Geração de Código para uma Máquina Hipotética a Pilha

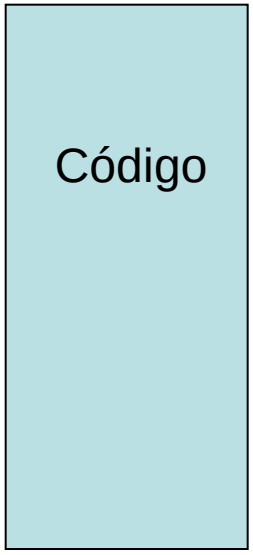
MEPA

Máquina de Execução para Pascal e
sua linguagem de montagem

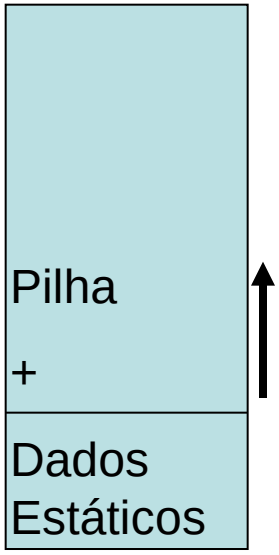
(capítulo 8 e capítulo 9.5 do livro Kowaltowski)

MEPA

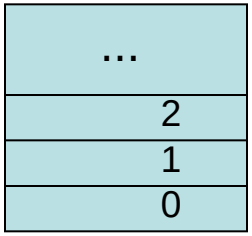
- É composta de 3 Regiões
- Não tem HEAP, pois o PS não permite variáveis dinâmicas



Região de programa: P(i)



Região da Pilha de Dados: M(s)



Display: D(b)

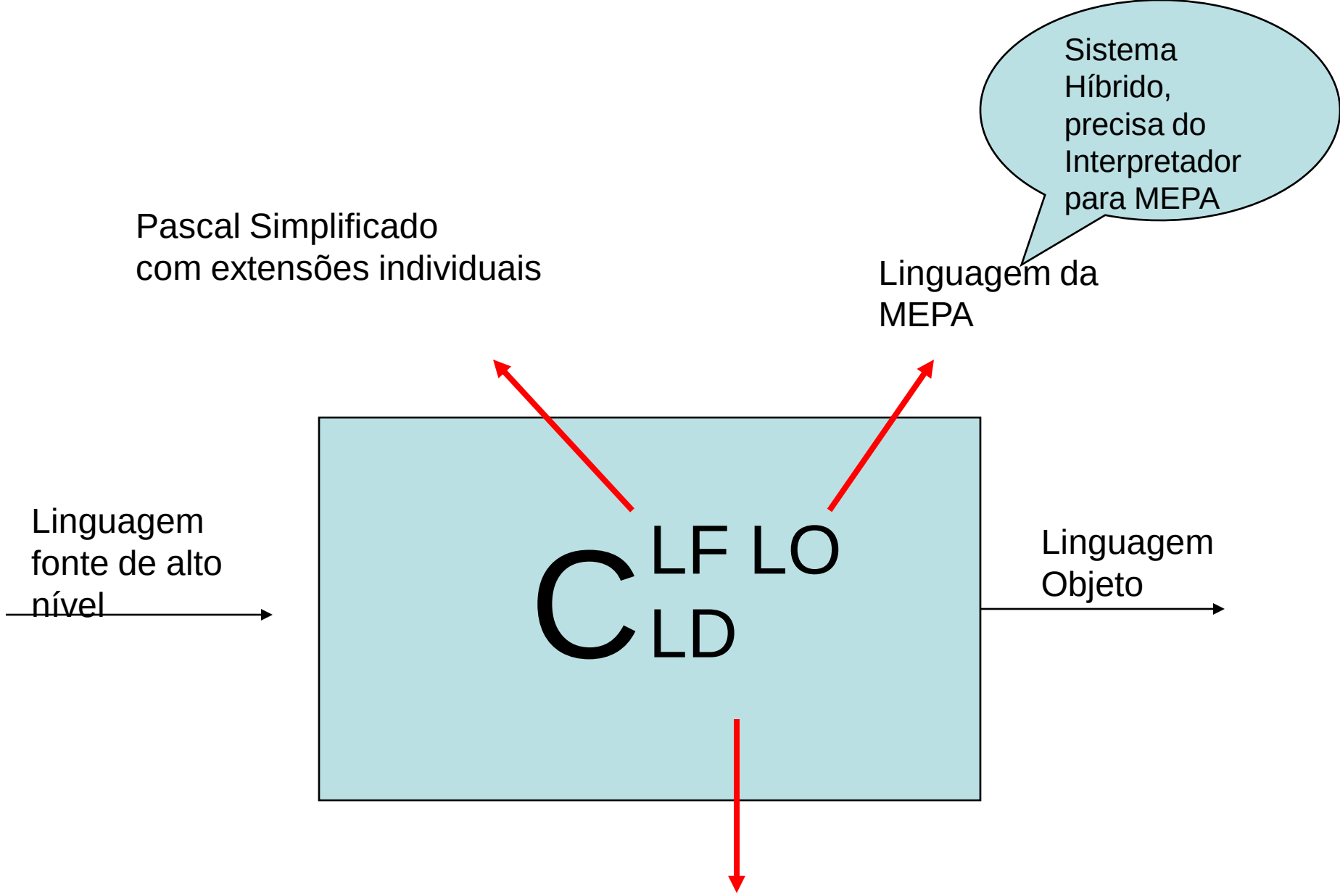
(Vetor dos Registradores de Base que apontam para M)

