Insper

Sistemas Hardware-Software

Aula 03 – Arquitetura x86-64

Engenharia
Fabio Lubacheski
Maciel C. Vidal
Igor Montagner
Fábio Ayres

Aula passada !

Executable and Linkable Format (ELF)

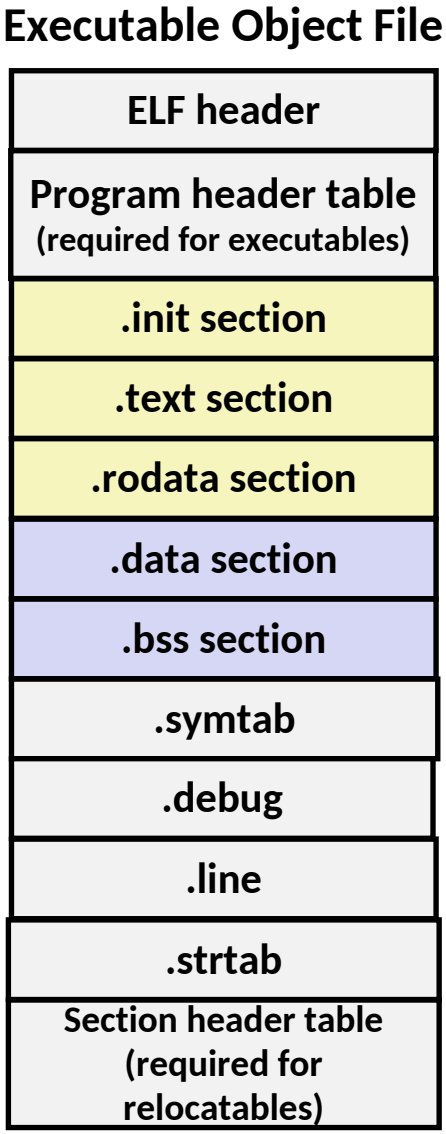
- Formato de arquivo executável em máquinas x86-64 Linux

Seções importantes

- **`.text`**: código executável
- **`.rodata`**: constantes
- **`.data`**: variáveis globais pré-inicializadas
- **`.bss`**: variáveis globais não-inicializadas

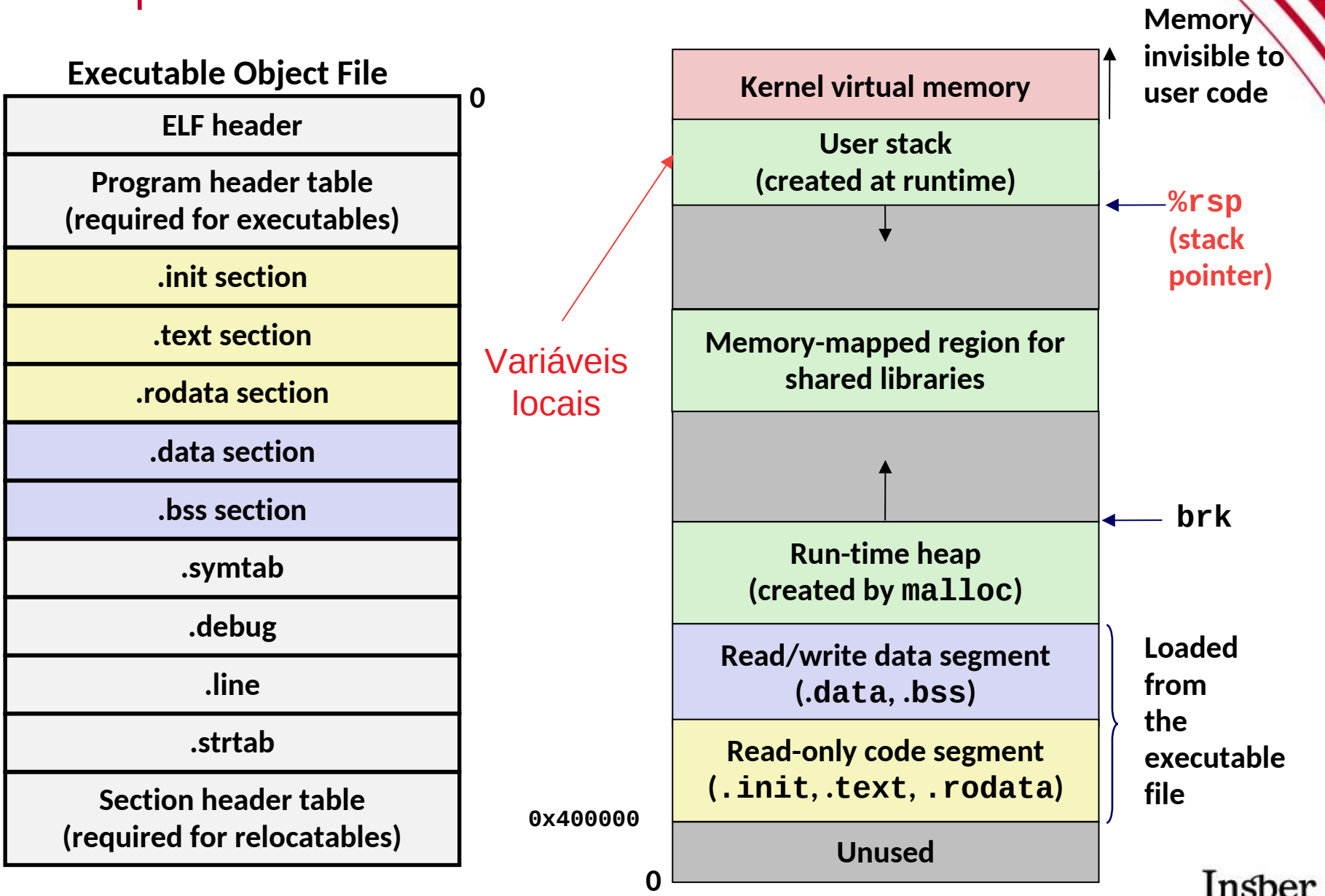
Outros formatos:

