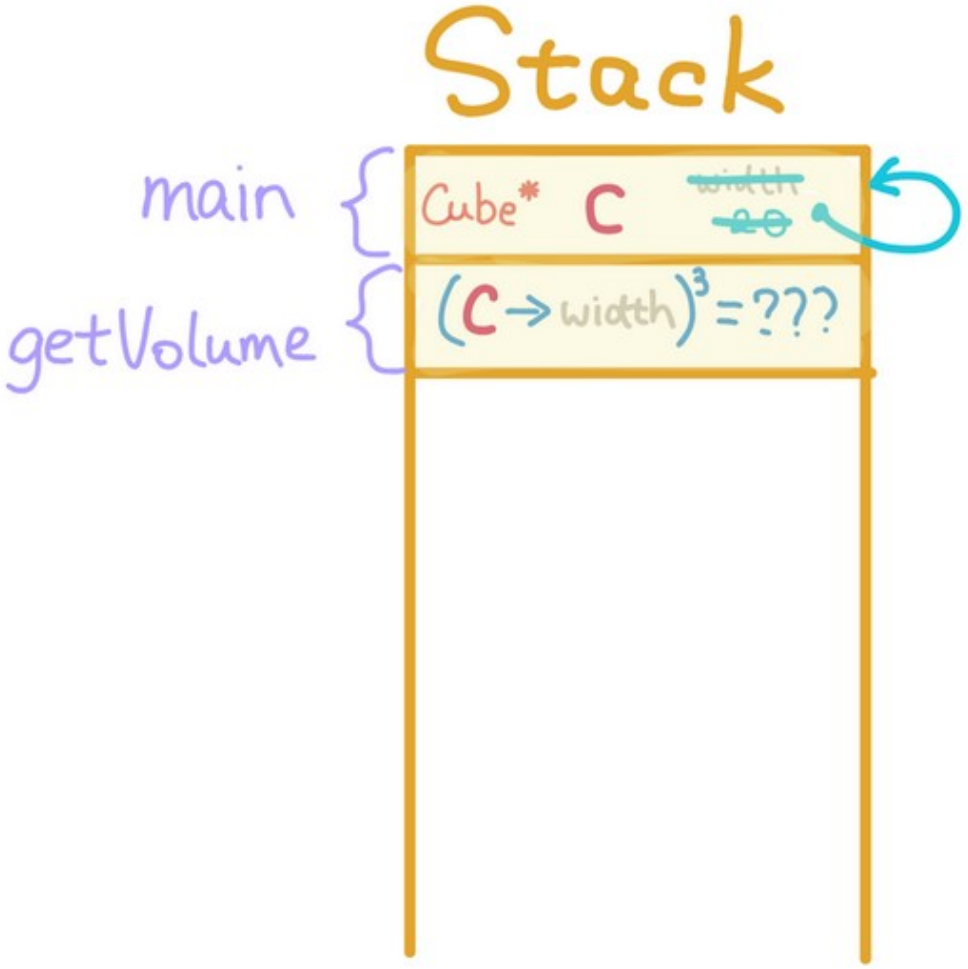

```
Cube *CreateCube() {
  Cube c(20);
  return &c;
}
int main() {
  Cube *c = CreateCube();
  double r = c->getVolume();
  double v = c->getSurfaceArea();
  return 0;
}
```

Entendendo: STACK



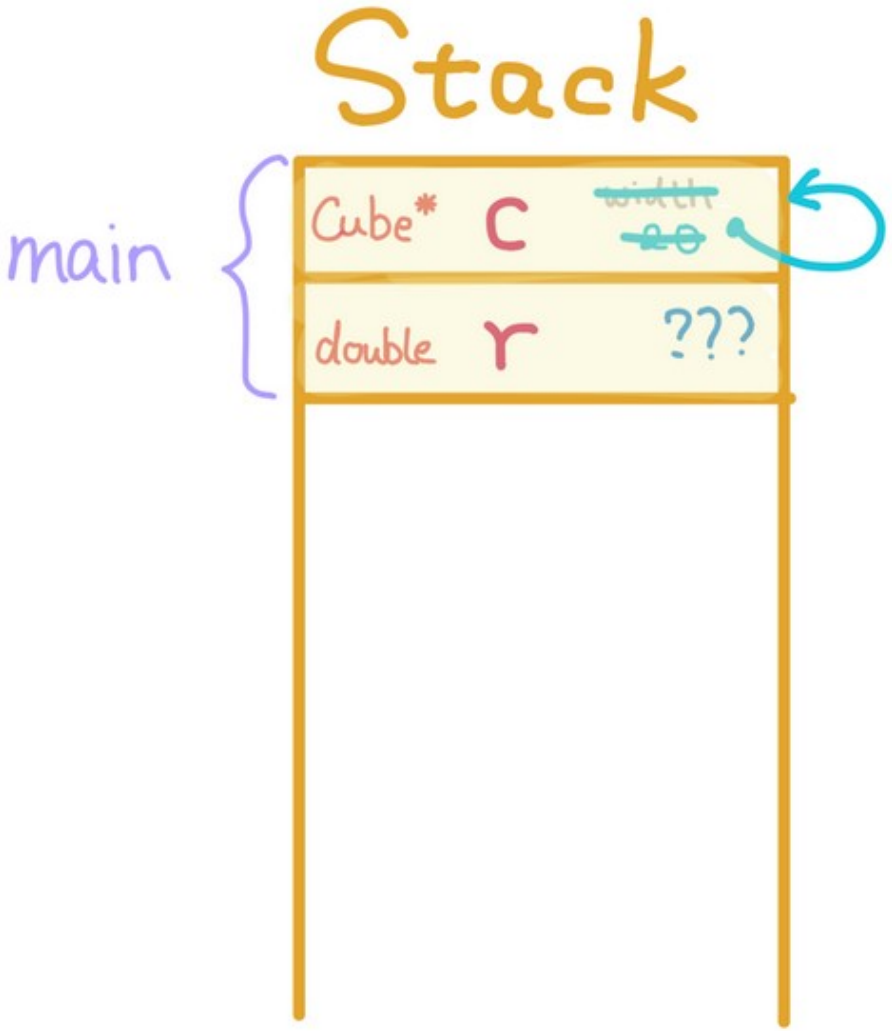

```
Cube *CreateCube() {
  Cube c(20);
  return &c;
}
int main() {
  Cube *c = CreateCube();
  double r = c->getVolume();
  double v = c->getSurfaceArea();
  return 0;
}
```

