Linguagens de Montagem

Sub-Rotinas
Funções e Procedimentos
Aula 10

Edmar André Bellorini

Introdução

- Sub-rotinas
  - Também chamadas de sub-programas
    - São funções ou procedimentos
  - Objetivo é **auxiliar** a execução do programa principal
    - São chamadas pelo programa principal para executar tarefas específicas ou rotineiras
  - Protocolo de chamada e retorno diferem entre arquiteturas
    - x86 $\rightarrow$ uso da pilha (não abordado neste documento)
    - x64 $\rightarrow$ uso de registradores **e** pilha
  - Variáveis de escopo local são armazenadas na pilha

Instruções de Chamada e Retorno

- CALL
  - Empilha o próximo endereço de execução
  - Altera fluxo de execução para endereço alvo

```
    CALL label
```

  - Executado por sub-programa **chamador** (*caller*)
- RET
  - Desempilha topo da pilha
  - Altera fluxo de execução para endereço desempilhado

```
    RET
```

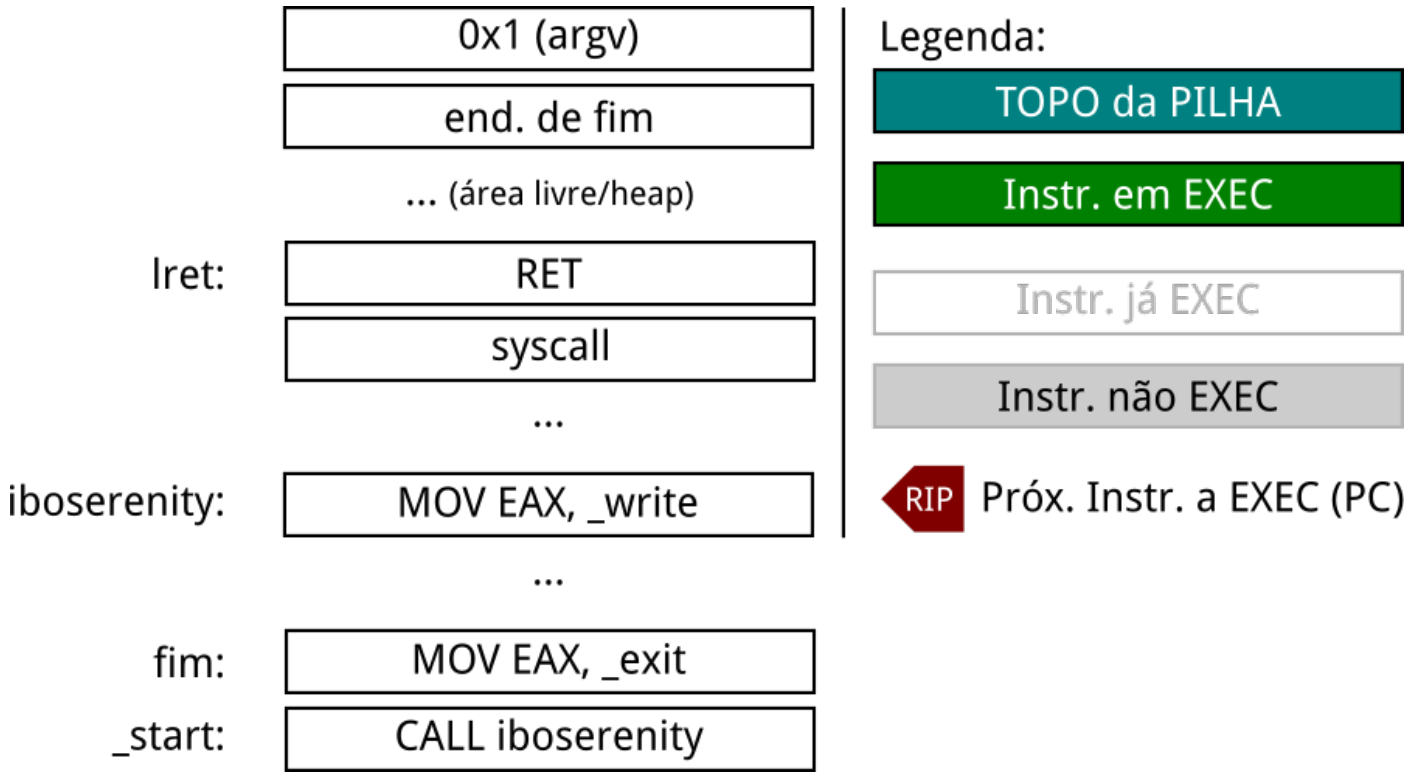
    - Endereço no topo da pilha **deve** ser valor empilhado por CALL
  - Executado por sub-programa **chamado** (*callee*)

Exemplo a10e01.asm - Chamada de procedimento

```
16  ...
17  _start:
18      ; PUSH fim
19      call iboserenity
20      ...
```

- GDB
  - b *_start*, *fim*, *iboserenity*
  - verificar *RSP* e conteúdo de topo da pilha
- Acompanhar nos próximos slides

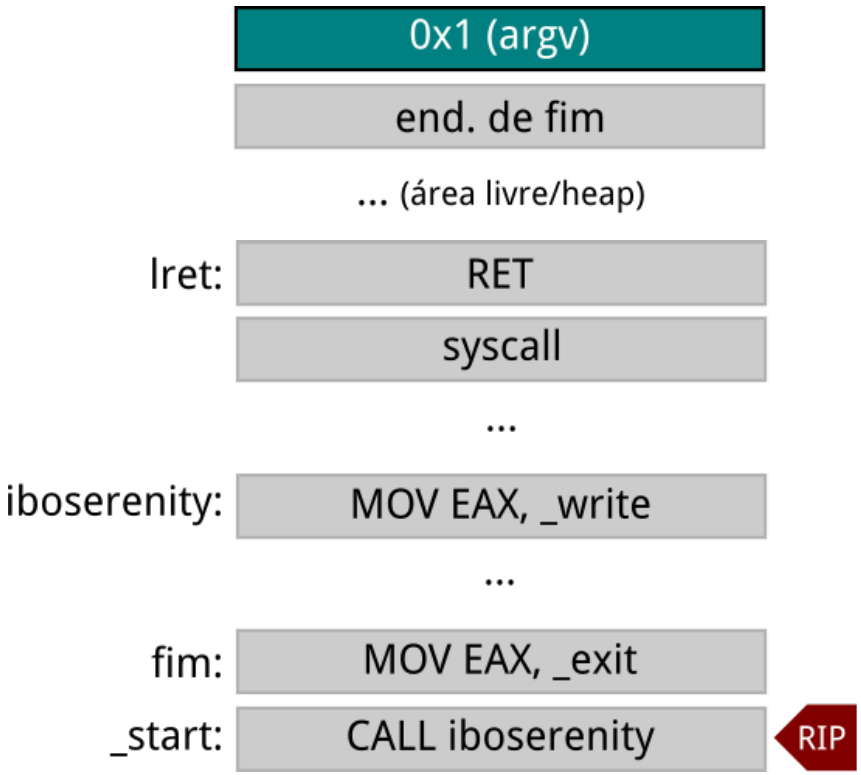
Memória para a10e01.asm - parte 0 - definições