Geração de Código

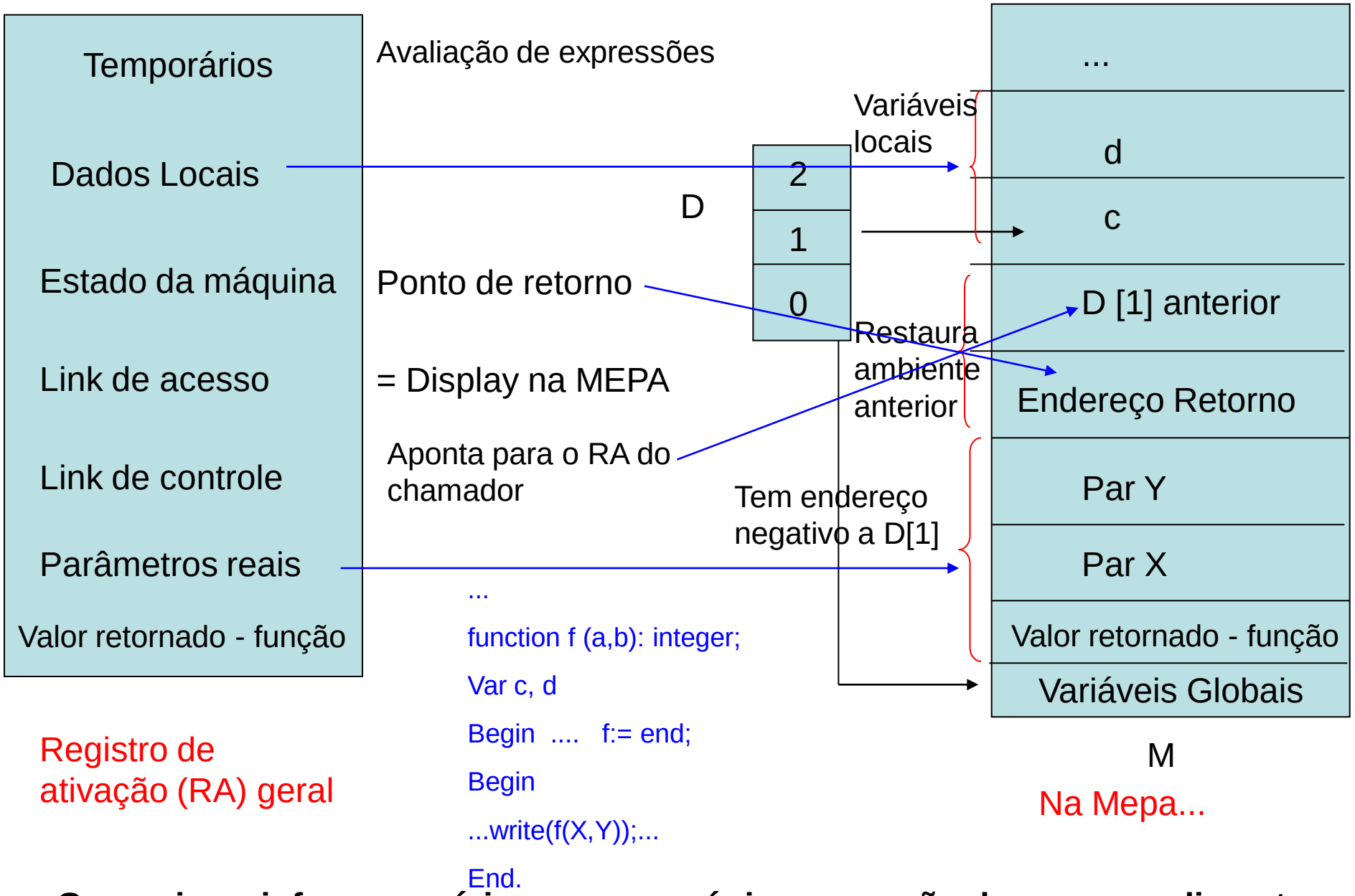
- Uma vez que o programa da MEPA está carregado na região P, e os registradores têm seus valores iniciais, o funcionamento da máquina é muito simples:
  - As instruções indicadas pelo registrador i são executadas até que seja encontrada a instrução de parada, ou ocorra algum erro.
  - A execução de cada instrução aumenta de 1 o valor de i, exceto as instruções que envolvem desvios.
- Em nível de projeto, o vetor P será construído pelo compilador que o gera como saída. Esta saída passa a ser a entrada de um programa interpretador deste código.

Porque falei em vetor P e não arquivo para P???

- As áreas M e D e os registradores i, s, b, estão fora do escopo do compilador e, portanto, são definidos e manipulados no programa interpretador, como mostra a especificação inicial para nosso projeto:


Sistema Híbrido, precisa do Interpretador para MEPA
Pascal Simplificado com extensões individuais
Linguagem da MEPA
Linguagem fonte de alto nível
C
LF LO
LD
Linguagem Objeto
JAVA com JavaCC