Entendendo: STACK



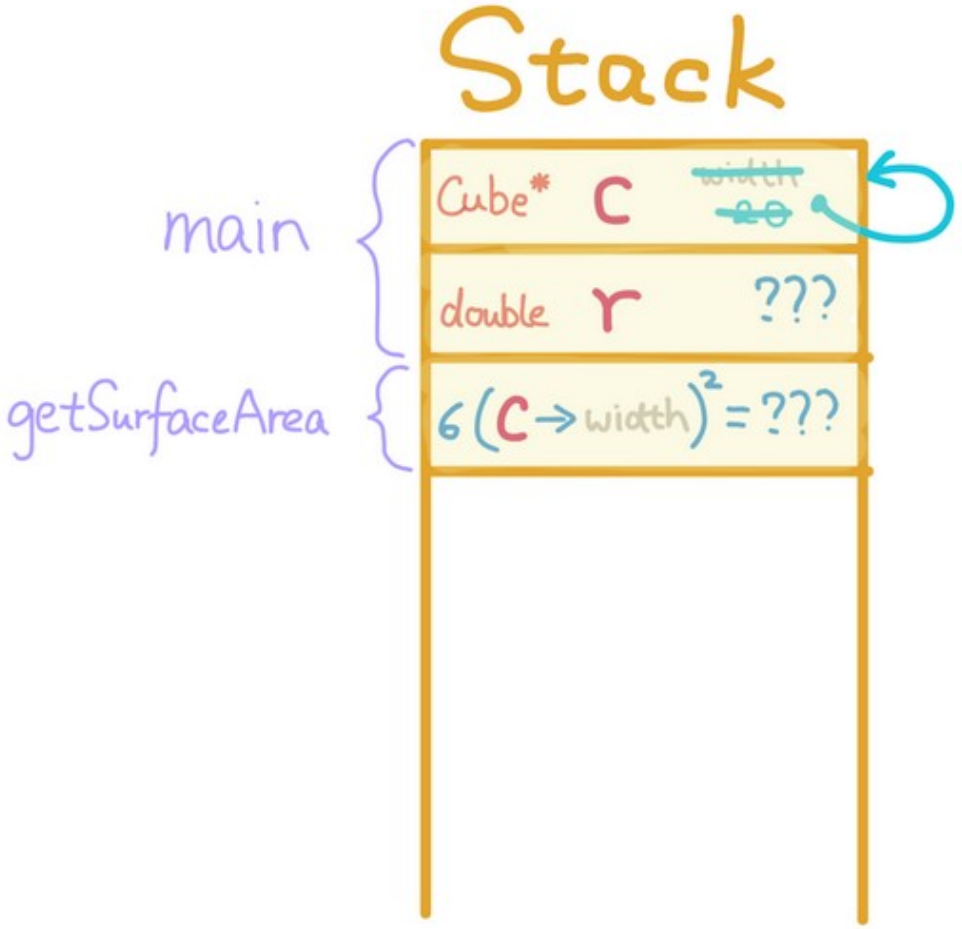

```
Cube *CreateCube() {
  Cube c(20);
  return &c;
}
int main() {
  Cube *c = CreateCube();
  double r = c->getVolume();
  double v = c->getSurfaceArea();
  return 0;
}
```