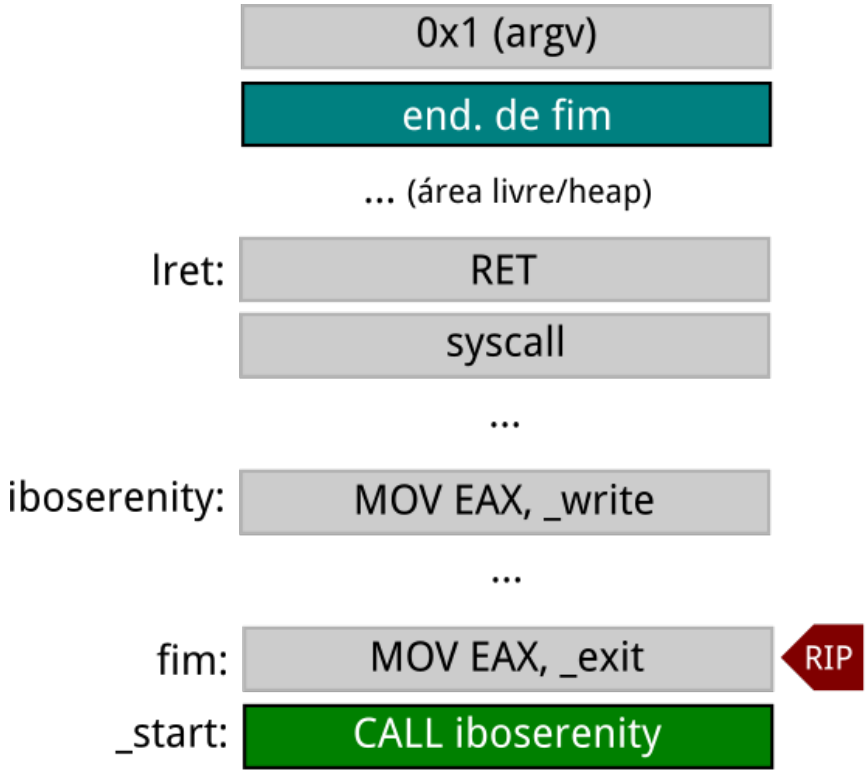
- GDB

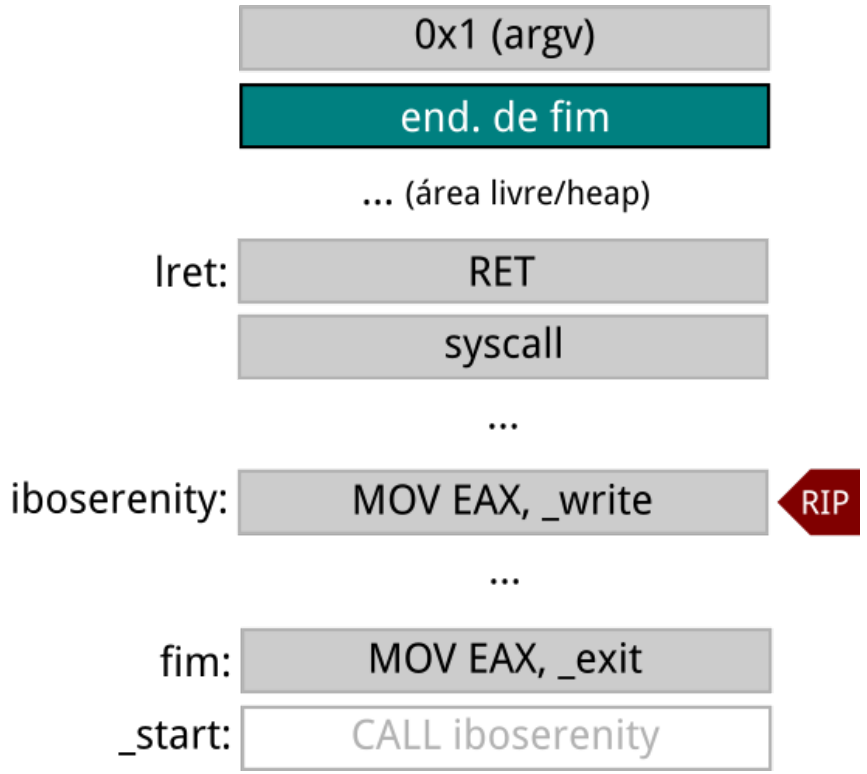
  break em `_start`, `fim`, `iboserenity`, `lret`