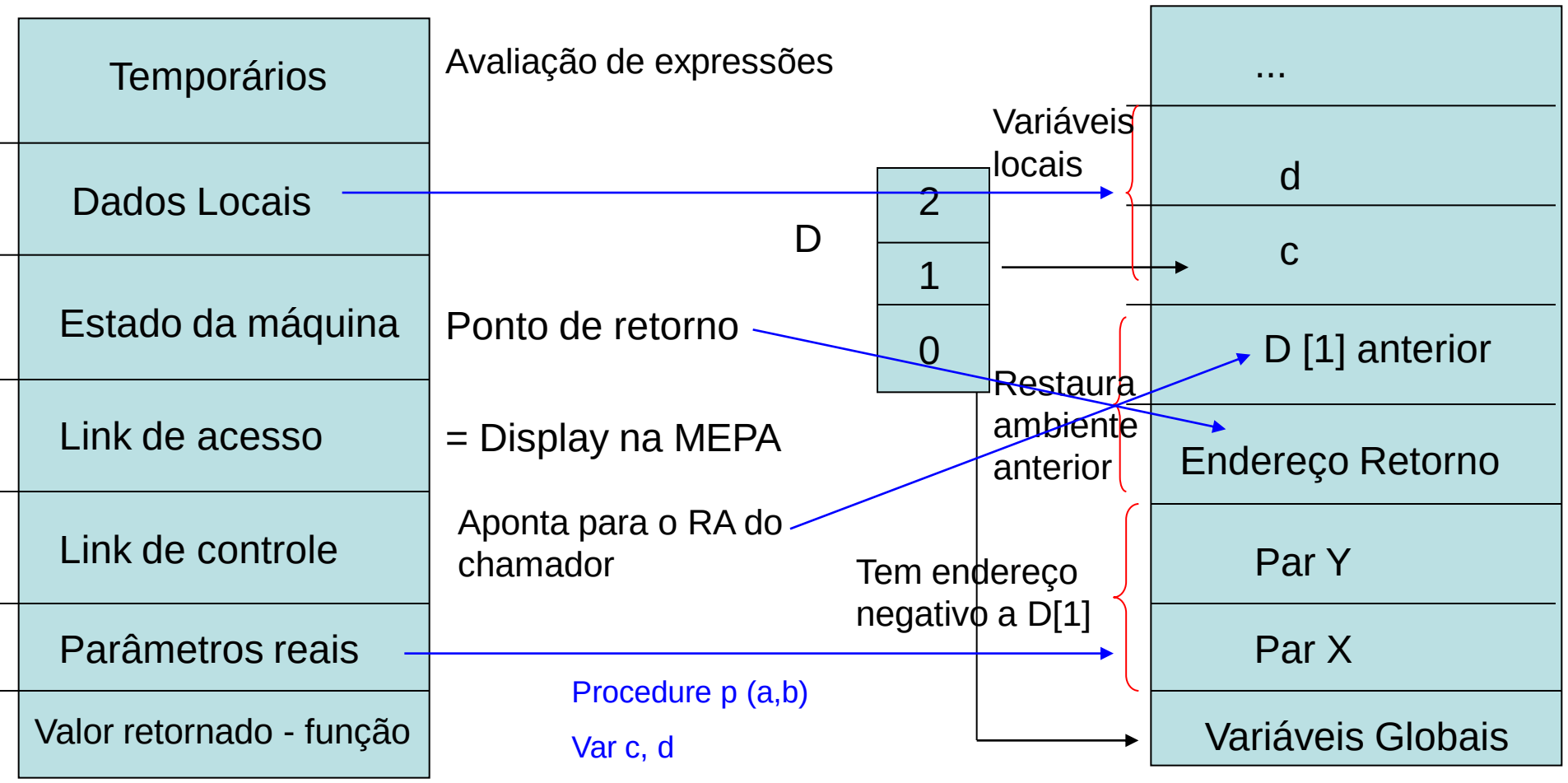
Registro de ativação para funções



Gerencia as info necessárias para uma única execução de um procedimento

Registro de ativação para procedimentos

Gerencia as info necessárias para uma única execução de um procedimento



Procedure p (a,b)

Var c, d

Begin ... end;

Begin

p(x,y)

End.

Registro de ativação (RA) geral

Na Mepa...

Geração de Código para a **MEPA**

Veremos agora a geração de código para:

1. Avaliação de expressões
2. Comando de atribuição
3. Comandos Iterativos e Condicionais
4. Procedimentos pré-definidos de E/S
5. Programas sem procedimentos
6. Procedimentos sem parâmetros

Vamos anotar no conjunto de instruções os números acima e redefinir algumas instruções em certos momentos, pois nos moveremos do simples para o complexo