- *Portable Executable* (PE): Windows
- *Mach-O*: Mac OS-X



Insper

Aula passada !

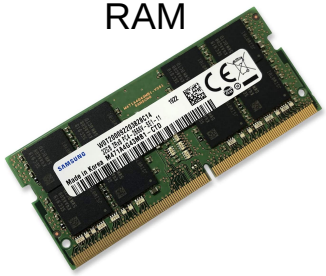


Aula passada

SSD

Executar

RAM



Executable Object File

ELF header
Program header table (required for executables)
.init section
.text section
.rodata section
.data section
.bss section
.symtab
.debug
.line
.strtab
Section header table (required for relocatables)

Kernel virtual memory
User stack (created at runtime)
↓
Memory-mapped region for shared libraries
↑
Run-time heap (created by `malloc`)
Read/write data segment (`.data`, `.bss`)
Read-only code segment (`.init`, `.text`, `.rodata`)
Unused

Insper

Aula de hoje

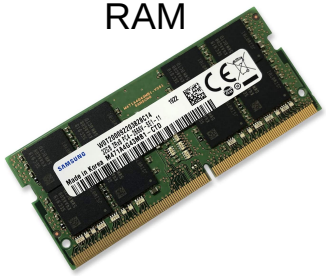
SSD

Executable Object File

ELF header
Program header table (required for executables)
.init section
.text section
.rodata section
.data section
.bss section
.symtab
.debug
.line
.strtab
Section header table (required for relocatables)

Executar

RAM



Kernel virtual memory
User stack (created at runtime)
↓
Memory-mapped region for shared libraries
↑
Run-time heap (created by `malloc`)
Read/write data segment (`.data`, `.bss`)
Read-only code segment (`.init`, `.text`, `.rodata`)
Unused

