Estrutura do tema ISA do IA32

1. Desenvolvimento de programas no IA32 em Linux
2. Acesso a operandos e operações
3. Suporte a estruturas de controlo
4. Suporte à invocação/retorno de funções
5. Análise comparativa: IA-32 (CISC) e MIPS (RISC)
6. Acesso e manipulação de dados estruturados

Estrutura de uma função (/ procedimento)

– **parte visível ao programador em HLL**
- código do corpo da função
- passagem de argumentos para a função ...
  ... e valor de retorno da função
- alcance das variáveis: locais, externas ou globais

– **parte menos visível em HLL:**
a gestão do contexto da função
- variáveis locais (propriedades)
- variáveis externas e globais (localização e acesso)
- argumentos e valor de retorno (propriedades)
- gestão do contexto (controlo & dados)

Análise do contexto de uma função

– **propriedades das variáveis locais:**
- visíveis apenas durante a execução da função
- deve suportar aninhamento e recursividade
- localização ideal: em registo, se os houver; mas...
- localiz. no cód. p/ IA32: em registo, enquanto houver...

– **variáveis externas e globais** (em memória)**:**
- externas: valor ou localização expressa na lista de argumentos
- globais: localização definida pelo *linker* & *loader*

– **propriedades dos argumentos** (só de entrada em C!)**:**
- por valor (c^{te} ou variável) ou por referência (localização da var)
- designação independente (chamadora/chamada)
- deve suportar aninhamento e recursividade
- localização ideal: em registo, se os houver; mas...
- localização no código p/ IA32: na memória (*stack*)

– **valor de retorno da função:**
- é uma quantidade escalar, do tipo inteiro ou real
- localização: em registo (IA32: no registo `eax` e/ou `edx`)

– **gestão do contexto** (controlo & dados) **...**

Análise do código de gestão de uma função

– **invocação** e retorno
- instrução de salto, mas com salvaguarda do end. retorno
  – em registo (RISC; aninhamento / recursividade ?)
  – em memória/*stack* (IA32; aninhamento / recursividade ?)

– invocação e **retorno**
- instrução de salto para o endereço de retorno

– **salvaguarda & recuperação de registos** (na *stack*)
- função chamadora ? (nenhum/ alguns/ todos ? RISC/IA32 ?)
- função chamada? (nenhum/ alguns/ todos ? RISC/IA32 ?)

– **gestão do contexto** (em *stack*)
- actualização/recuperação do *frame pointer* (IA32...)
- reserva/libertação de espaço para variáveis locais

Análise de exemplos

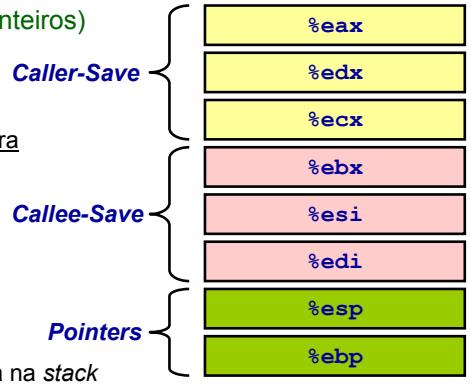
- **revisão do exemplo `swap`**
  - análise das fases: inicialização, corpo, término
  - análise dos contextos (IA32)
  - evolução dos contextos na *stack* (IA32)
- **evolução de um exemplo: `Fibonacci`**
  - análise de uma compilação do `gcc`
- **aninhamento e recursividade**
  - evolução dos contextos na *stack*


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

void call_swap()
{
int zip1 = 15213;
int zip2 = 91125;
  (…)
  swap(&zip1, &zip2);
  (…)
}
```


Utilização dos registos (de inteiros)

- Três do tipo *caller-save*
  `%eax, %edx, %ecx`
  - *save/restore*: função chamadora
- Três do tipo *callee-save*
  `%ebx, %esi, %edi`
  - *save/restore*: função chamada
- Dois apontadores (na *stack*)
  `%esp, %ebp`
  - topo da *stack*, base/referência na *stack*



Nota: **valor de retorno da função em `%eax`**


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