Linguagem de Montagem da MEPA, separados por contextos de uso

1. Avaliação de expressões – 16 instruções

1. SOMA
2. SUBT
3. MULT
4. DIVI
5. INVR
6. CONJ
7. DISJ
8. NEGA
9. CMME

Usados sem alteração

10. CMMA
11. CMIG
12. CMDG
13. CMEG
14. CMAG
15. CRCT k

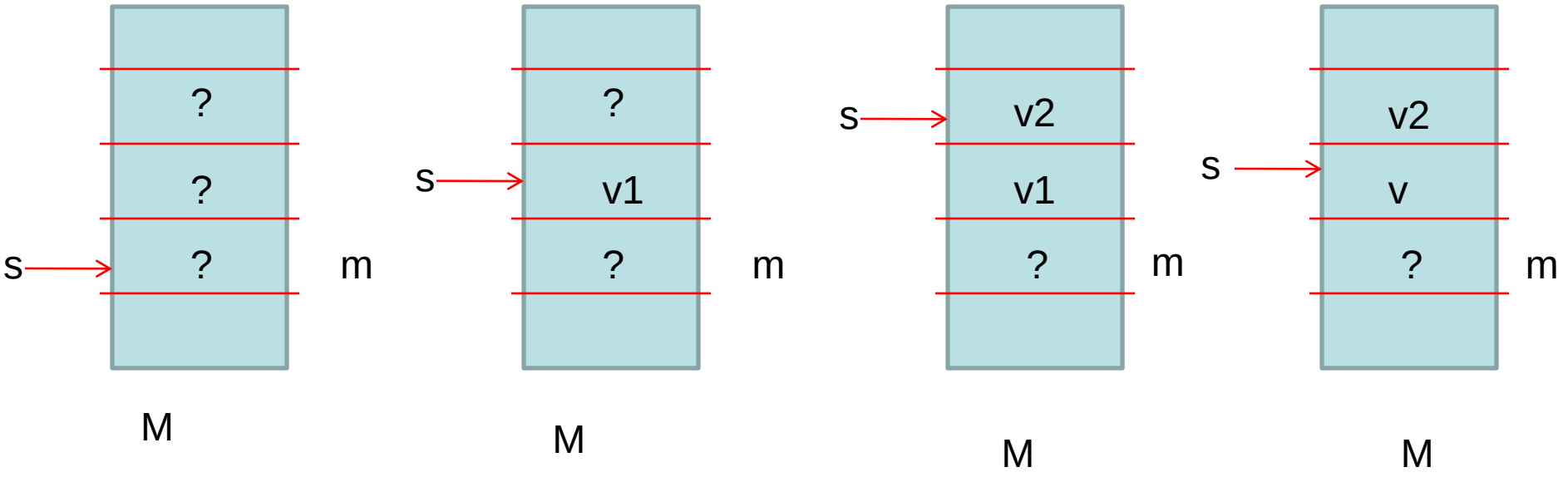
16. CRVL n
    s := s + 1
    M[s] := M[n]

alterado

Uso da notação polonesa (posfixa)

1. Avaliação de expressões - cálculos

- E = E1 op E2
- Avaliar E1 e E2 e depois operar
- Guarda-se os valores v1 e v2 de E1 e E2 na própria pilha M, v será o valor final de E