Execução

Processador

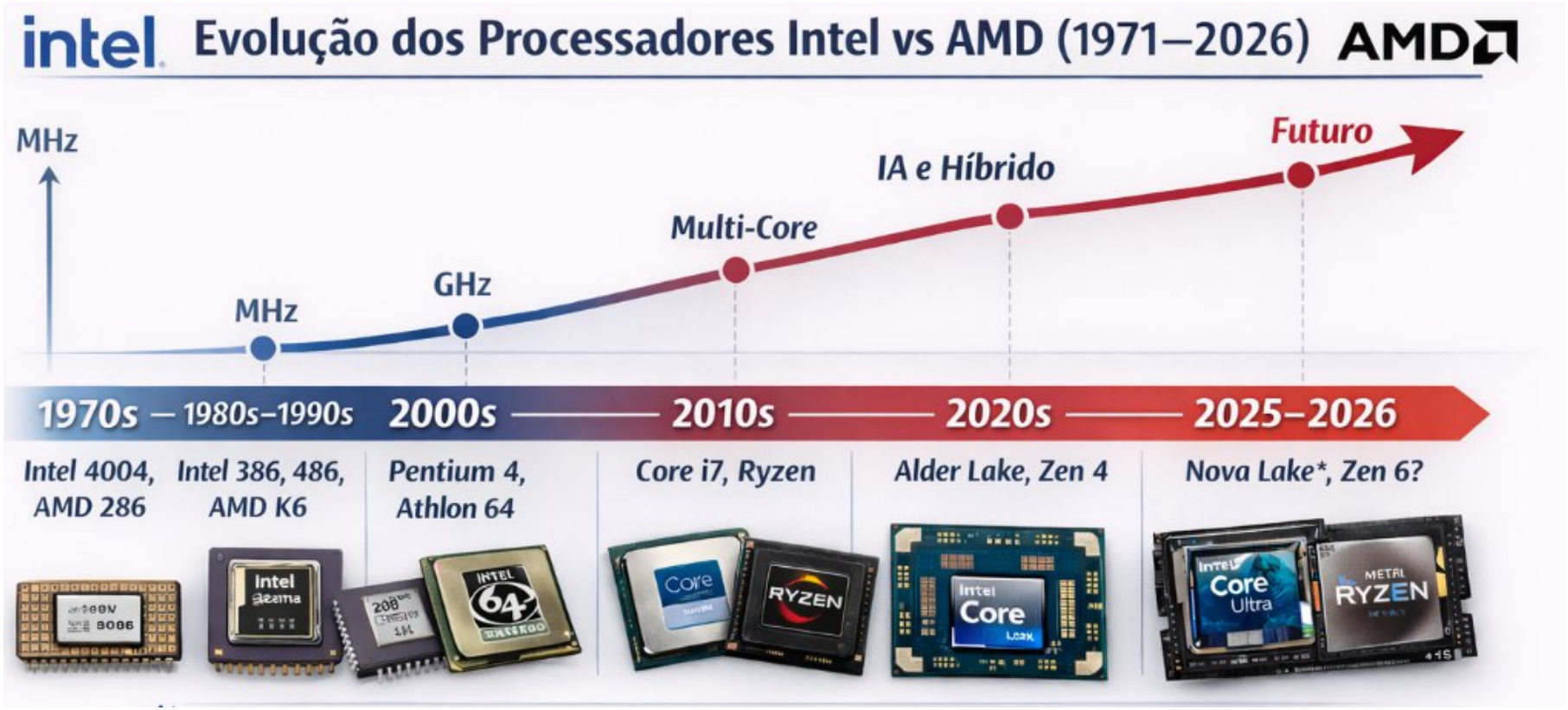
Insper

Arquitetura x86-64

Processadores Intel x86

- Dominam o mercado
  - Aprox 80% de market share de PCs!
- **Linhas**
  - Core i3: entry-level
  - Core i5: mainstream
  - Core i7: high-end
  - Core i9: very high-end
  - Core m: mobile (tablets)
  - Xeon: servidores e estações de trabalho
- **Arquitetura: C**omplex-**i**nstruction-**s**et **c**omputer (**CISC**)
  - Leia o texto abaixo sobre comparação da arquiteturas **CISC x RISC**
    https://diveintosystems.org/book/C5-Arch/index.html

Evolução dos processadores Intel/AMD



Insper

Definições sobre Arquitetura

Arquitetura (também conhecida como **ISA**: **I**nstruction **S**et **A**rchitecture):

- registradores, instruções
- Exemplos de ISAs:
  - Intel: x86, IA32, Itanium, x86-64
  - ARM
  - PowerPC

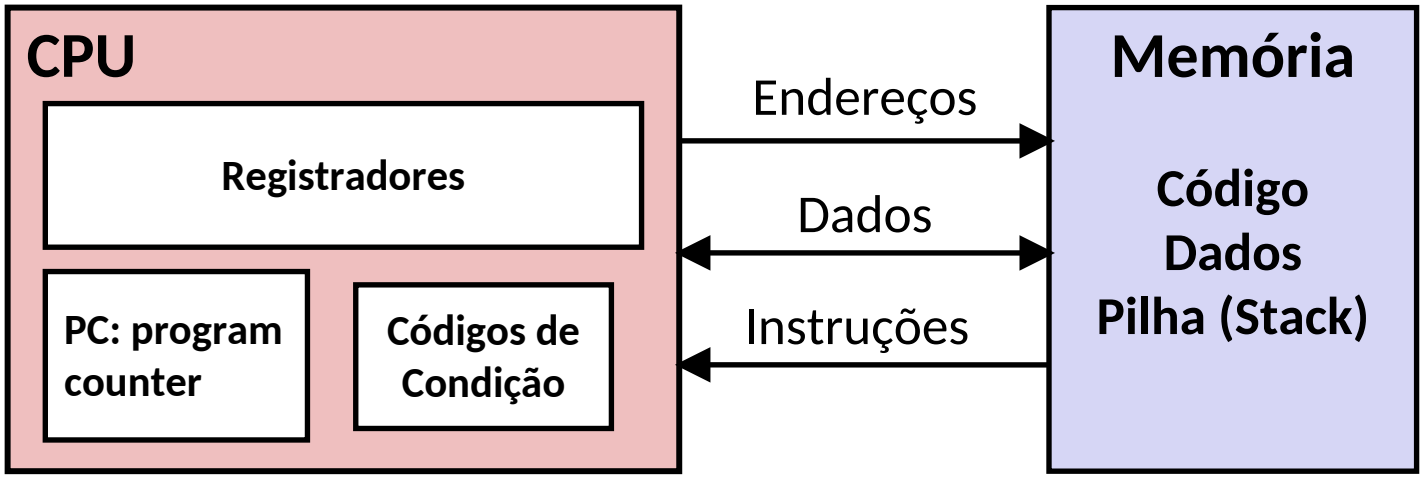
Microarquitetura: Implementação da arquitetura