```
swap:
    pushl %ebp
    movl %esp,%ebp
    pushl %ebx

    movl 12(%ebp),%ecx
    movl 8(%ebp),%edx
    movl (%ecx),%eax
    movl (%edx),%ebx
    movl %eax,(%edx)
    movl %ebx,(%ecx)

    movl -4(%ebp),%ebx
    movl %ebp,%esp
    popl %ebp
    ret
```

Arranque

Corpo

Término

Análise dos contextos em `swap`, no IA32

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

void call_swap()
{
int zip1 = 15213;
int zip2 = 91125;
  (…)
  swap(&zip1, &zip2);
  (…)
}
```

- em `call_swap`
- na invocação de `swap`
- na execução de `swap`
- de volta a `call_swap`

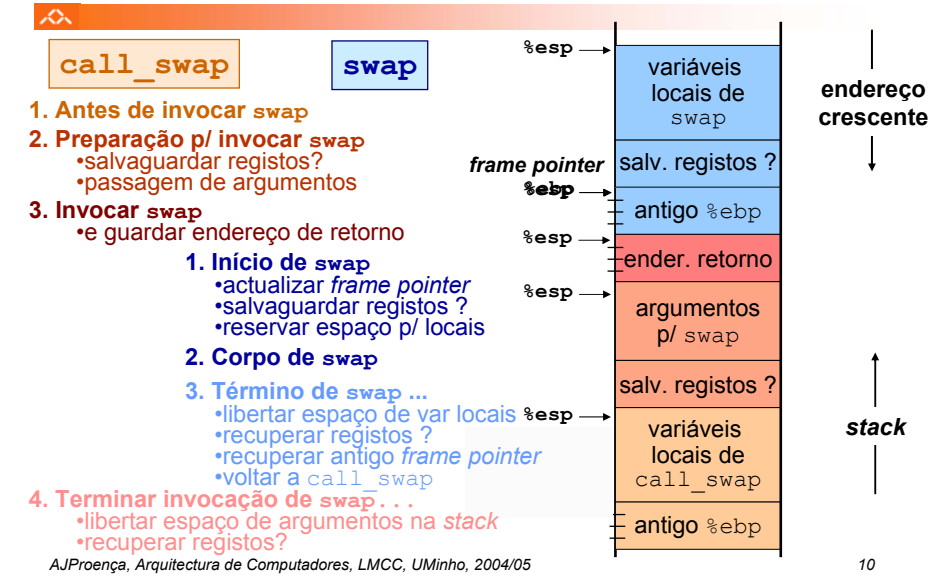
Que contextos (IA32)?

- passagem de argumentos
  - via *stack*
- espaço para variáveis locais
  - na *stack*
- info de suporte à gestão (*stack*)
  - endereço de retorno
  - apontador para a *stack frame*
  - salvaguarda de registos

Construção do contexto na stack, no IA32

`call_swap` **`swap`**

1. **Antes de invocar `swap`**
2. **Preparação p/ invocar `swap`**
   - salvaguardar registos?
   - passagem de argumentos
3. **Invocar `swap`**
   - e guardar endereço de retorno
   1. **Início de `swap`**
      - actualizar *frame pointer*
      - salvaguardar registos ?
      - reservar espaço p/ locais
   2. **Corpo de `swap`**
   3. **Término de `swap` ...**
      - libertar espaço de var locais
      - recuperar registos ?
      - recuperar antigo *frame pointer*
      - voltar a `call_swap`
4. **Terminar invocação de `swap`...**
   - libertar espaço de argumentos na *stack*
   - recuperar registos?