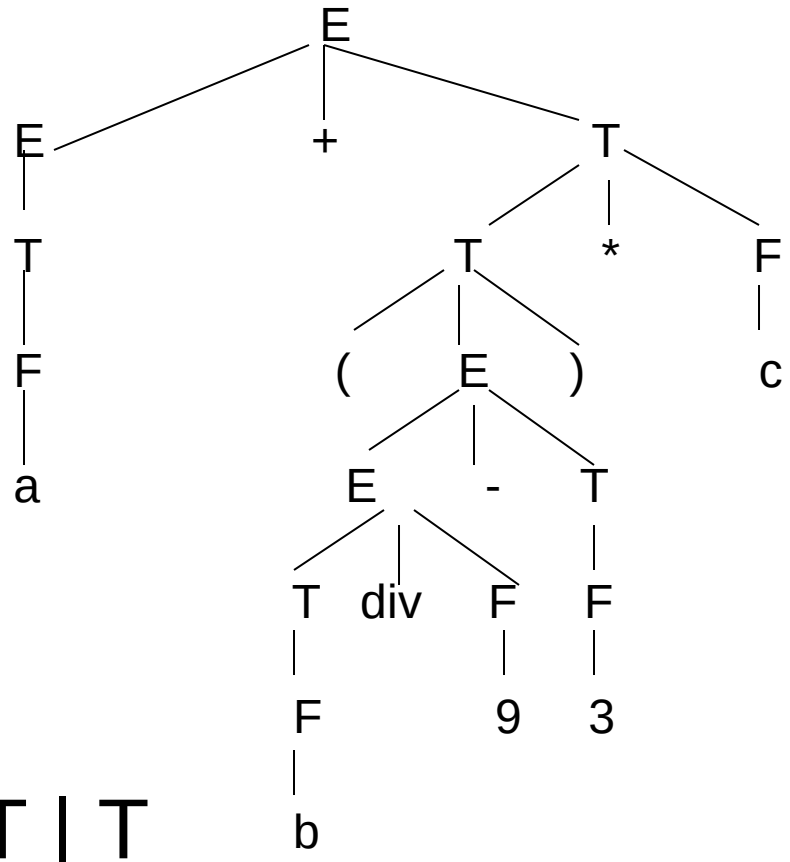
Ex1: a + (b div 9 -3) * c
(operadores com prioridade diferente)

- a, b, c estão em 100, 102 e 99
- Com os valores -2, 10 e 100
- s = 104

- Observem que o código para expressões fica na notação polonesa posfixa

- PORQUE????

Árvore de Derivação para a expressão a + (b div 9 -3) * c



E -> E + T| E –T | T

T -> T div F | T * F | F

F -> (E) | not F | ID | NRO

Programa-objeto da tradução

```
CRVL    100 (a)
CRVL    102 (b)
CRCT    9   (c)
DIVI
CRCT    3
SUBT
CRVL    99
MULT
SOMA
```

Ex2: 1- a + b
(operadores de mesma prioridade)

- a, b estão em 100, 102
- Com os valores -2, 10
- s = 104

- Mas podemos também deixar os endereços genéricos (A e B)

Programa-objeto da tradução

```
CRCT    1
CRVL    A (endereço de a na pilha M, obtido da TS)
SUBT
CRVL    B
SOMA
```

2. Comando de atribuição

- Atribuição a variáveis simples: V := E
- A expressão E já sabemos traduzir
- n é o endereço atribuído pelo compilador à variável V

ARMZ n

M[n] := M[s] alterado

s := s - 1

Ex3: a := a + b * c

- a, b, c estão em 100, 102 e 99
- Com os valores -2, 10 e 100

- Observem que o valor final do registrador s após a execução de uma atribuição será igual ao seu valor inicial

- Esta propriedade valerá para todo comando em Pascal; exceções: desvio e chamadas de procedimentos e funções

Programa-objeto da tradução

```
CRVL    100
CRVL    102
CRVL    99
MULT
SOMA
ARMZ    100
```

3. Comandos Iterativos e Condicionais

- Os esquemas do IF e WHILE usam:

1. DSVS p
2. DSVF p
3. NADA

Usados sem alteração

p é um número que indica o endereço de programa na MEPA
Aqui usaremos rótulos simbólicos , em vez de números

If E then C1 else C2

```
      ... } tradução de E
      DSVF L1
      ...} tradução de C1
      DSVS L2
L1    NADA
      ... } tradução de C2
L2    NADA
```

/ If E then C

```
      ... } tradução de E
      DSVF L1
      ... } tradução de C
L1    NADA
```

While E do C

```
L1    NADA
      ... } tradução de E
      DSVF L2          determinado depois
      ... } tradução de C
      DSVS L1          determinado a priori
L2    NADA
```

Ex4: If q then a:= 1 else a := 2

- Neste e nos outros 2 exercícios usaremos os rótulos simbólicos, em ordem crescente: L1, L2, L3 ....