Memória para a10e01.asm - parte 1

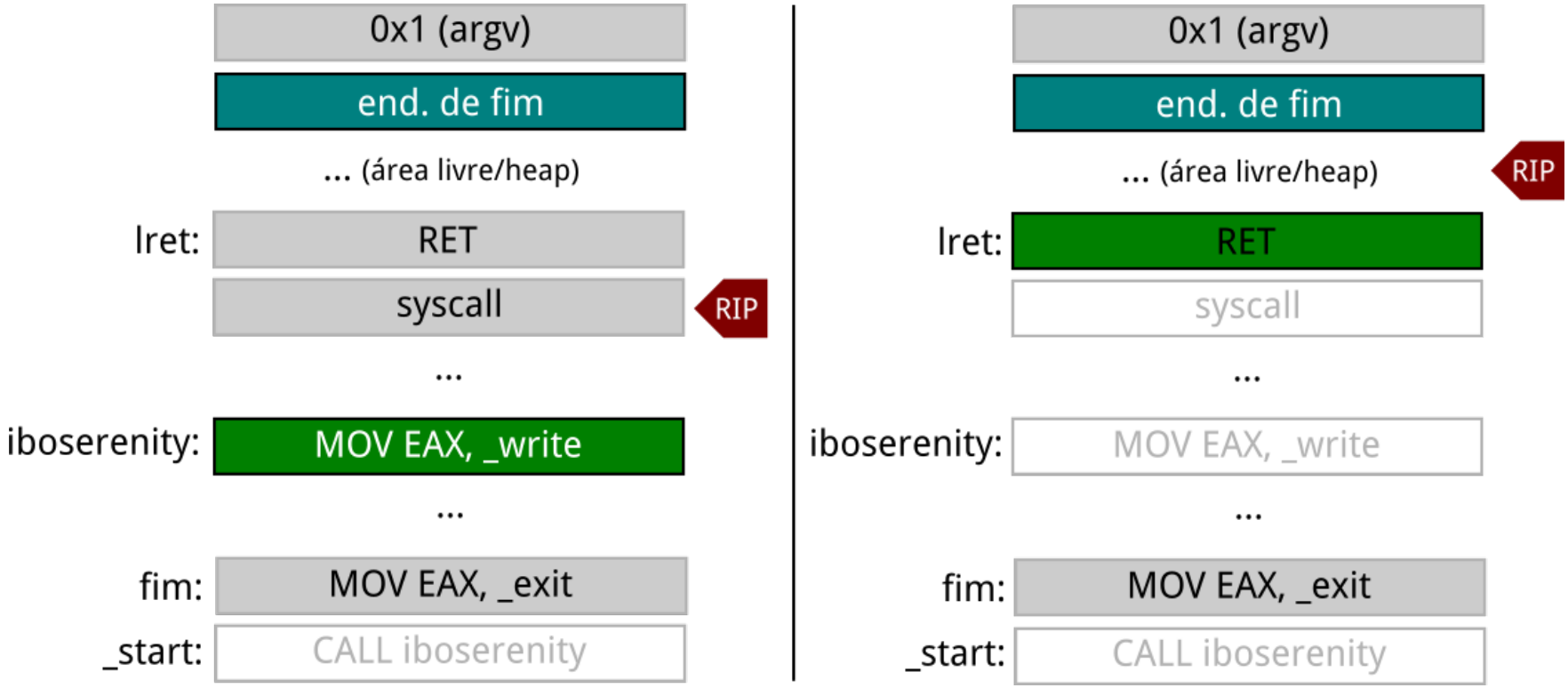


Memória para a10e01.asm - parte 2

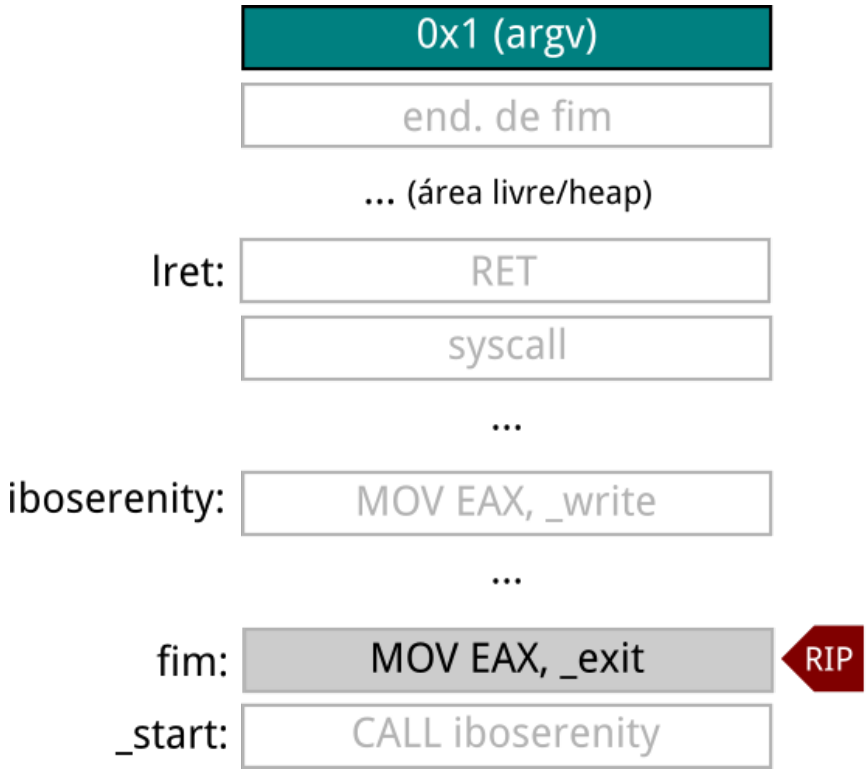


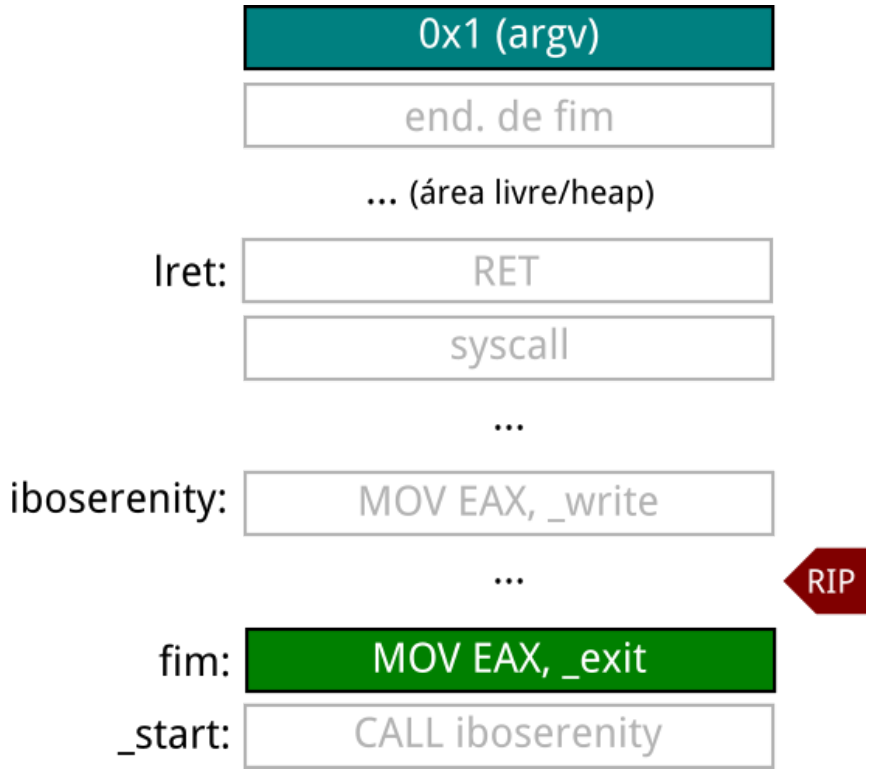


Memória para a10e01.asm - parte 3



Memória para a10e01.asm - parte 4





Importante

- TOPO da PILHA deve ser gerenciado
  - Se existirem PUSHs e POPs **internos** no sub-programa, **antes** de executar RET, o TOPO da PILHA **deve** conter o endereço de retorno.
- Como *buggar* um programa?
  - No exemplo a10e01.asm, insira o código abaixo na linha 31

```
32      push rax
```

  Assim:

```
30      ...
31      syscall
32
33      push rax            ; precedendo comentario ; POP PC
34      ret
```

  - *segmentation fault*?

Protocolo x86 para chamadas de sub-programas

- IMPORTANTE: chamada x86 não é mais estudada na disciplina
  - Seção alterada para ANEXO.
  - Arquivo de exemplo A10e02.asm

Protocolo x64 para chamadas de sub-programas

- Convenção de chamadas
  - **Chamador** (*caller*)
    - **Antes** da instrução CALL

1. Salvar *caller-saved registers* (se necessário)
   RAX, RCX, RDX, R8, R9, R10 e R11
2. Passagem de parâmetros para sub-programa via REGISTRADORES e PILHA
   RDI^{arg1}, RSI^{arg2}, RDX^{arg3}, RCX^{arg4}, R8^{arg5} e R9^{arg6}
   Demais argumentos são passados via PILHA (*like* x86)
3. **Sempre** usar instrução CALL

    - **Após** instrução CALL

4. Remover parâmetros da PILHA (se existirem)
5. Recuperar os valores dos *caller-saved registers*

Protocolo x64 para chamadas de sub-programas

- Convenção de chamadas
  - **Chamado** (*callee*)
    - **Antes** de executar corpo de sub-programa

    1. Criar *stack-frame*
    2. Alocar espaço na PILHA para variáveis locais
    3. *calle-saved registers* (se necessário)
       RBX, RDI, RSI, RBP, RSP, R12, R13, R14 e R15

    - **Depois** da execução do corpo do sub-programa

    4. Deixar resultado/retorno do sub-programa em RAX
    5. Recuperar os *calle-saved registers*
    6. Desalocar todas as variáveis locais
    7. Garantir endereço de retorno no topo da PILHA
    8. **Sempre** retornar com instrução RET

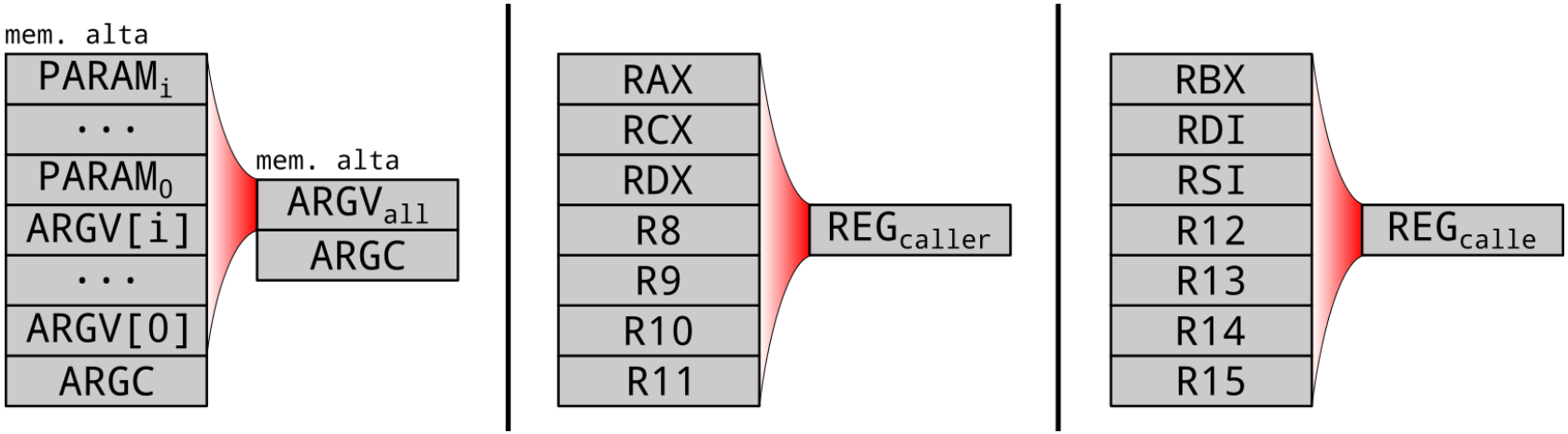
Huge example - a10e03.asm

- Será estudado passo-a-passo

```
50      ; passo 2 - Antes da chamada CALL
51      ; Passagem de parametros
52      mov rdi, strTeste1
53
54      ; passo 3 - chamada CALL
55      call strLength
56
57      ; retorno do sub-programa em EAX
58      mov [str1L], eax ; inteiro de 32bit
59      ...
```