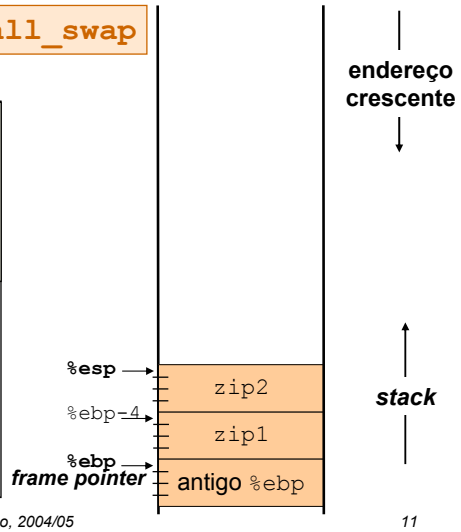
Evolução da stack, no IA32 (1)

`call_swap`

1. **Antes de invocar `swap`**

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

void call_swap()
{
int zip1 = 15213;
int zip2 = 91125;
  (…)
  swap(&zip1, &zip2);
  (…)
}
```



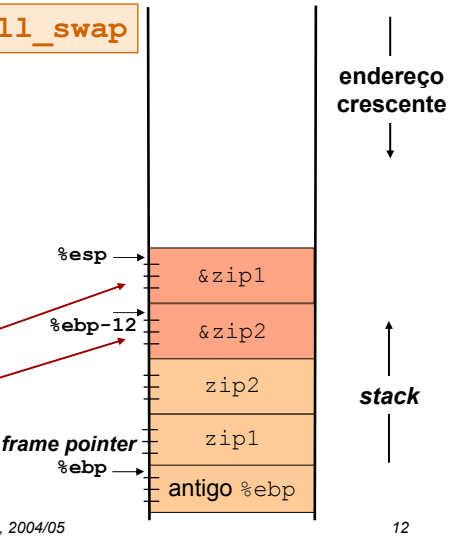
Evolução da stack, no IA32 (2)

`call_swap`

2. **Preparação p/ invocar `swap`**
   - salvaguardar registos?...**não**...
   - passagem de argumentos

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

void call_swap()
{
int zip1 = 15213;
int zip2 = 91125;
  (…)
  swap(&zip1, &zip2);
  (…)
}
```

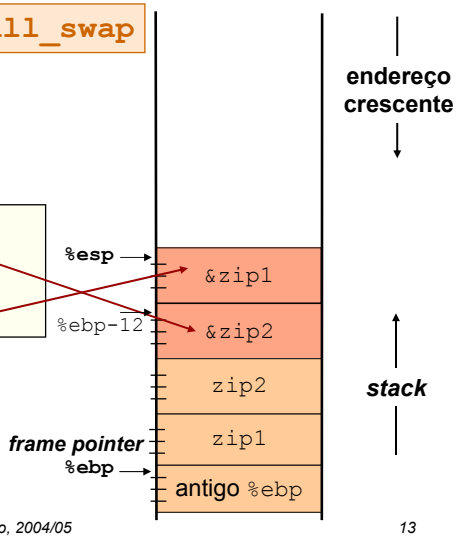


Evolução da stack, no IA32 (3)

call_swap

2. Preparação p/ invocar `swap`
- salvaguardar registos?...**não**...
- passagem de argumentos

```
leal  -8(%ebp),%eax   Calcula &zip2
pushl %eax            Push &zip2
leal  -4(%ebp),%eax   Calcula &zip1
pushl %eax            Push &zip1
```



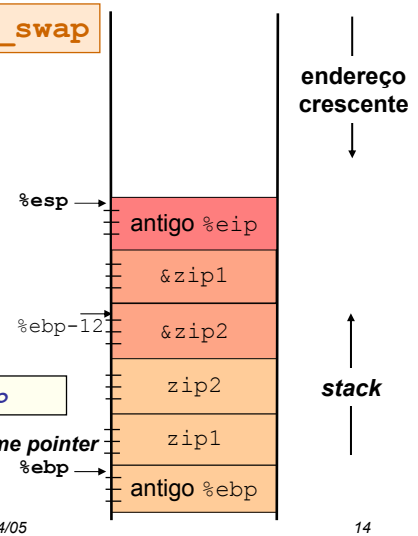
Evolução da stack, no IA32 (4)

call_swap

3. Invocar `swap`
- e guardar endereço de retorno

```
void call_swap()
{
int zip1 = 15213;
int zip2 = 91125;
  (…)
  swap(&zip1, &zip2);
  (…)
}
```

```
call swap          Invoca função swap
```