Entendendo: STACK



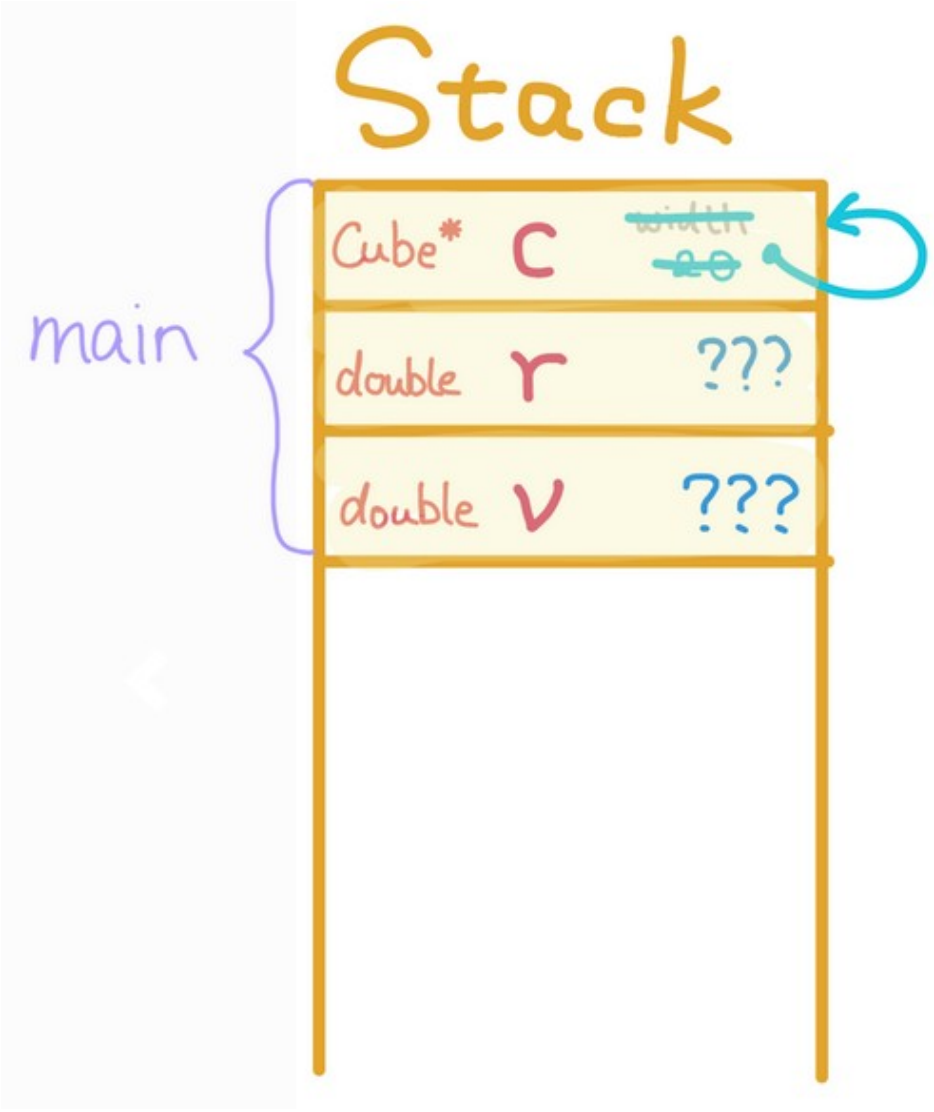

```
Cube *CreateCube() {
  Cube c(20);
  return &c;
}
int main() {
  Cube *c = CreateCube();
  double r = c->getVolume();
  double v = c->getSurfaceArea();
  return 0;
}
```

Entendendo: STACK



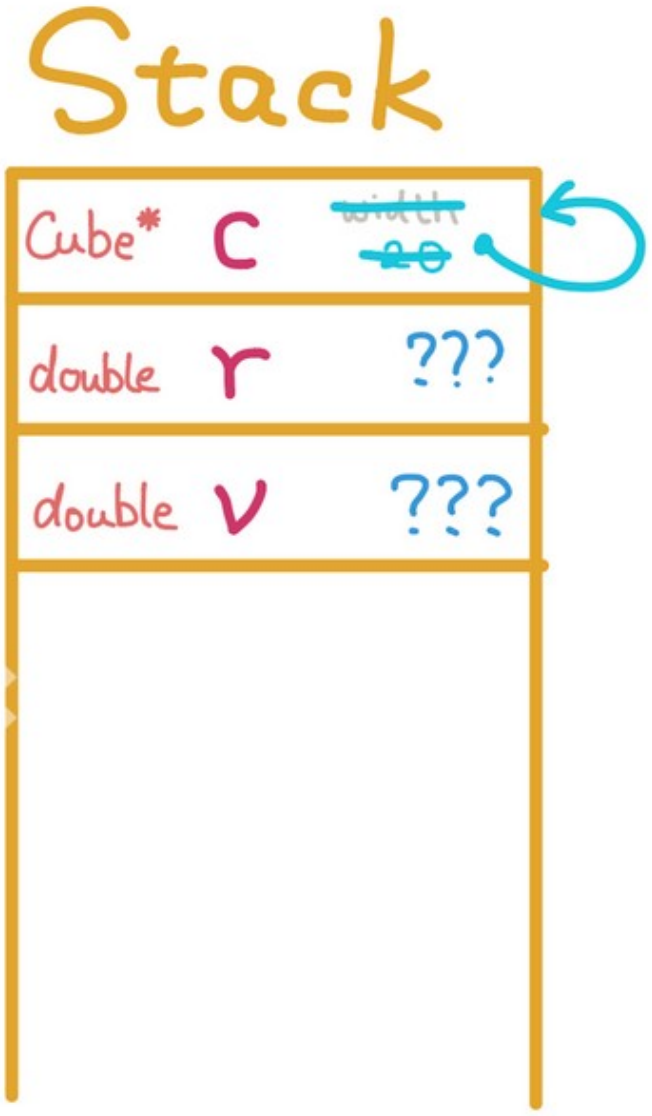

```
Cube *CreateCube() {
  Cube c(20);
  return &c;
}
int main() {
  Cube *c = CreateCube();
  double r = c->getVolume();
  double v = c->getSurfaceArea();
  return 0;
}
```