Programa-objeto da tradução

```
CRVL    Q
DSVF    L1
CRCT    1
ARMZ    A
DSVS    L2
L1  NADA
CRCT    2
ARMZ    A
L2  NADA
```

Ex 5: if a>b then q := p and q
else if a <2 *b then p := true
else q := false

Programa-objeto da tradução

```
CRVL    A
CRVL    B
CMMA
DSVF    L3
CRVL    P
CRVL    Q
CONJ
ARMZ    Q
DSVS    L4
L3  NADA
CRVL    A
CRCT    2
CRVL    B
MULT
CMME
DSVF    L5
CRCT    1
ARMZ    P
DSVS    L6
L5  NADA
CRCT    0
ARMZ    Q
L6  NADA
L4  NADA
```

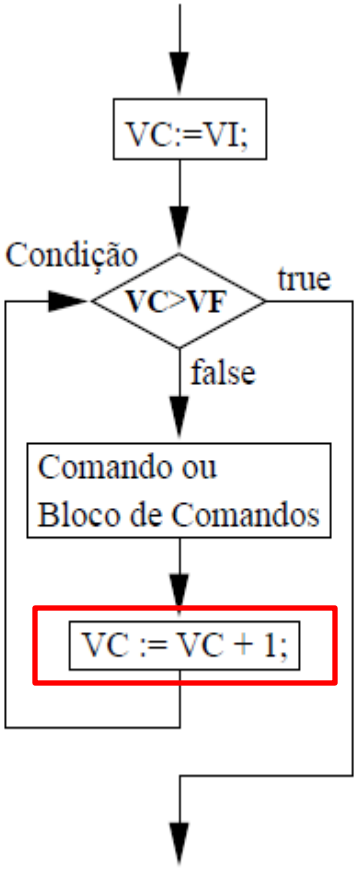
Ex 6: while s <=n do s := s +3 * s

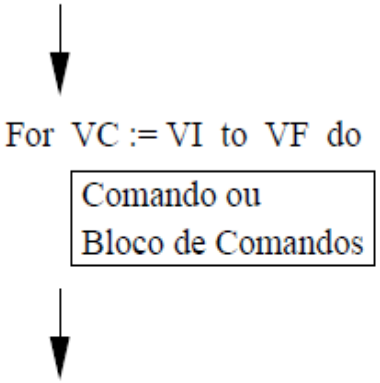
Programa-objeto da tradução

```
L7    NADA
CRVL      S
CRVL      N
CMEG
DSVF      L8
CRVL      S
CRCT      3
CRVL      S
MULT
SOMA
ARMZ      S
DSVS      L7
L8    NADA
```

Exercício: Fazer a tradução para o comando FOR e o exercício

29. <comando repetitivo 2> ::= **for** <identificador> := <expressão> (**to**|**downto**) <expressão> **do** <comando>





{OBS:}
{VC = Variável de Controle}
{VI = Valor Inicial}
{VF = Valor Final}

```
for i:=2 to n do
  fatorial:=fatorial * i;
```

fatorial 100
i 101
n 102

For VC := E1 to E2 do C

```
...} tradução de E1
ARMZ   VC
L1     NADA
CRVL VC
...} tradução de E2
CMEG     { VC > CF: FIM }
DSVF          FIM
...} tradução de C
CRVL VC
CRCT 1          INC
SOMA
ARMZ   VC
DSVS   L1
FIM       NADA
```

For VC := E1 downto E2 do C

```
...} tradução de E1
ARMZ   VC
L1     NADA
CRVL VC
...} tradução de E2
CMAG     { VC < CF: FIM }
DSVF          FIM
...} tradução de C
CRVL VC
CRCT 1          DEC
SUBT
ARMZ   VC
DSVS   L1
FIM       NADA
```

```
for i:=2 to n do
    fatorial:=fatorial * i;
```