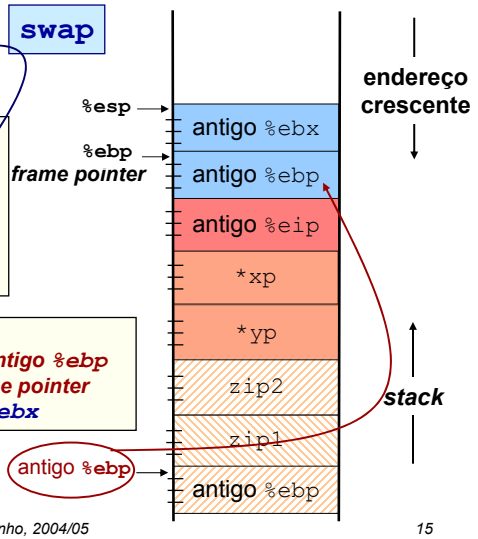
Evolução da stack, no IA32 (5)

swap

1. Início de `swap`
- actualizar *frame pointer*
- salvaguardar registos
- reservar espaço p/ locais...**não**...

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

```
swap:
  pushl %ebp        Salvaguarda antigo %ebp
  movl  %esp,%ebp   Faz %ebp frame pointer
  pushl %ebx        Salvaguarda %ebx
```



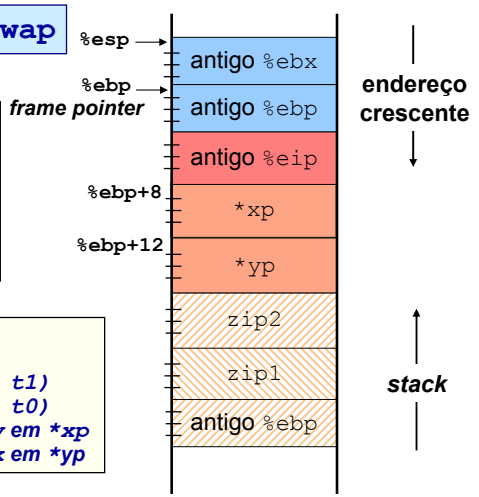
Evolução da stack, no IA32 (6)

swap

2. Corpo de `swap`

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

```
movl  12(%ebp),%ecx   Get yp
movl  8(%ebp),%edx    Get xp
movl  (%ecx),%eax     Get y  (em t1)
movl  (%edx),%ebx     Get x  (em t0)
movl  %eax,(%edx)     Armazena y em *xp
movl  %ebx,(%ecx)     Armazena x em *yp
```

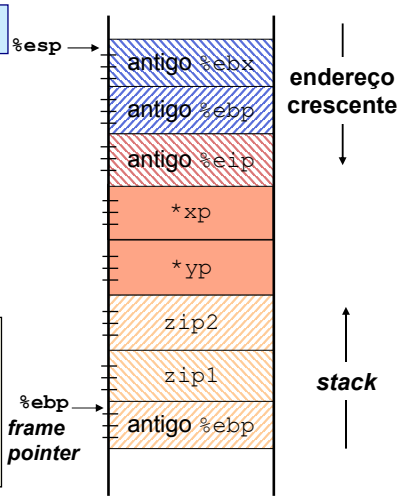


Evolução da stack, no IA32 (7)

3. Término de `swap` ...
- libertar espaço de var locais...**não**...
- recuperar registos
- recuperar antigo *frame pointer*
- voltar a `call_swap`

```
void swap(int *xp, int *yp)
{
  (…)
}
```

```
popl %ebx          Recupera %ebx
movl %ebp,%esp     Recupera %esp
popl %ebp          Recupera %ebp
        ou
leave              Recupera %esp, %ebp
ret                Volta à f. chamadora
```