Entendendo: STACK




```
Cube *CreateCube() {
  Cube c(20);
  return &c;
}
int main() {
  Cube *c = CreateCube();
  double r = c->getVolume();
  double v = c->getSurfaceArea();
  return 0;
}
```

Entendendo: STACK




```
Cube *CreateCube() {
  Cube c(20);
  return &c;
}
int main() {
  Cube *c = CreateCube();
  double r = c->getVolume();
  double v = c->getSurfaceArea();
  return 0;
}
```

Praticando: STACK

- **Vamos ver os endereços do STACK de um processo!**

```c
#include <execinfo.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char **argv)
{

  // Cria algumas variáveis para vermos o endereço:
  int variavel_local_inicializada = 78;
  int variavel_local_nao_inicializada;
  printf("Endereço de: variavel_local_inicializada     = %p\n", &variavel_local_inicializada);
  printf("Endereço de: variavel_local_nao_inicializada = %p\n", &variavel_local_nao_inicializada);

  // Cria um loop infinito para dar tempo de verificarmos
  // o mapa de endereços de memória em /proc/<ID do processo>,
  // em outro terminal
  while(1);

  // Retorna
  return 0;

  // ATENÇÃO! Não se esqueça de MATAR MANUALMENTE o processo deste
  // programa, ou ele continuará rodando infinitamente!
}
```