- Tamanho de cache, número de cores, frequência de clock

Código:

- Código de máquina: sequencia de bytes que o processador executa
- Código assembly: representação textual mais "amigável" do código de máquina

A visão do programador



PC: Program counter

- `%rip`: Endereço da próxima instrução

Registradores

- Dados de uso muito frequente

Códigos de condição

- Informação sobre o resultado das operações aritméticas ou lógicas mais recentes
- Usado para saltos condicionais

Memória

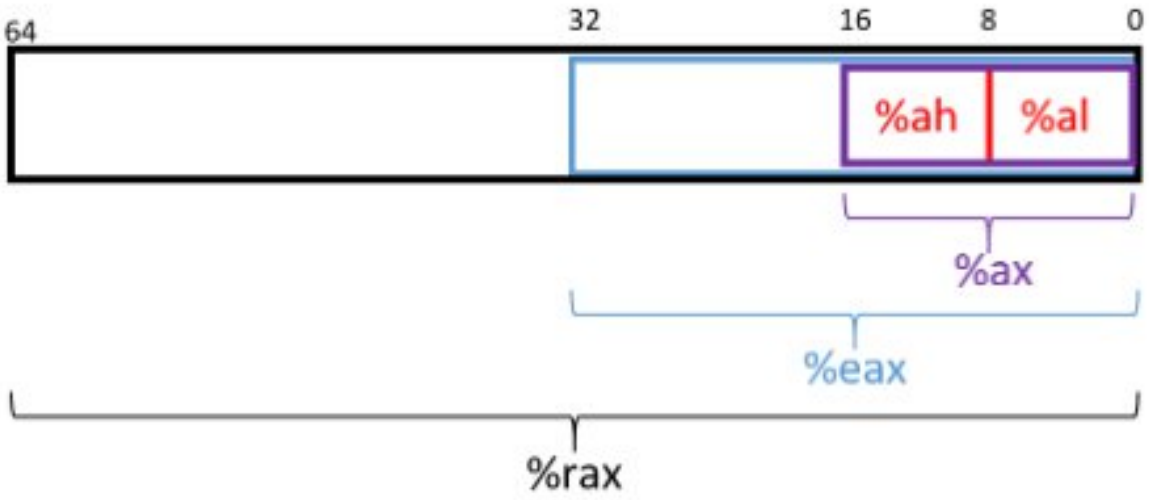
- Um vetor de bytes
- Armazena código e dados
- Armazena estado atual do programa (pilha)

Registradores inteiros x86-64

64 bits	32 bits	16 bits	8 bits	64 bits	32 bits	16 bits	8 bits
%rax	%eax	%ax	%al	%r8	%r8d	%r8w	%r8b
%rbx	%ebx	%bx	%bl	%r9	%r9d	%r9w	%r9b
%rcx	%ecx	%cx	%cl	%r10	%r10d	%r10w	%r10b
%rdx	%edx	%dx	%dl	%r11	%r11d	%r11w	%r11b
%rdi	%edi	%di	%dil	%r12	%r12d	%r12w	%r12b
%rsi	%esi	%si	%sil	%r13	%r13d	%r13w	%r13b
%rsp	%esp	%sp	%spl	%r14	%r14d	%r14w	%r14b
%rbp	%ebp	%bp	%bpl	%r15	%r15d	%r15w	%r15b

Registradores inteiros x86-64

A ISA (Arquitetura) fornece um mecanismo para acessar as várias partes de um registrador, permitindo acessar os 8 bytes (**`%rax`**), 4 bytes mais baixos (**`%eax`**), 2 bytes mais baixos (**`%ax`**), byte mais baixo (**`%al`**) e segundo byte mais baixo (**`%ah`**)



O compilador pode escolher registradores de componentes dependendo do tipo

Código de funcao1

```
00000000000006da <funcao1>:
 6dd:   89 f8                   mov    %edi,%eax
 6df:   03                      add    (%rsi),%eax
 6e1:   c3                      retq
```

Código de funcao1

```
00000000000006da <funcao1>:
 6dd:   89 f8                   mov    %edi,%eax
 6df:   03                      add    (%rsi),%eax
 6e1:   c3                      retq
```

O quê faz MOV

O quê significa esse ( )?