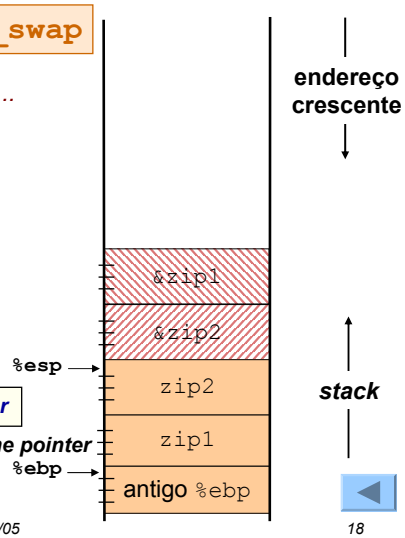


Evolução da stack, no IA32 (8)

4. Terminar invocação de `swap` . . .
- libertar espaço de parâmetros na *stack*...
- recuperar registos?...**não**...

```
void call_swap()
{
int zip1 = 15213;
int zip2 = 91125;
  (…)
  swap(&zip1, &zip2);
  (…)
}
```

```
addl  $8,(%esp)    Actualiza stack pointer
```



A série de Fibonacci no IA32 (1)

```
int fib_dw(int n)
{
  int i = 0;
  int val = 0;
  int nval = 1;

  do {
    int t = val + nval;
    val = nval;
    nval = t;
    i++;
  } while (i<n);

    return val;
}
```

do-while

```
int fib_f(int n)
{
  int i;
  int val = 1;
  int nval = 1;

 for (i=1; i<n; i++) {
    int t = val + nval;
    val = nval;
    nval = t;
}

    return val;
}
```

for

```
int fib_w(int n)
{
  int i = 1;
  int val = 1;
  int nval = 1;

 while (i<n) {
    int t = val + nval;
    val = nval;
    nval = t;
    i++;
  }

    return val;
}
```

while

função recursiva

```
int fib_rec (int n)
{
   int prev_val, val;
   if (n<=2)
       return (1);
   prev_val = fib_rec (n-2);
   val = fib_rec (n-1);
   return (prev_val+val);
}
```


A série de Fibonacci no IA32 (2)

função recursiva

```
int fib_rec (int n)
{
   int prev_val, val;
   if (n<=2)
       return (1);
   prev_val = fib_rec (n-2);
   val = fib_rec (n-1);
   return (prev_val+val);
}
```

```
_fib_rec:
   pushl  %ebp
   movl   %esp, %ebp          Actualiza frame pointer

   subl   $12, %esp           Reserva espaço na stack para 3 int's
   movl   %ebx, -8(%ebp)      Salvaguarda os 2 reg's que vão ser usados;
   movl   %esi, -4(%ebp)          de notar a forma de usar a stack...

   movl   8(%ebp), %esi
```

A série de Fibonacci no IA32 (3)

função recursiva

```
int fib_rec (int n)
{
   int prev_val, val;
   if (n<=2)
      return (1);
   prev_val = fib_rec (n-2);
   val = fib_rec (n-1);
   return (prev_val+val);
}
```

```
   ...
   movl   %esi, -4(%ebp)
   movl   8(%ebp), %esi      Coloca o argumento n em %esi
   movl   $1, %eax           Coloca já o valor de retorno em %eax
   cmpl   $2, %esi           n<=2 ?
   jle    L1                 Se sim, salta para o fim
   leal   -2(%esi), %eax     Se não, ...
   ...
L1:
   movl   -8(%ebp), %ebx
```


A série de Fibonacci no IA32 (4)

função recursiva

```
int fib_rec (int n)
{
   int prev_val, val;
   if (n<=2)
      return (1);
   prev_val = fib_rec (n-2);
   val = fib_rec (n-1);
   return (prev_val+val);
}
```

```
   ...
   jle    L1                 Se sim, salta para o fim
   leal   -2(%esi), %eax     Se não, ... calcula n-2, e...
   movl   %eax, (%esp)       ... coloca-o no topo da stack (argumento)
   call   _fib_rec           Invoca a função fib_rec e ...
   movl   %eax, %ebx         ... guarda o valor de prev_val em %ebx
   leal   -1(%esi), %eax
   ...
```