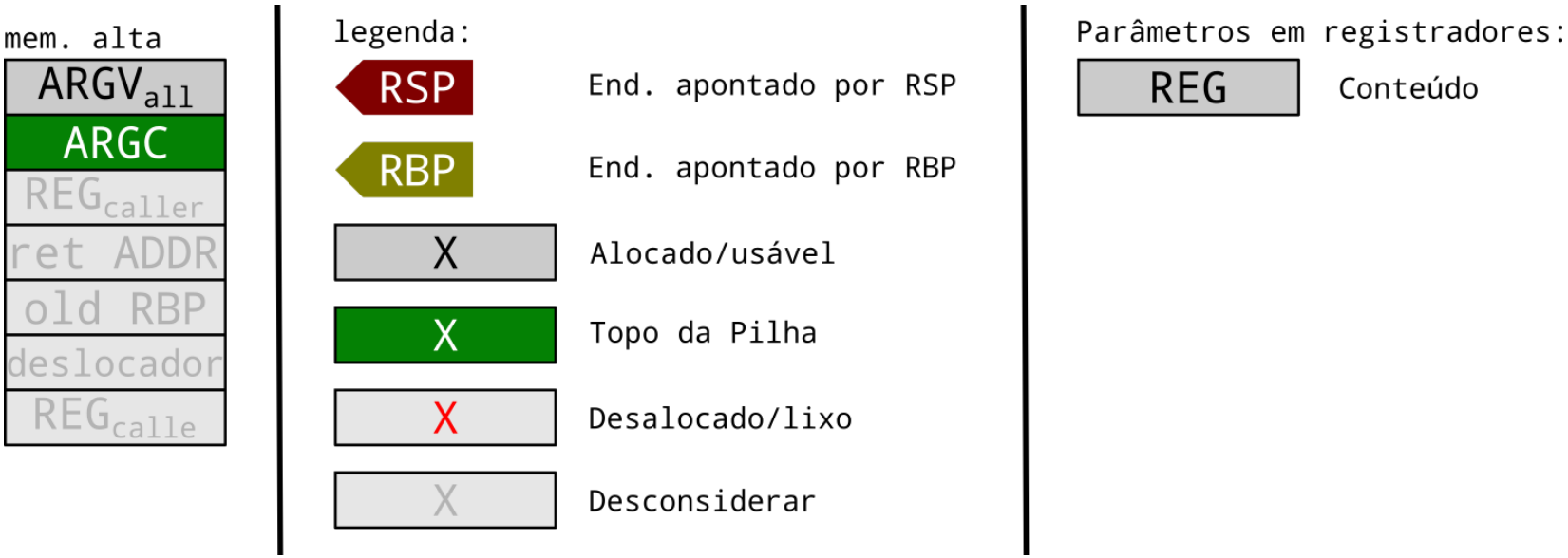
a10e03.asm - Antes do passo-a-passo (a)

- Abstração compactada



a10e03.asm - Antes do passo-a-passo (b)

- Estado inicial da pilha



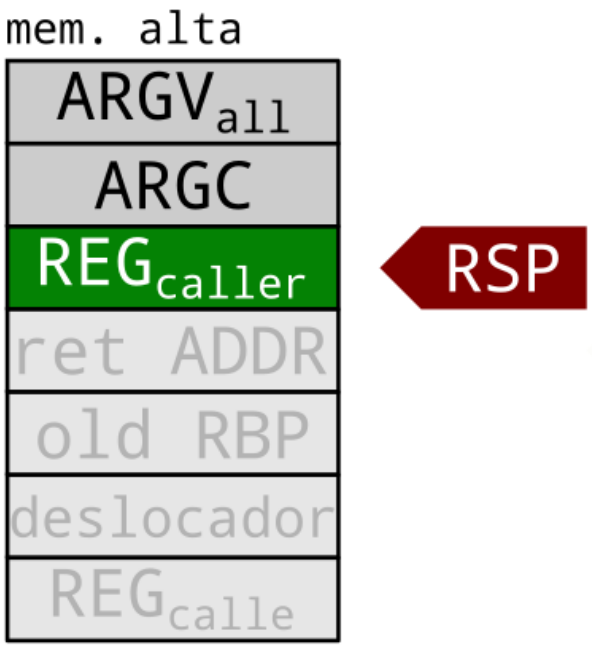
Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - parte 01

- Convenção de chamadas
  - **Chamador** (caller)
    - **Antes** da instrução CALL

1. Salvar *caller-saved registers* (se necessário)
   RAX, RCX, RDX, R8-11

```
39      ...
40      ; passo 1 - Antes da chamada CALL
41      ; salvar registradores RAX, RCX, RDX, R8-11
42      push rax
43      push rcx
44      push rdx
45      ...
```

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - PILHA



Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - parte 02

- Convenção de chamadas
  - **Chamador** (caller)
    - **Antes** da instrução CALL

    2. Passagem de parâmetros para sub-programa via REG+PILHA
       RDI^{arg1}, RSI^{arg2}, RDX^{arg3}, RCX^{arg4}, R8^{arg5} e R9^{arg6}
       PILHA (*like* x86)

```
50      ...
51      ; passo 2 - Antes da chamada CALL
52      ; Parametro em RDI
53      mov rdi, strTeste1
54      ...
```

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - PILHA

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - parte 03

- Convenção de chamadas
  - **Chamador** (caller)
    - **Antes** da instrução CALL
    3. **Sempre** usar instrução CALL

```
54      ...
55      ; passo 3 - chamada CALL
56      call strLength
57      ...
```