Atividade prática

GDB: Parando programas e examinando registradores

1. usar GDB para acompanhar a execução de um programa
2. examinar valores dos registradores

Código de funcao2

```
0x1145 <+0>:    mov    0x2ec9(%rip),%eax
0x114b <+6>:    add    $0x1,%eax
0x114e <+9>:    mov    %eax,0x2ec0(%rip)
0x1154 <+15>:   add    %edi,%eax
0x1156 <+17>:   retq
```

Código de funcao2

```
0x1145 <+0>:    mov     0x2ec9(%rip),%eax
0x114b <+6>:    add     $0x1,%eax
0x114e <+9>:    mov     %eax,0x2ec0(%rip)
0x1154 <+15>:   add     %edi,%eax
0x1156 <+17>:   retq
```

Quem
é %rip?

O quê significa
0x2ec0(%rip)?

Movendo Dados

movq *Source*, *Dest*

Tipos de operandos:

- ***Imediato (Immediate):*** Constantes inteiras
  - Exemplo: **$0x400, $-533**
  - Não esqueça do prefixo **'$'**
  - Codificado com 1, 2, ou 4 bytes
- ***Registrador:*** Um dos 16 registradores inteiros
  - Exemplo: **%rax, %r13**
- ***Memória:*** 8 bytes (por causa do sufixo 'q') consecutivos de memória, no endereço dado pelo registrador
  - Exemplo mais simples: **(%rax)**
  - Vários outros modos de endereçamento

movq : Combinações de operandos

	Source	Dest	Src, Dest	C Analog
movq	*Imm*	*Reg*	**movq $0x4,%rax**	temp = 0x4;
		Mem	**movq $-147,(%rax)**	*p = -147;
	Reg	*Reg*	**movq %rax,%rdx**	temp2 = temp1;
		Mem	movq %rax,(%rdx)	*p = temp;
	Mem	*Reg*	**movq (%rax),%rdx**	temp = *p;

Não é permitido fazer transferência direta memória-memória com uma única instrução

Modos simples de endereçamento

Normal (R) Mem[Reg[R]]

- Registrador R especifica o endereço de memória

```
movq (%rcx),%rax
```

Deslocamento (Displacement) D(R) Mem[Reg[R]+D]

- Registrador R especifica inicio da região de memória
- Constante de deslocamento D especifica offset

```
movq 8(%rbp),%rdx
```

E os tamanhos?

O tamanho do dado é especificado na instrução! MOV não converte tipos!

Usamos um sufixo com o tamanho do tipo:

Q = **quad** word (8 bytes)

L = **long** word (4 bytes)

W = **word** (2 bytes)

B = **byte** (1 bytes)

Também podemos ver o tamanho dos registradores usados!

E os tamanhos?

Cuidado com acessos à memória!

mov**b** $-1, (%rsp)

Copia um byte no endereço do topo da pilha.

mov**q** $-1, (%rsp)

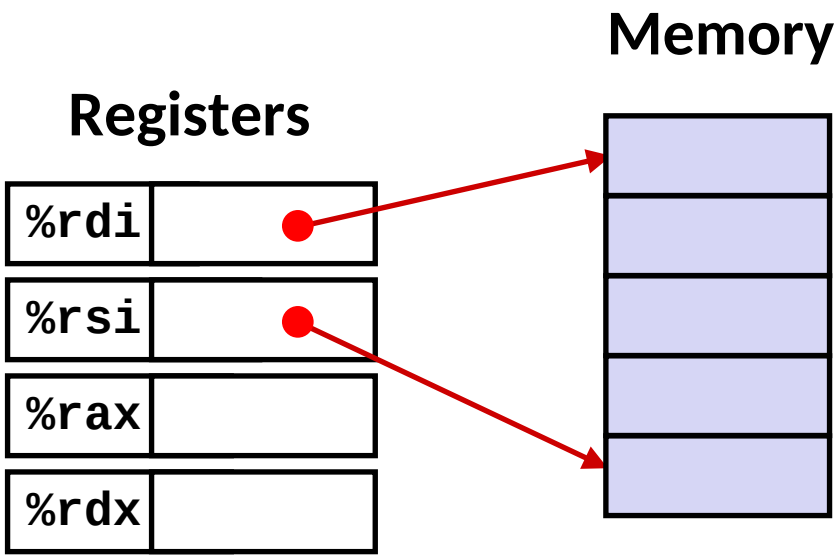
Copia 8 bytes no endereço do topo da pilha.