A série de Fibonacci no IA32 (5)

função recursiva

```
int fib_rec (int n)
{
   int prev_val, val;
   if (n<=2)
      return (1);
   prev_val = fib_rec (n-2);
   val = fib_rec (n-1);
   return (prev_val+val);
}
```

```
   ...
   movl   %eax, %ebx
   leal   -1(%esi), %eax     Calcula n-1, e...
   movl   %eax, (%esp)       ... coloca-o no topo da stack (argumento)
   call   _fib_rec           Chama de novo a função fib_rec
   leal   (%eax,%ebx), %eax
   ...
```


A série de Fibonacci no IA32 (6)

função recursiva

```
int fib_rec (int n)
{
   int prev_val, val;
   if (n<=2)
      return (1);
   prev_val = fib_rec (n-2);
   val = fib_rec (n-1);
   return (prev_val+val);
}
```

```
   ...
   call   _fib_rec
   leal   (%eax,%ebx), %eax  Calcula e coloca em %eax o valor de retorno
L1:
   movl   -8(%ebp), %ebx
   movl   -4(%ebp), %esi     Recupera o valor dos 2 reg's usados
   movl   %ebp, %esp         Actualiza o valor do stack pointer
   popl   %ebp               Recupera o anterior valor do frame pointer
   ret
```

Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (1)

Estrutura do código

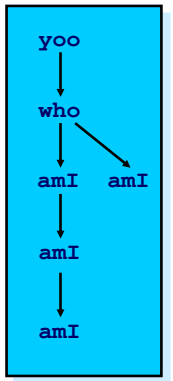
```
yoo(...)
{
   •
   •
   who();
   •
   •
}
```

```
who(...)
{
   • • •
   amI();
   • • •
   amI();
   • • •
}
```

```
amI(...)
{
      •
      •
      amI();
      •
      •
}
```

Função `amI` é recursiva

Cadeia de *Call*

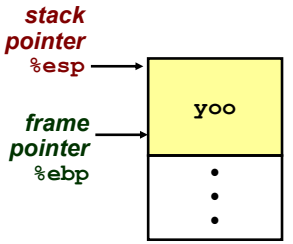


Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (2)

```
yoo(...)
{
   •
   •
   who();
   •
   •
}
```

Cadeia de *Call*

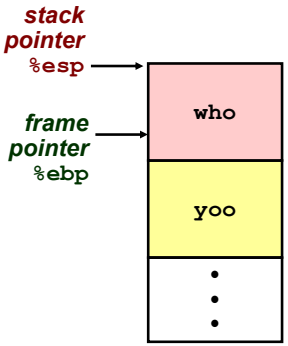
yoo



Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (3)

```
who(...)
{
   • • •
   amI();
   • • •
   amI();
   • • •
}
```