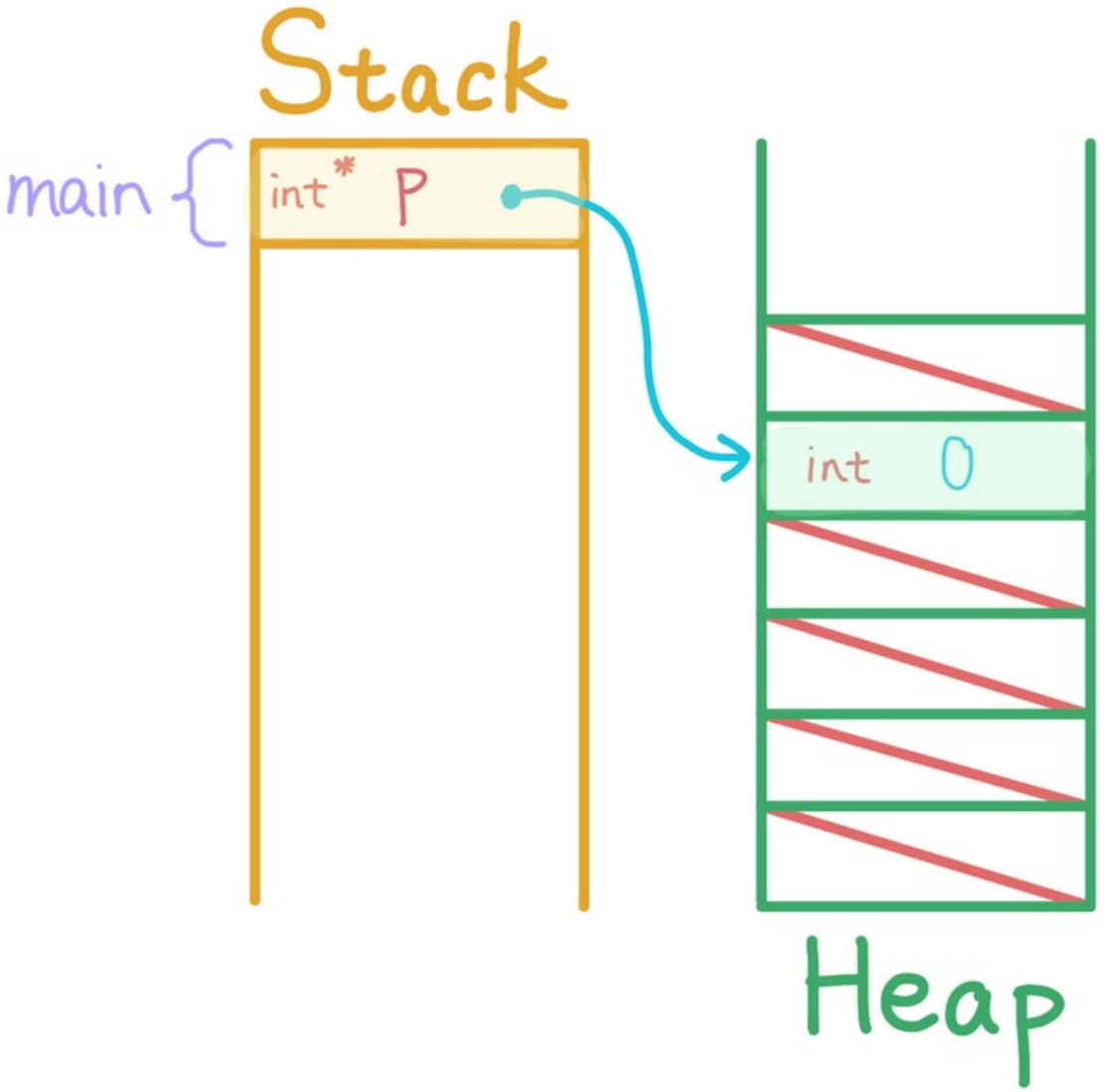
Entendendo: HEAP

- **HEAP (“montão”, “coleção”, “um monte”)**:
  - Alocação dinâmica das variáveis cujo tamanho só é conhecido em runtime (não podem ser determinadas pelo compilador)
  - Mais permanente do que o stack
  - Alocada/Desalocada de forma explícita! Sem gerenciamento automático!
    - Se esquecer de desalocar, é memory leak (exceto se a linguagem tiver garbage collector).
  - O escopo não é limitado (variáveis podem ser referenciadas de diversos locais)

Entendendo: HEAP

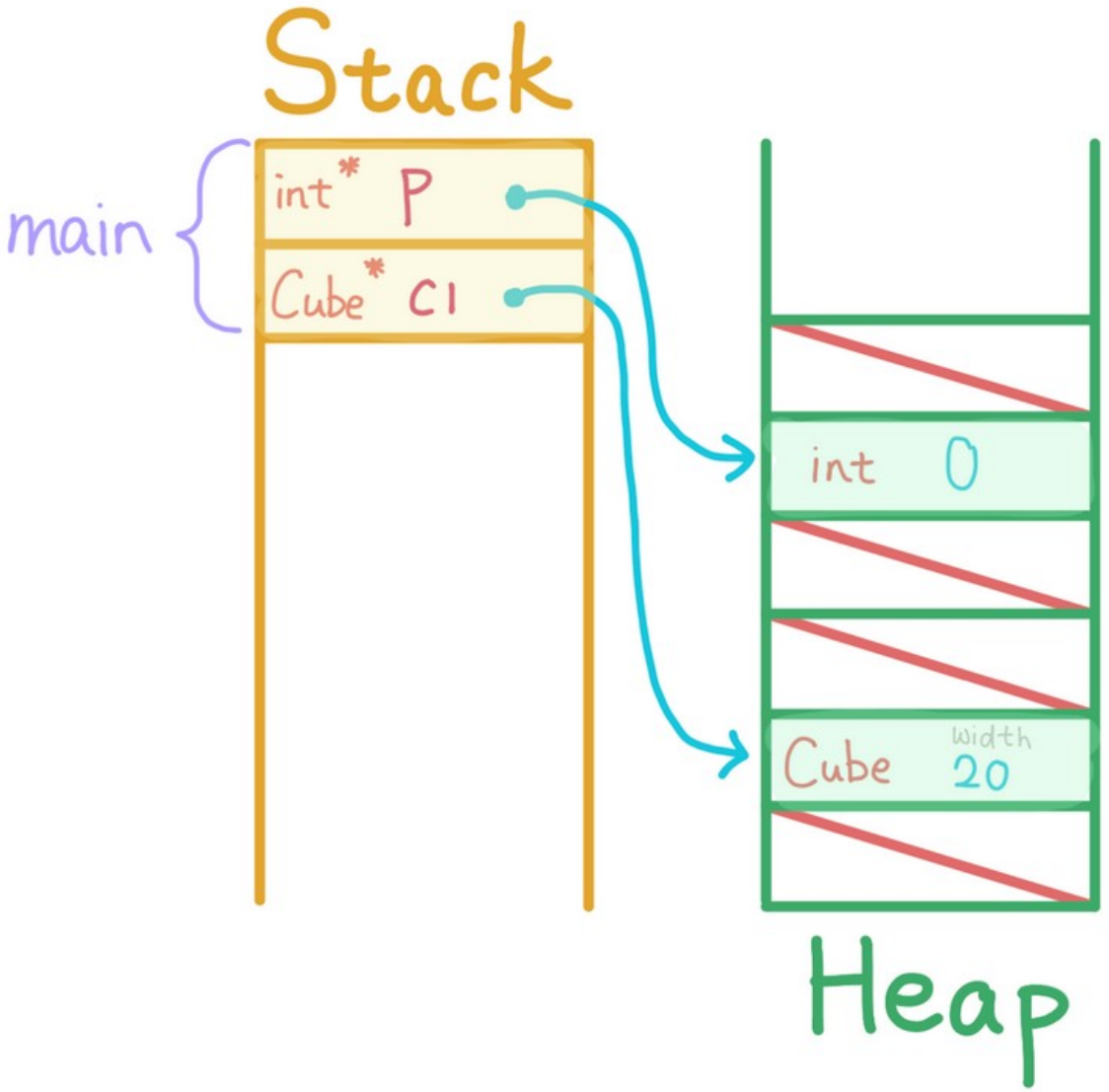
- **HEAP (“montão”, “coleção”, “um monte”)**:
  - É bem grande! Padrão do gcc: 4 GB
    - É possível aumentar com flags específicas durante a compilação (mcmodel = large)
  - Não é uma pilha, pode ser acessada, alocada e desalocada em diferentes posições
  - Armazena tudo o que não pertence ao TEXT, DATA, BSS e STACK.
  - Não organiza nada, é meio “bagunçado”