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - PILHA

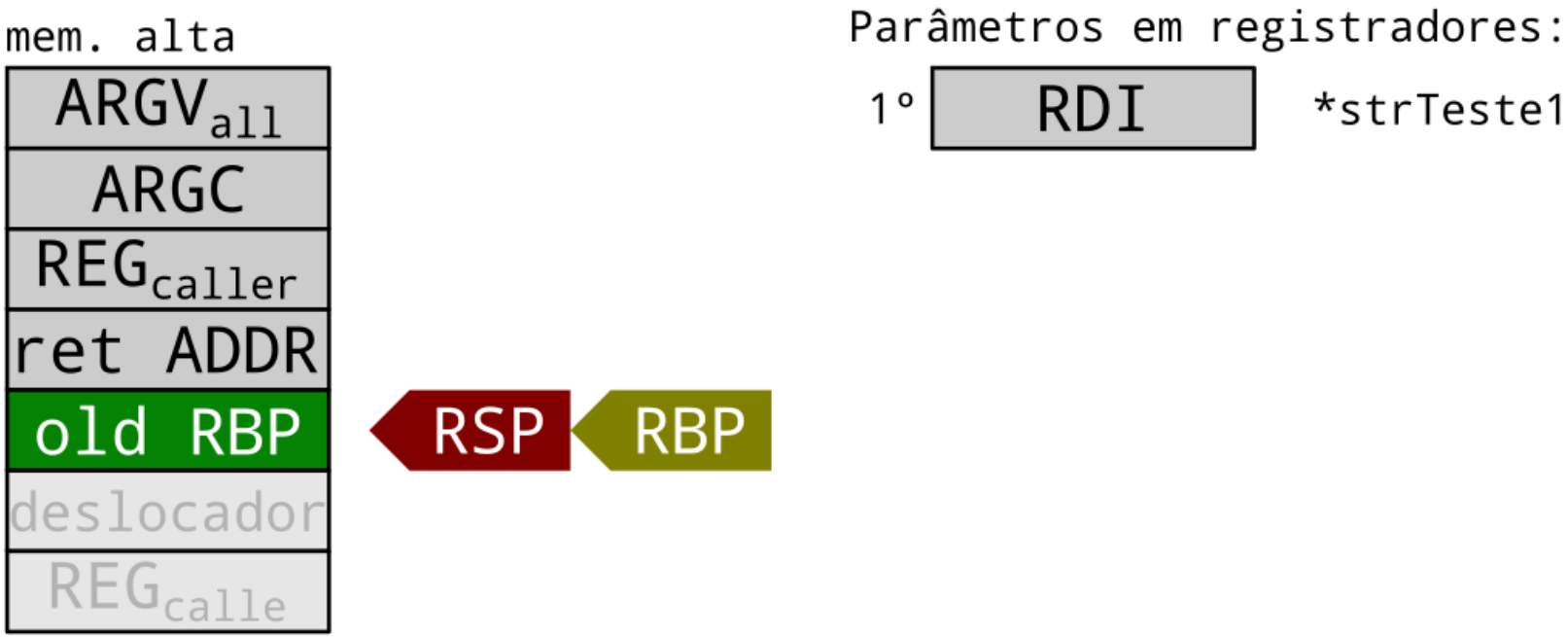
Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - parte 04

- Convenção de chamadas
  - **Chamado** (*callee*)
    - **Antes** de executar corpo de sub-programa

    1. Criar *stack-frame*

```
84      ...
85      ; passo 1 - Antes do corpo do sub-programa
86      ; criar stack-frame
87      push rbp
88      mov rbp, rsp
89      ...
```

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - PILHA



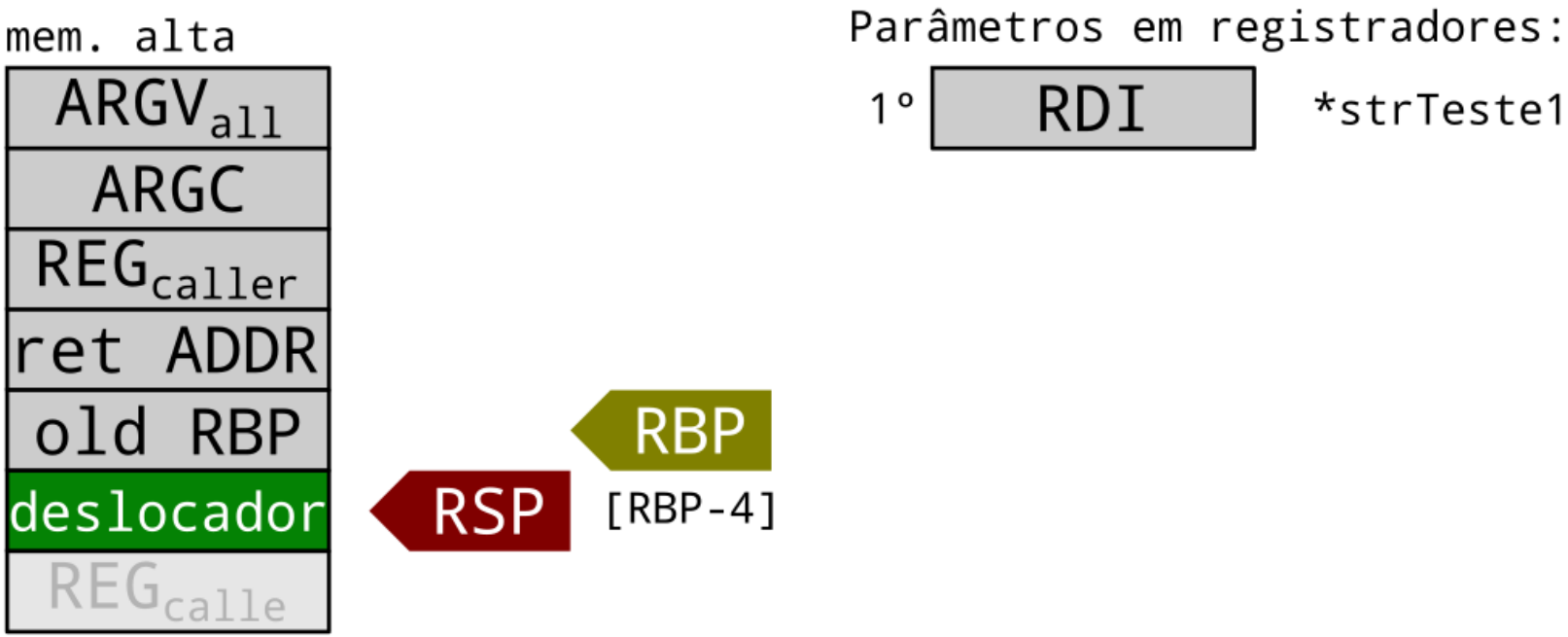
Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - parte 05

- Convenção de chamadas
  - **Chamado** (*callee*)
    - **Antes** de executar corpo de sub-programa

    2. Alocar espaço na PILHA para variáveis locais

```
88      ...
89      ; passo 2 - Antes do corpo do sub-programa
90      ; criar espaco para variaveis locais
91      sub rsp, 4  ; 4 bytes para variavel inteira local
92      ; [esp-4] eh o deslocador ate encontrar '0'
93      ...
```

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - PILHA



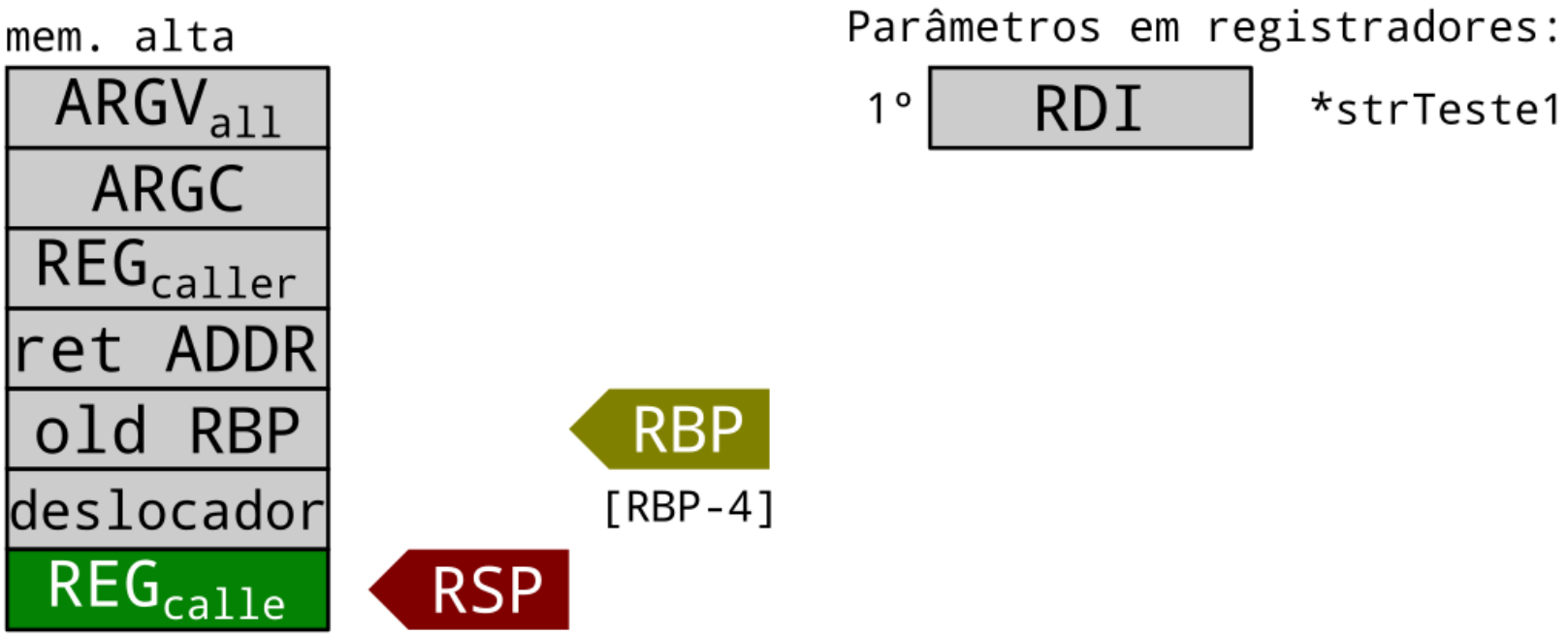
Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - parte 06