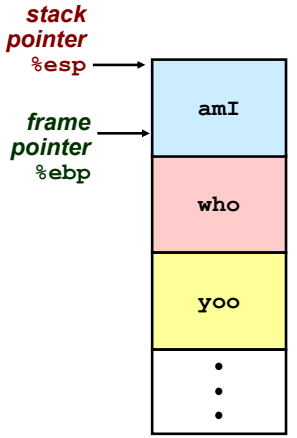
Cadeia de *Call*



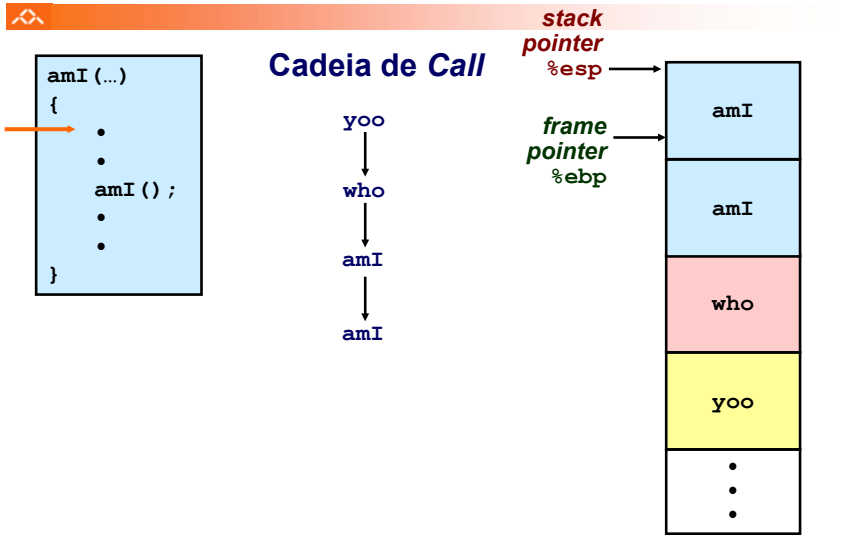
Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (4)

```
amI(...)
{
   •
   •
   amI();
   •
   •
}
```

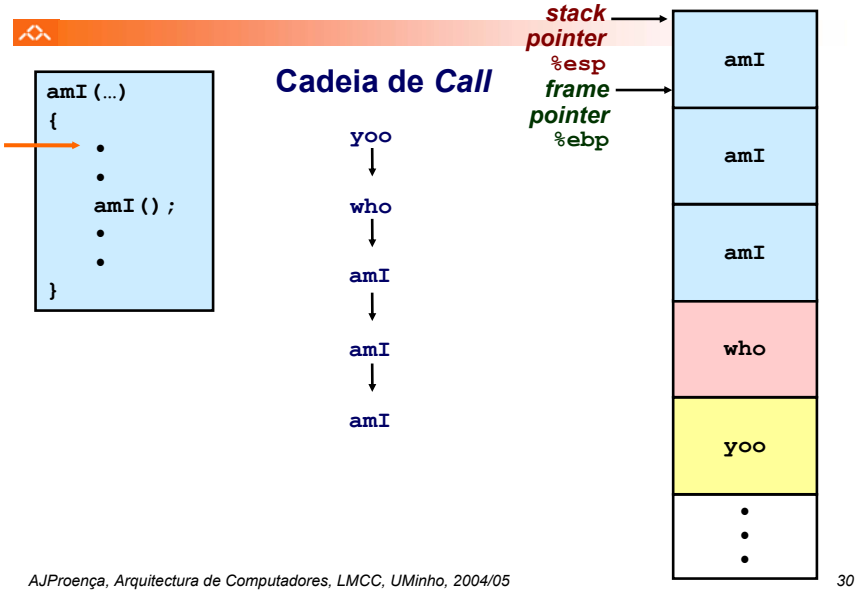
Cadeia de *Call*



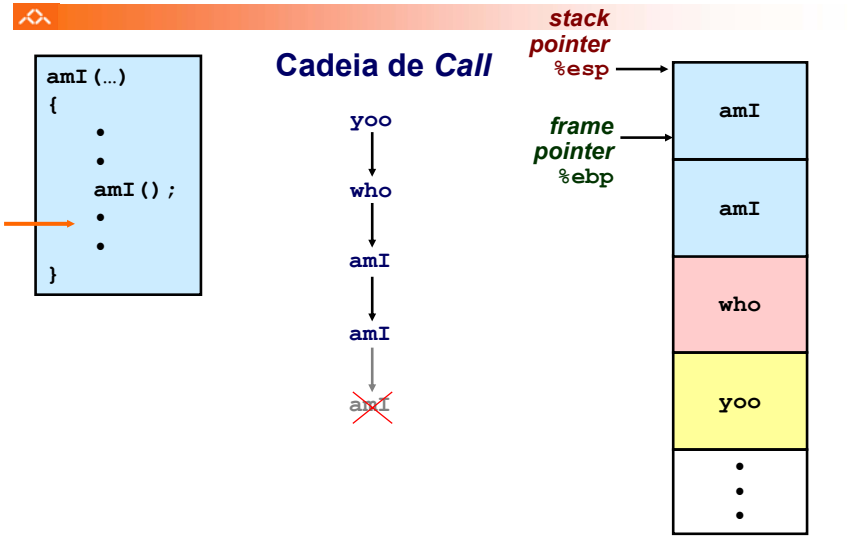
Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (5)