Entendendo: HEAP



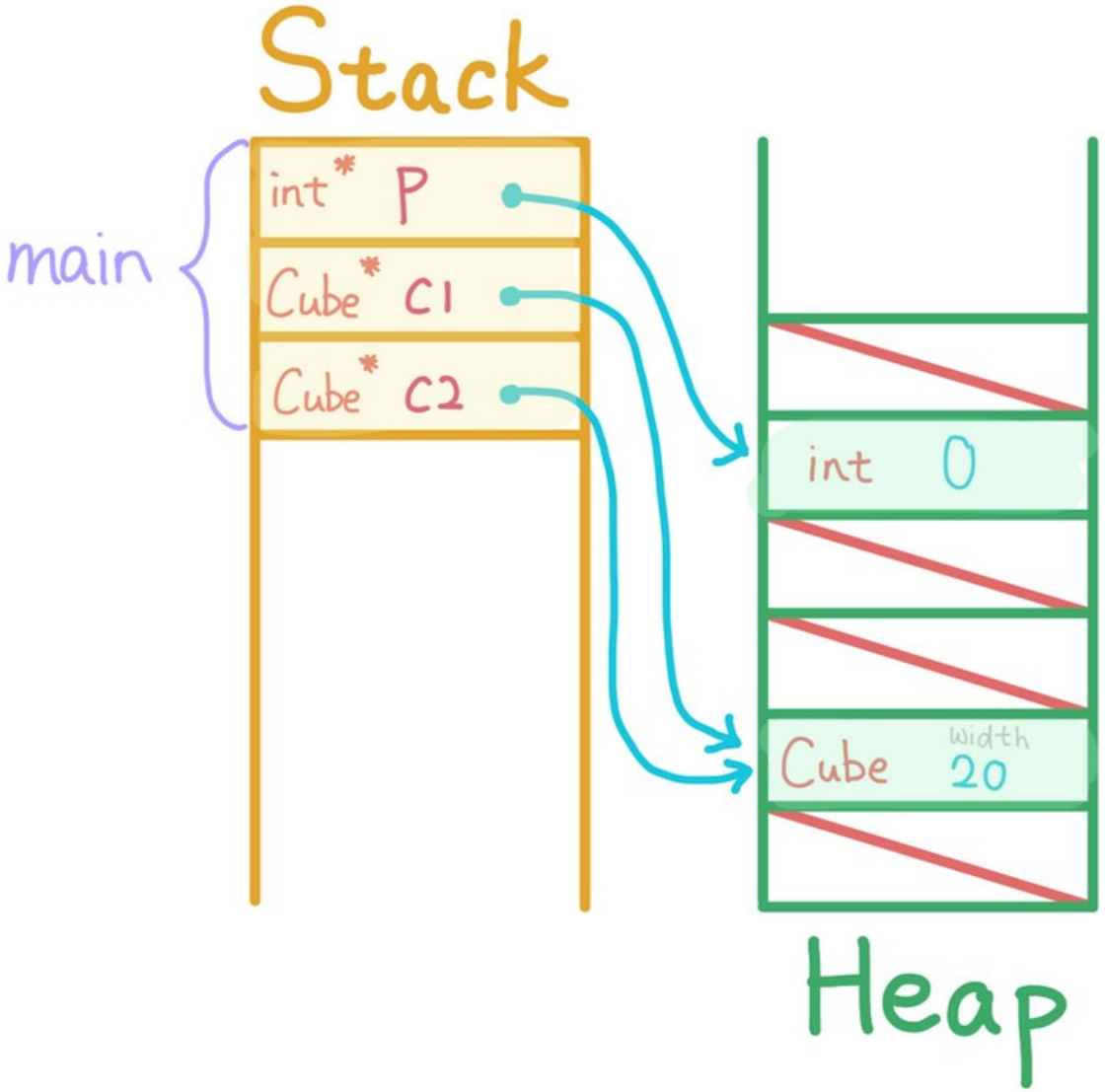

```
int main() {
  int *p = new int;
  Cube *c1 = new Cube();
  Cube *c2 = c1;
  c2->setLength( 10 );
  return 0;
}
```