- Convenção de chamadas
  - **Chamado** (*callee*)
    - **Antes** de executar corpo de sub-programa

    3. *calle-saved registers* (se necessário)
       RBX, RDI, RSI, R12-15

```
94      ...
95      ; passo 3 - Antes do corpo do sub-programa
96      ; salvar registradores RBX, RDI, RSI, R12-15
97      push rbx
98      push rdi
99      push rsi
100     ...
```

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - PILHA



Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - parte 07

- Convenção de chamadas
  - **Chamado** (*callee*)
    - sub-programa
    - parâmetro *char[ ] → RDI
    - variável local → [ebp-4]

```
103     ...
104      ; sub-programa - inicio ----------------------------
105      ; RDI = char *c[] - parametro 1
106     mov dword [rbp-4], 0
107     laco:
108         mov edx, [rbp-4]   ; deslocador de 32 bits
109         mov al, [rdi+rdx]  ; char[deslocador]
110         cmp al, 0          ; char eh zero?
111         je finaliza
112         inc edx            ; desloc++
113         mov [rbp-4], edx   ; guarda deslocador
114         jmp laco
115     ...
```

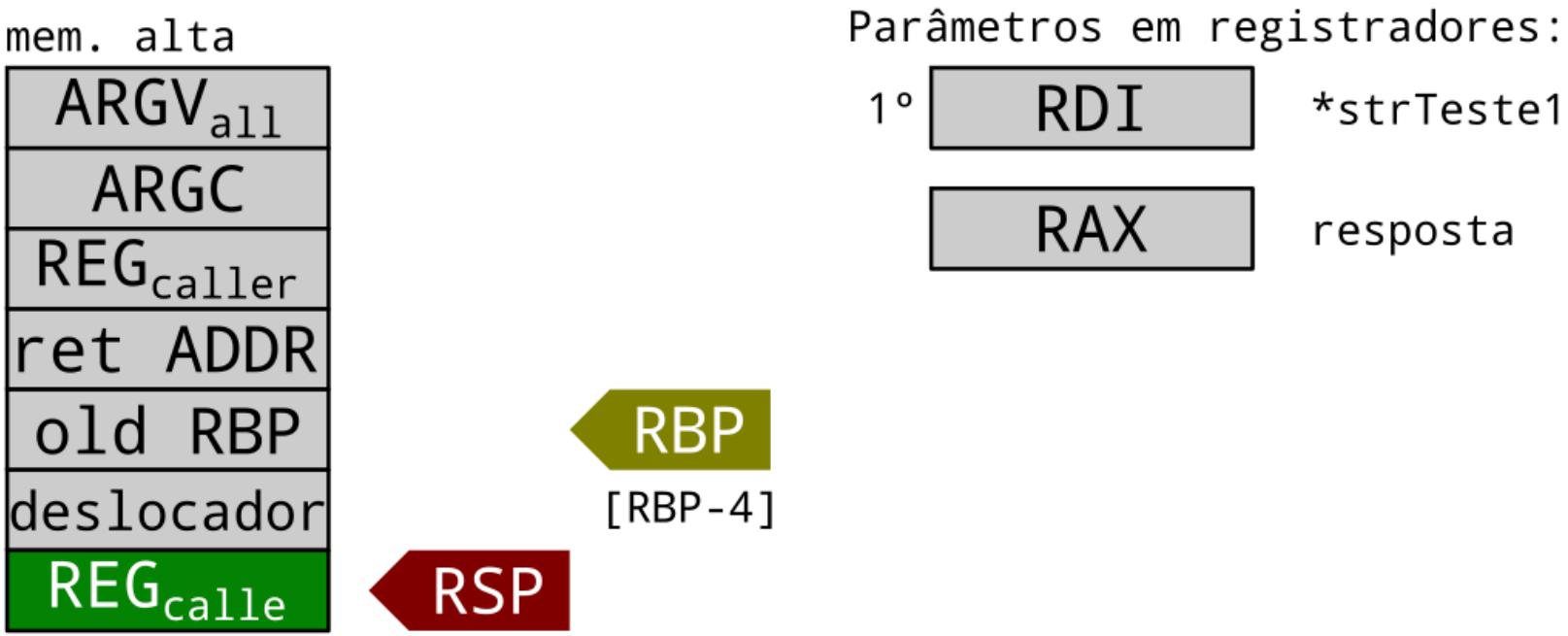
Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - parte 08

- Convenção de chamadas
  - **Chamado** (*callee*)
    - **depois** da execução do corpo de sub-programa

    4. Deixar resultado/retorno do sub-programa em EAX

```
101     ...
102     ; passo 4 - depois do corpo do sub-programa
103     ; copiar resultado para RAX
104     mov eax, [rbp-4] ; 'zero-fill' 32H + 32L <- [rbp-4]
105     ...
```