Exemplo

```
void swap(long *xp, long *yp)
{
  long t0 = *xp;
  long t1 = *yp;
  *xp = t1;
  *yp = t0;
}
```

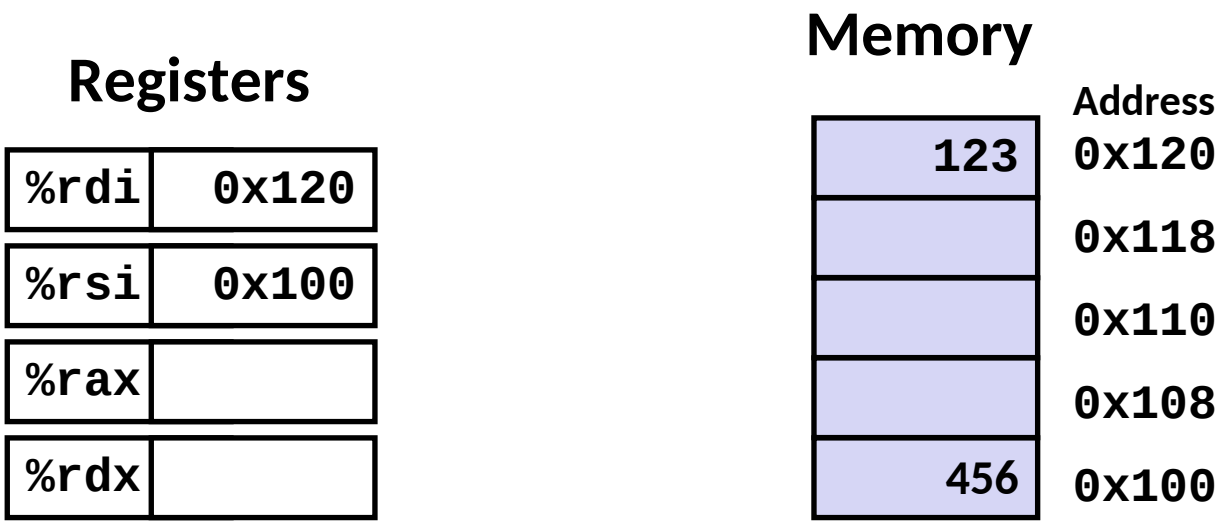
```
swap:
   movq    (%rdi), %rax
   movq    (%rsi), %rdx
   movq    %rdx, (%rdi)
   movq    %rax, (%rsi)
   ret
```

```
void swap
   (long *xp, long *yp)
{
  long t0 = *xp;
  long t1 = *yp;
  *xp = t1;
  *yp = t0;
}
```