Entendendo: HEAP



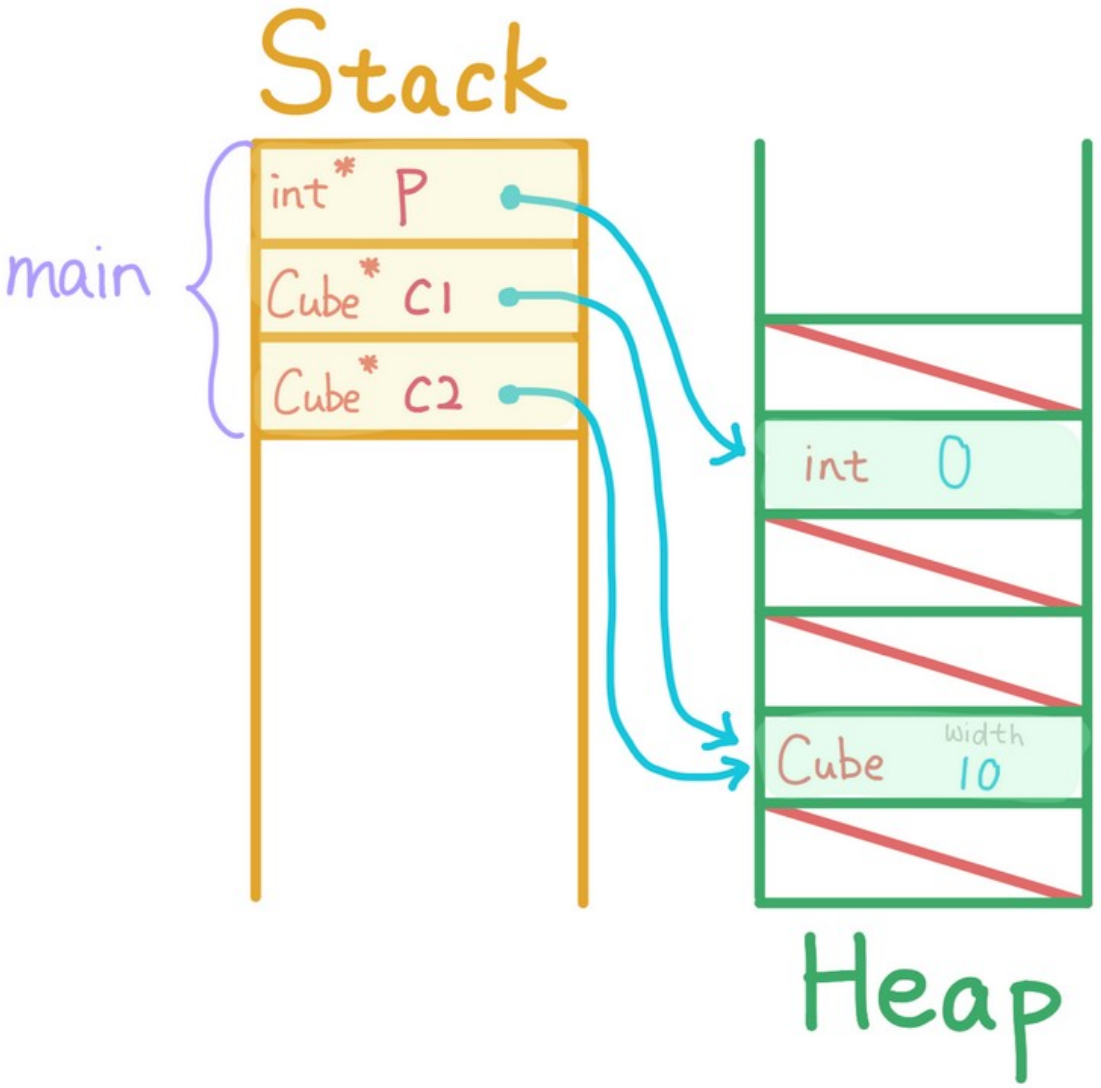

```
int main() {
  int *p = new int;
  Cube *c1 = new Cube();
  Cube *c2 = c1;
  c2->setLength( 10 );
  return 0;
}
```