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - PILHA

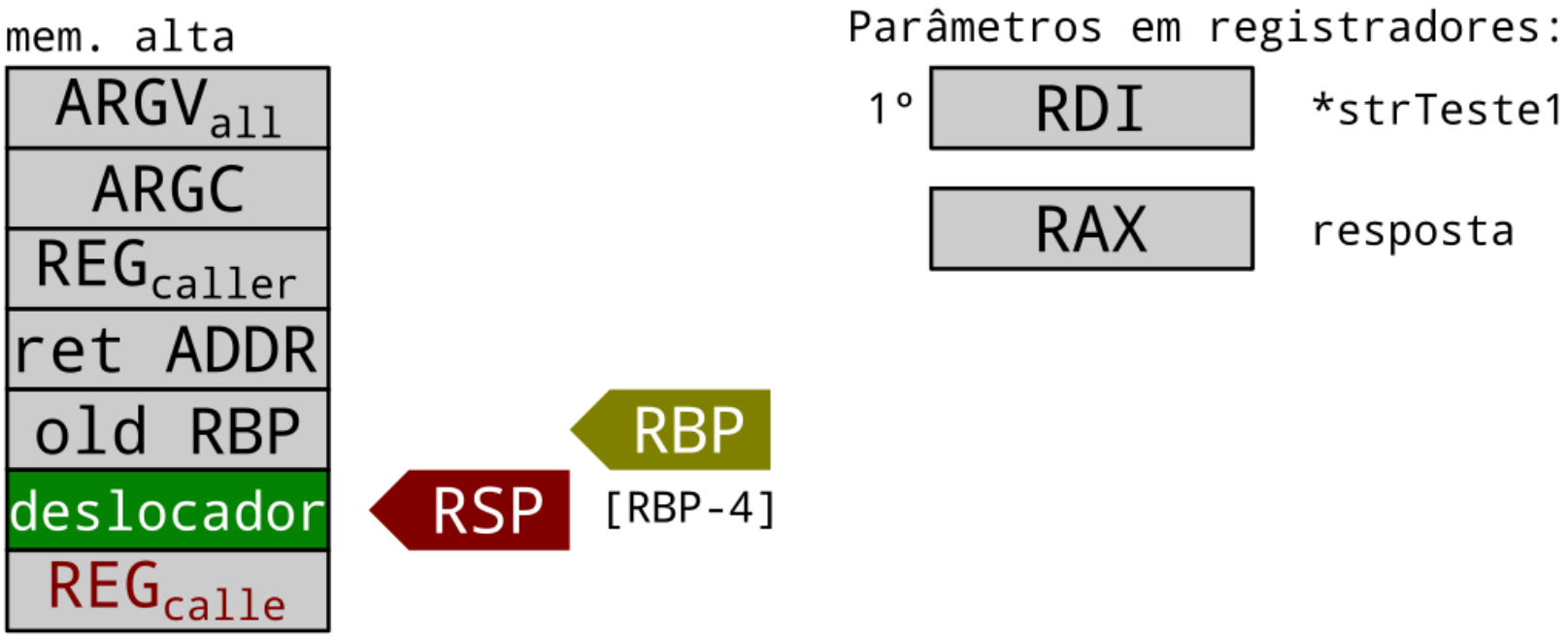


Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - parte 09

- Convenção de chamadas
  - **Chamado** (*callee*)
    5. Recuperar os *calle-saved registers*

```
107     ...
108     ; passo 5 - depois do corpo do sub-programa
109     ; recuperar registradores RBX, RDI, RSI, R12-15
110     pop r15 ; ultimo empilhado
111     pop r14
112     pop r13
113     ...
```

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - PILHA

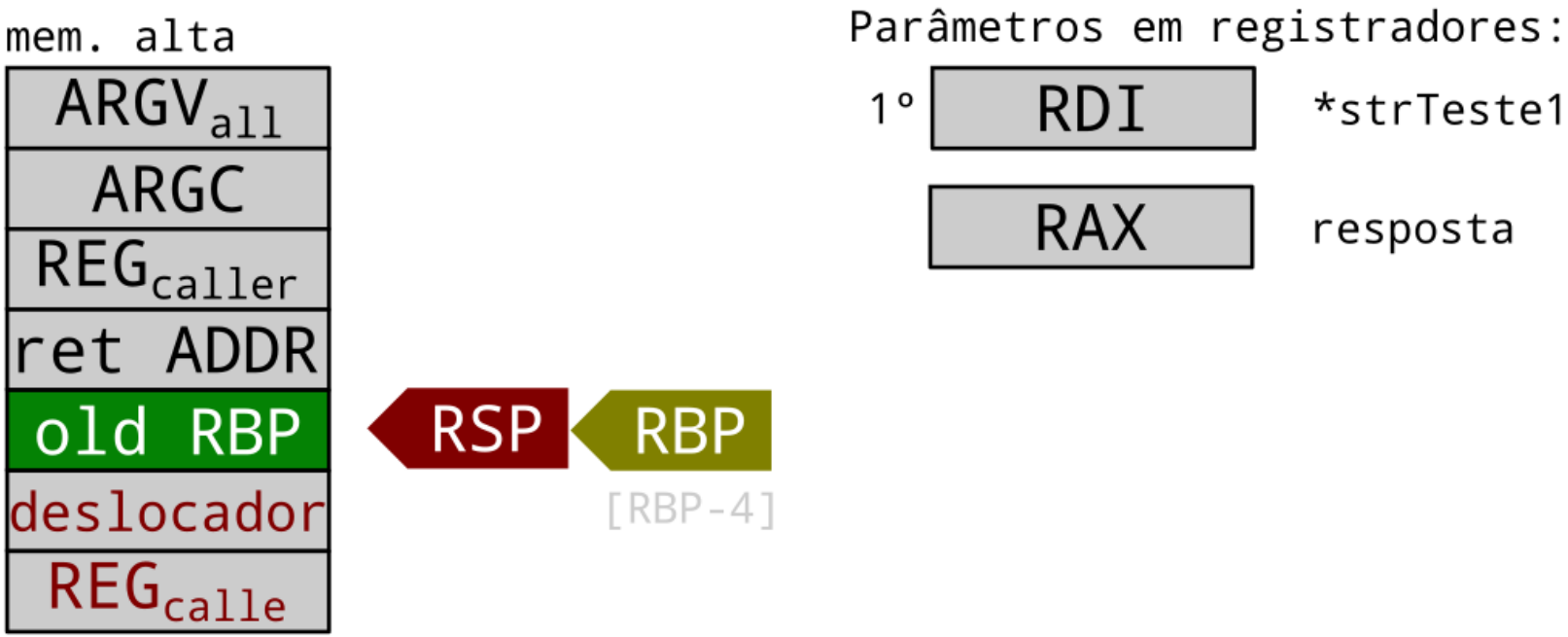


Passo-a-passo com exemplo a10e02.asm - parte 10

- Convenção de chamadas
  - **Chamado** (*callee*)
    6. Desalocar todas as variáveis locais

```
134     ...
135     ; passo 6 - depois do corpo do sub-programa
136     ; desalocar variaveis locais
137     mov rsp, rbp
138     ...
```

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - PILHA

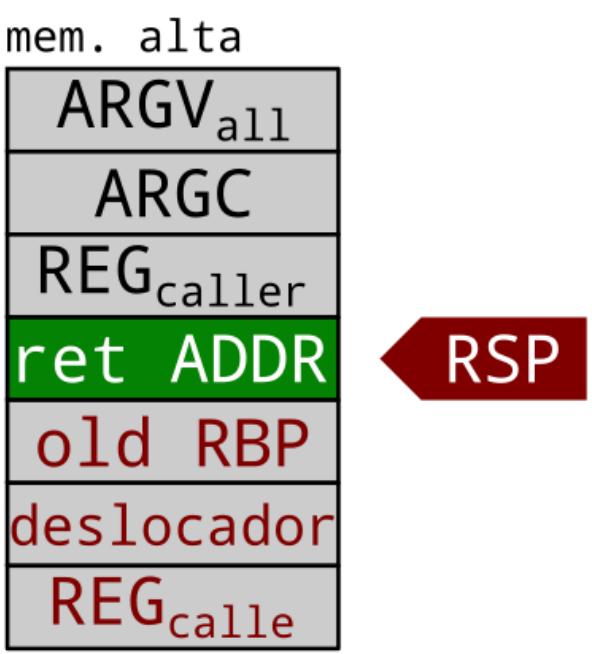


Passo-a-passo com exemplo a10e02.asm - parte 11

- Convenção de chamadas
  - **Chamado** (*callee*)
    7. Garantir endereço de retorno no topo da PILHA

```
138     ...
139     ; passo 7 - depois do corpo do sub-programa
140     ; recuperar rbp antigo, garantir endereco de retorno
141     pop rbp
142     ...
```

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - PILHA



Parâmetros em registradores:

1º RDI *strTeste1

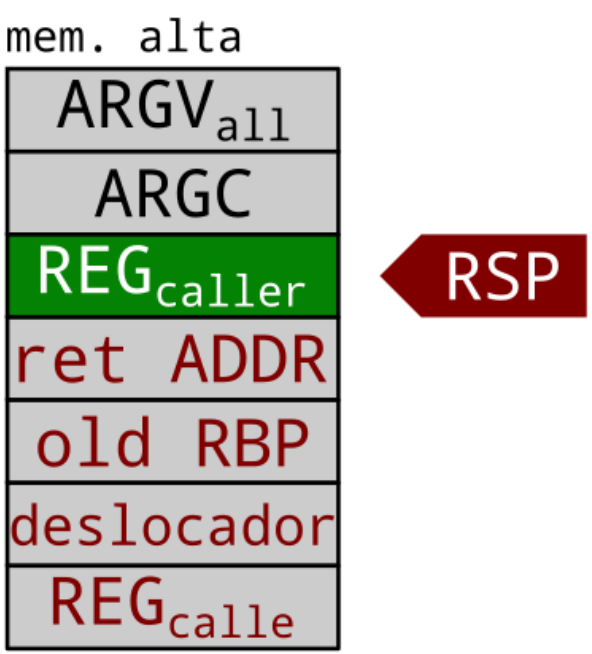
RAX resposta

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - parte 12

- Convenção de chamadas
  - **Chamado** (*callee*)
    - Recuperar os *calle-saved registers*
    - ❽ **Sempre** retornar com instrução RET

```
142     ...
143     ; passo 8 - depois do corpo do sub-programa
144     ; sempre, sempre, sempre retorne com RET
145     ret
146     ...
```

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - PILHA



Parâmetros em registradores:

1º RDI *strTeste1

RAX resposta

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - parte 13

- Convenção de chamadas
  - **Chamador** (caller)
    - **Após** instrução CALL

4. Remover parâmetros da PILHA

```
61      ...
62      ; passo 4
63      ; remover parametros da PILHA
64      ; add rsp, 8 ; +8 para cada parametro empilhado
65                   ; porem nao existem neste exemplo
66                   ; 90% dos codigos utilizam
67                   ;     ate 6 parametros
68      ...
```

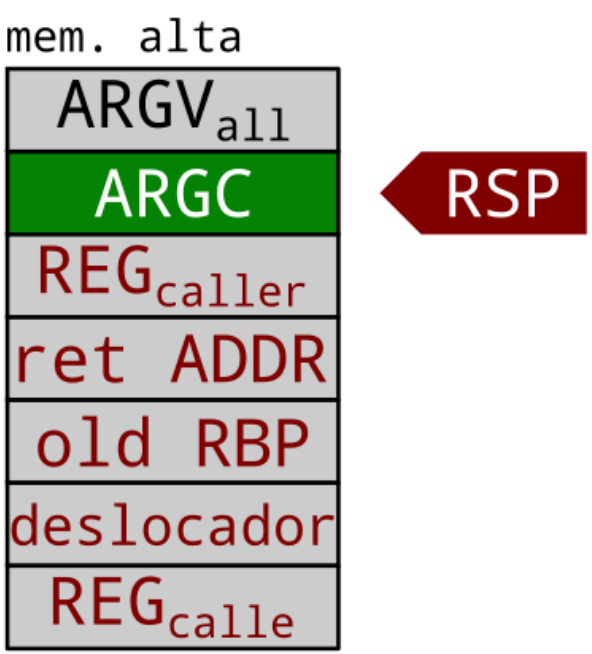
Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - parte 14

- Convenção de chamadas
  - **Chamador** (caller)
    - **Após** instrução CALL

5. recuperar os valores dos *caller-saved registers*

```
66      ...
67      ; passo 5
68      ; recuperar registradores RAX, RCX, RDX, R8-11
69      pop r11 ; ultimo empilhado
70      pop r10
71      pop r9
72      ...
```

Passo-a-passo com exemplo a10e03.asm - PILHA



Parâmetros em registradores:

1º RDI *strTeste1

RAX resposta

Múltiplos arquivos

- Usado para organizar códigos extensos.
  - Separa o arquivo principal de seus subprogramas
  - Semelhante ao C com suas headers + arquivos
- Protocolo:
  1. Cria-se o código em arquivo separado
  2. Incluí-se o arquivo no local com o comando

```
%include "nomeDoArquivoSeparado.asm"
```

  - Importante: arquivos devem estar no mesmo diretório, ou usar caminhos relativos ou estáticos no %include

Exemplo - a10e03b.asm

- Não será estudado passo-a-passo, pois é semelhante ao exemplo a10e03.asm
- Porém, utiliza o arquivo `a10e03bfuncoes/a10e03bstrLengh.asm` em anexo

```
75      ....
76  fim:
77      mov rax, _exit
78      mov rdi, 0
79      syscall
80
81      ; %include "a10e03bstrLengh.asm"
82      %include "a10e03bfuncoes/a10e03bstrLengh.asm"
83      mov [str1L], eax ; inteiro de 32bit
84      ...
```

Chamada de funções externas (C)

- Utilização de funções externas
  - Declaração

```
    extern nomeDaFuncao
```

  - Chamada utilizando CALL

```
     CALL nomeDaFuncao
```

  - Passagem de parâmetro utilizando protocolo da arquitetura

Chamada de funções externas (C)

- Alteração no código .asm

```
    section .text
        global _start
```

é alterado para:

```
    section .text
        global main
```

  - Agora temos a função main
    - que requer a criação do stack-frame

Exemplo a10e05.asm - printf em x64

- Chamada para *printf* em arquitetura x64

```
29      ...
30       mov rdi, strCtrl ; controle para printf
31       lea rsi, [str1]  ; endereco str1
32       mov edx, [day] ; conteudo 'day'
33       mov ecx, [year]; condeudo 'year'
34       call printf
35      ...
```

- Montar:

```
nasm -f elf64 a10e05.asm
```

- Linkar:

```
gcc -m64 -no-pie a10e05.o -o a10e05.x
```

Exemplo a10e05.asm - printf em x64

- Importante: Parâmetros para Ponto-Flututante
  - São passados em registradores XMM0 (será visto numa futura aula)
  - Deve ser informado ao *printf* que não serão passados parâmetros P.F.

```
21      ...
22      ; nao sera passado ponto-flutuante
23      xor rax,rax ; numero de P.F. eh zero
24      ...
```

Atividades Práticas

- a10at01: Usando o exemplo **a10e03.asm**, realize a chamada da função

```
int strLength(char *c[])
```

passando como parâmetro *strTeste2* e *strTeste3*

  - Escreva o código das chamadas a partir da linha 60
  - Guarde o resultado das chamadas em *str2L* e *str3L*

Atividade(s)

- a10at02: Criação de Funções (professor enlouqueceu)
  - Implementar um código que receba uma entrada do usuário e realize a conversão necessária:
    maiúscula → minúscula
    minúscula → maiúscula
  - Funções prontas (usar *extern*):
    - printf
    - scanf
  - Funções que devem ser criadas
    - `*char[ ] upperCase(char* c[ ])`
    - `*char[ ] lowerCase(char* c[ ])`
  - Arquitetura x64

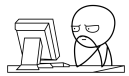
Atividade(s)

- a10at02: Criação de Funções - Continuação
  - Comportamento:
    - Solicitar ao usuário para entrar com uma string
      Usuário é esperto, maxChars = 25
      e somente caracteres alfabéticos
    - Aplicar *upperCase* se string iniciar com minúscula
    - Aplicar *lowerCase* se string iniciar com maiúscula
    - Encerrar programa se string for exit (*non-case-sensitive*)
  - Exemplo:

```
$: ./a10at02.x
Entrada: <texTODOUsuario>
Convert: <TEXTODOUSUARIO>
Entrada: <OutROtEXTo>
Convert: <outrotexto>
Entrada: <ExIt>
2 convert(s), Farewell my friend!
$:
```

Atividade(s)

- a10at03: Função Fatorial Recursivo
  - Crie um código que:
    - Leia do teclado um inteiro
    - Calcule o fatorial utilizando recursividade
      `int fatRec(int i)`
    - Mostre o resultado
    - O código não é "Endless Factorial"



  - Exemplo:

```
$ ./a10at03.x
Fatorial de <15>
eh <1.307.674.368.000>
$:
```

    - 15 é entrada do usuário
    - 1.307.674.368.000 é o resultado
  - A importância do *stack-frame* é observado nesta atividade