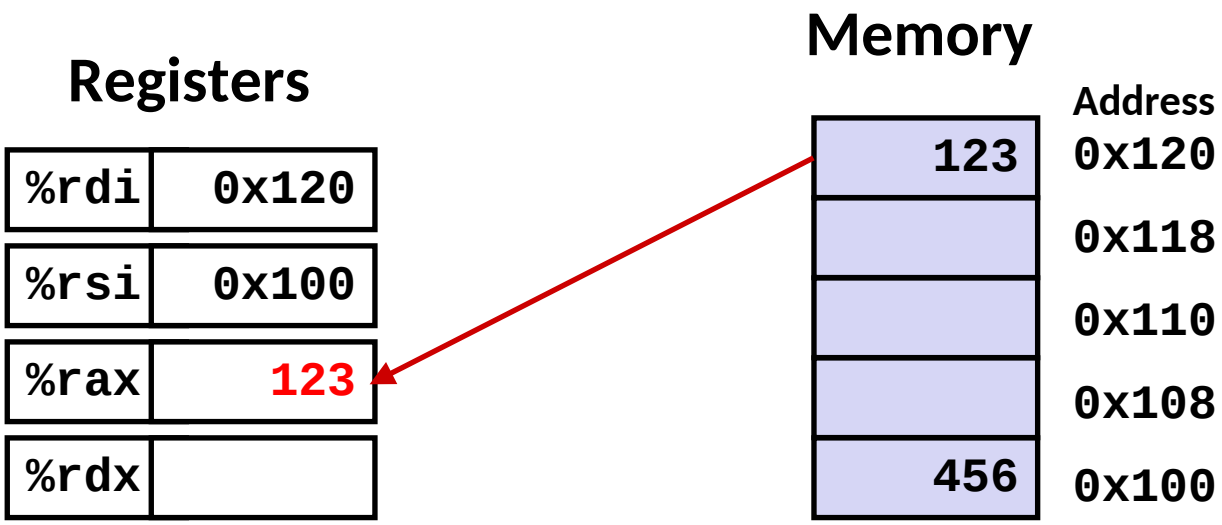


Register	Value
%rdi	xp
%rsi	yp
%rax	t0
%rdx	t1

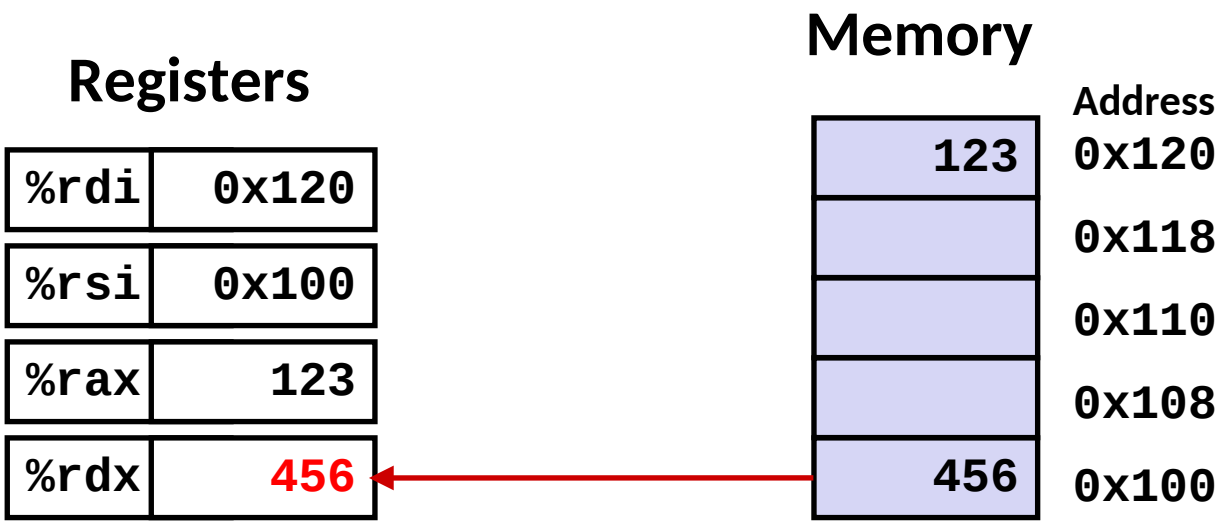
```
swap:
    movq    (%rdi), %rax  # t0 = *xp
    movq    (%rsi), %rdx  # t1 = *yp
    movq    %rdx, (%rdi)  # *xp = t1
    movq    %rax, (%rsi)  # *yp = t0
    ret
```



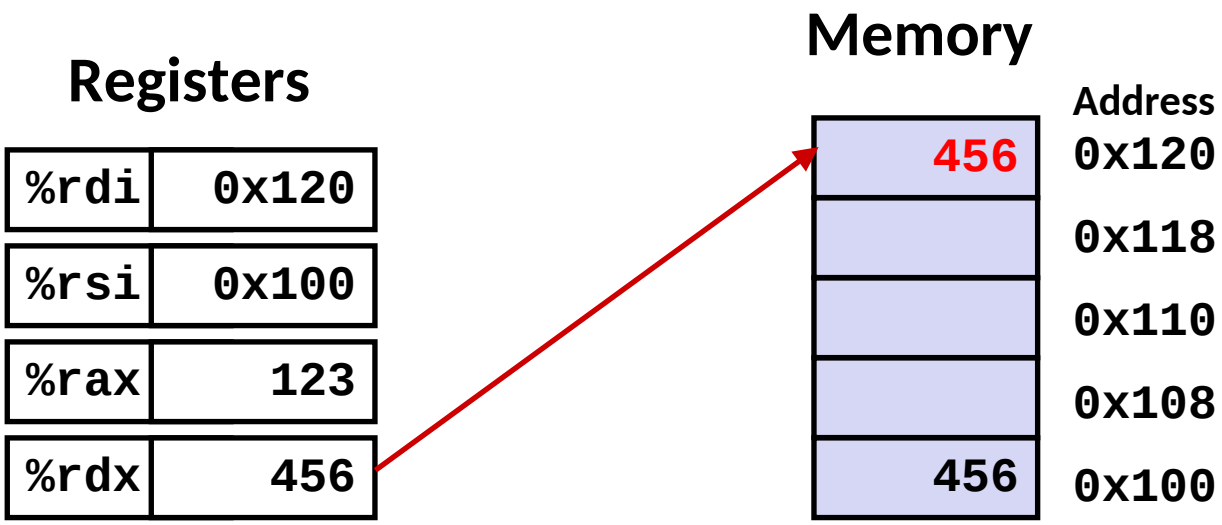

```
swap:
   movq    (%rdi), %rax  # t0 = *xp
   movq    (%rsi), %rdx  # t1 = *yp
   movq    %rdx, (%rdi)  # *xp = t1
   movq    %rax, (%rsi)  # *yp = t0
   ret
```