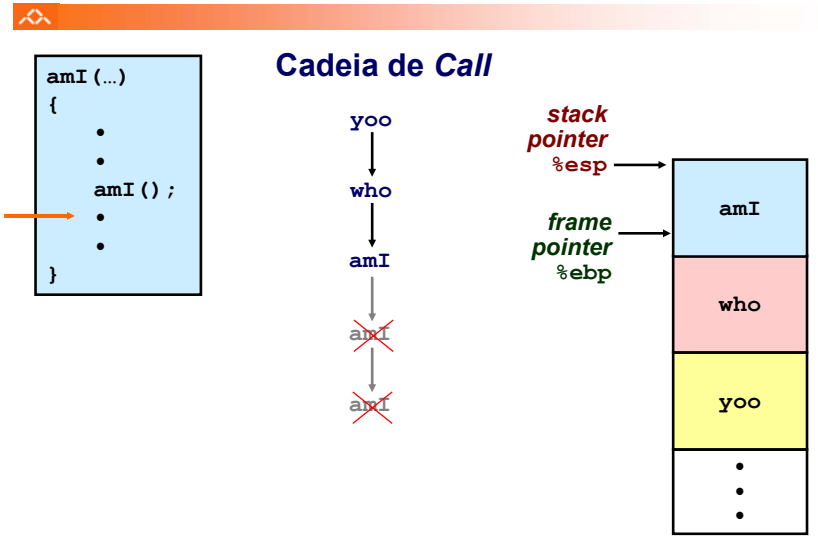
Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (6)



Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (7)



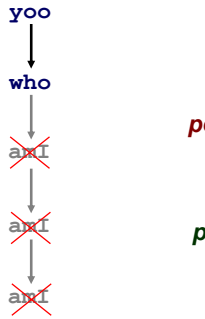
Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (8)

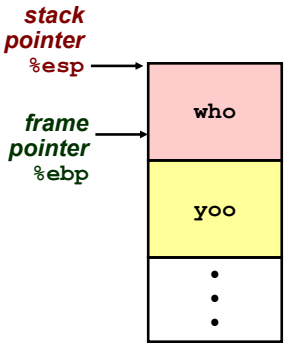


Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (9)

Cadeia de *Call*

```
who (…)
{
   • • •
   amI ();
   • • •
   amI ();
   • • •
}
```

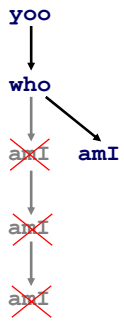


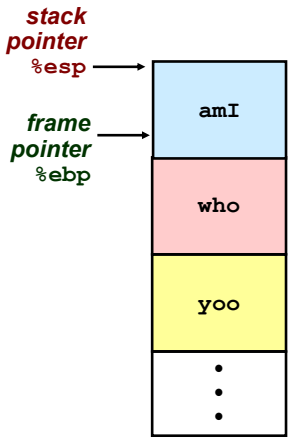


Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (10)

Cadeia de *Call*

```
amI (…)
{
   •
   •
   •
   •
}
```

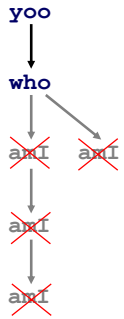


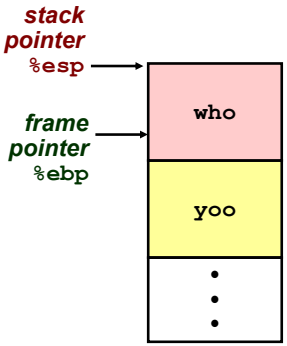


Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (11)

Cadeia de *Call*

```
who (…)
{
   • • •
   amI ();
   • • •
   amI ();
   • • •
}
```





Exemplo de cadeia de invocações no IA32 (12)

Cadeia de *Call*

```
yoo (…)
{
   •
   •
   who ();
   •
   •
}
```