Entendendo: HEAP



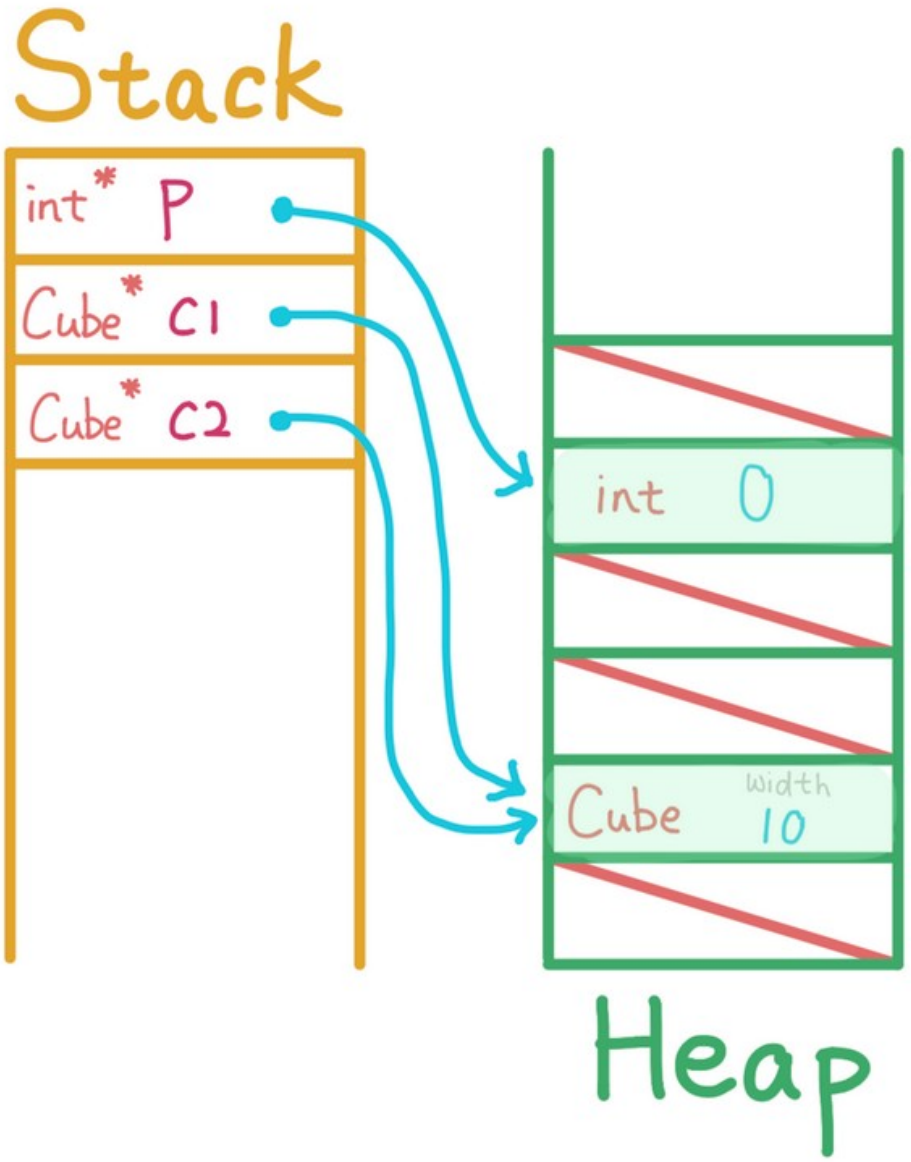

```
int main() {
  int *p = new int;
  Cube *c1 = new Cube();
  Cube *c2 = c1;
  c2->setLength( 10 );
  return 0;
}
```

Entendendo: HEAP




```
int main() {
  int *p = new int;
  Cube *c1 = new Cube();
  Cube *c2 = c1;
  c2->setLength( 10 );
  return 0;
}
```

Entendendo: HEAP




```
int main() {
  int *p = new int;
  Cube *c1 = new Cube();
  Cube *c2 = c1;
  c2->setLength( 10 );
  return 0;
}
```

Que erro o programador cometeu aqui?

Praticando: HEAP

- **Vamos ver os endereços do HEAP de um processo!**

```c
#include <execinfo.h>
#include <stdio.h>
#include <stdlib.h>

int main(int argc, char **argv)
{

  // Cria algumas variáveis para vermos o endereço:
  int *memoria_para_int = malloc(sizeof(int));
  printf("Endereço de memória alocada para o int: = %p\n", memoria_para_int);

  // Cria um loop infinito para dar tempo de verificarmos
  // o mapa de endereços de memória em /proc/<ID do processo>,
  // em outro terminal
  while(1);

  // Retorna
  return 0;

  // ATENÇÃO! Não se esqueça de MATAR MANUALMENTE o processo deste
  // programa, ou ele continuará rodando infinitamente!
}
```

HEAP x STACK

- **Velocidade de acesso:**
  - STACK: rápido
  - HEAP: mais lento
- **Escopo:**
  - STACK: local
  - HEAP: global
- **Alocação/Desalocação:**
  - STACK: automática
  - HEAP: dinâmica (manual)

HEAP x STACK

- **Gerenciamento de memória:**
  - STACK: eficiente, não fragmentado
  - HEAP: menos eficiente, fragmentado
- **Limite:**
  - STACK: limitado e pequeno
  - HEAP: grande, praticamente “ilimitado”

Agora sim, podemos continuar...