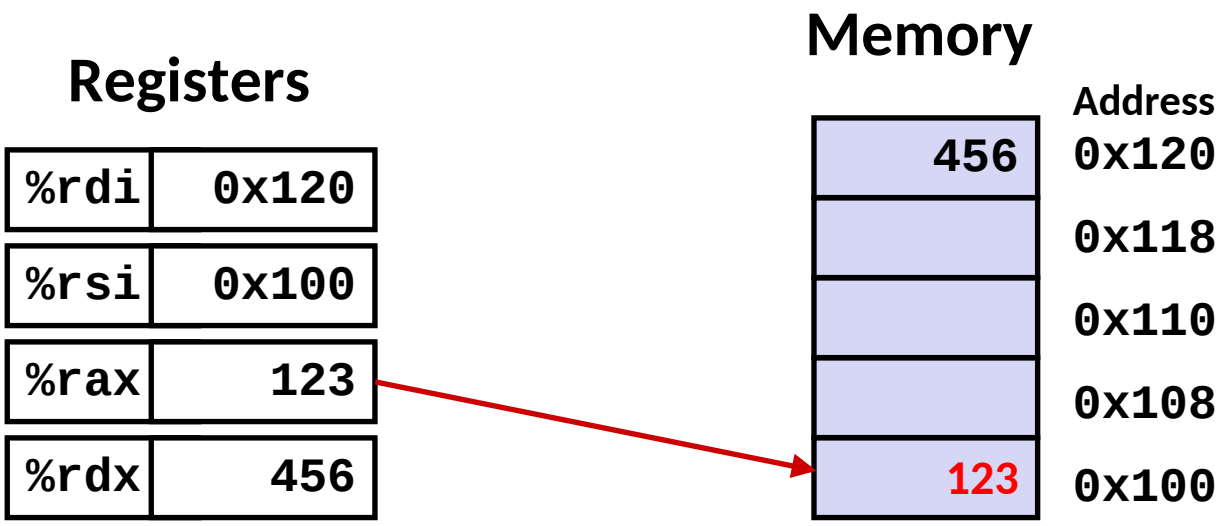

```
swap:
    movq    (%rdi), %rax  # t0 = *xp
    movq    (%rsi), %rdx  # t1 = *yp
    movq    %rdx, (%rdi)  # *xp = t1
    movq    %rax, (%rsi)  # *yp = t0
    ret
```




```
swap:
    movq    (%rdi), %rax  # t0 = *xp
    movq    (%rsi), %rdx  # t1 = *yp
    movq    %rdx, (%rdi)  # *xp = t1
    movq    %rax, (%rsi)  # *yp = t0
    ret
```




```
swap:
    movq    (%rdi), %rax  # t0 = *xp
    movq    (%rsi), %rdx  # t1 = *yp
    movq    %rdx, (%rdi)  # *xp = t1
    movq    %rax, (%rsi)  # *yp = t0
    ret
```




```
swap:
    movq    (%rdi), %rax  # t0 = *xp
    movq    (%rsi), %rdx  # t1 = *yp
    movq    %rdx, (%rdi)  # *xp = t1
    movq    %rax, (%rsi)  # *yp = t0
    ret
```

Modo de endereçamento completo

Forma geral: **D(Rb, Ri, S)**
Representa o valor Mem[Reg[**Rb**] + **S***Reg[**Ri**] + **D**]

Ou seja:

- O registrador **Rb** tem o endereço base
    - Pode ser qualquer registrador inteiro
- O registrador **Ri** tem um inteiro que servirá de índice
    - Qualquer registrador inteiro menos **`%rsp`**
- A constante **S** serve de multiplicador do índice
    - Só pode ser **1**, **2**, **4** ou **8**
- A constante **D** é o offset

Exemplo

%rdx	0xf000
%rcx	0x0100

Expressão	Calculo de endereço	Resultado
0x8(%rdx)	0xf000 + 0x8	0xf008
(%rdx,%rcx)	0xf000 + 0x100	0xf100
(%rdx,%rcx,4)	0xf000 + 4*0x100	0xf400
0x80(,%rdx,2)	2*0xf000 + 0x80	0x1e080

Atividade prática

Endereçamento relativo e variáveis globais¶

1. Entender como variáveis globais são acessadas em Assembly

Insper

www.insper.edu.br