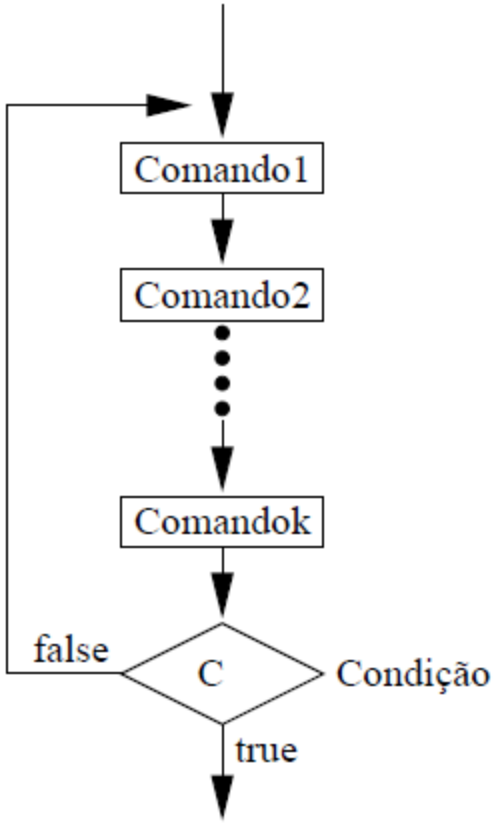
fatorial 100
i 101
n 102

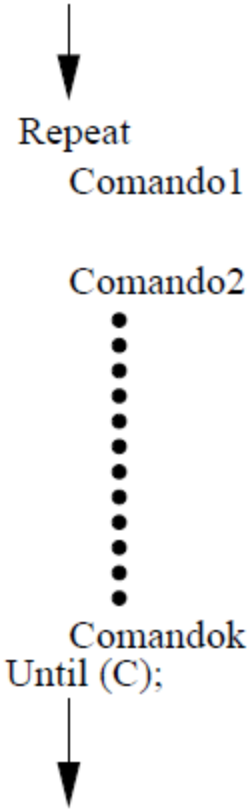
```
CRCT 2
ARMZ  101
L1    NADA
CRVL 101
CRVL 102
CMEG    { VC > CF: FIM }
DSVF          FIM
CRVL 100
CRVL 101
MULT
ARMZ 100
```

```
CRVL 101
CRCT 1        INC
SOMA
ARMZ  101
DSVS  L1
FIM     NADA
```

Exercício: Fazer a tradução para o comando REPEAT e o exercício

30. <comando repetitivo 3> ::= **repeat** <comando> { **;** <comando>} **until** <expressão>






```
X : = 0 ;
REPEAT X := X + 1 ;
UNTIL  X = 10 ;
...
```

x 101

Repeat C {; C} Until E

L1 NADA

... } tradução de C1...Cn

... } tradução de E

DSVF L1 determinado a priori

L2 NADA → não é necessário, mas é bom se parecer com o While

```
X : = 0 ;
REPEAT X := X + 1 ;
UNTIL  X = 10 ;
...
```

x 101

```
L1      NADA

        CRVL   101
        CRCT   1
        SOMA
        ARMZ   101

        CRVL   101
        CRCT   10
        CMIG

        DSVF   L1

L2      NADA
```

Exercício casa: Fazer a tradução para o comando CASE com valores constante únicos e depois a mais geral (Dragão Roxo, inglês, pg. 418)

- 26. <comando condicional 2> ::=

case <expressão> **of** <elemento do case> { ; <elemento do case> } **end**

- 27.<elemento do case> ::= <constante> : <comando>

```
Case idade of
V1: write(X);
V2: write(Y);
V3: write(Z);
V4: write(W)
end
```

Restrições Semânticas:

1. <expressão> deve ser do tipo ordinal
2. As constantes devem ser únicas (TABELA no compilador para guardar valor e rótulo)
3. O tipo das constantes deve ser compatível com o tipo da expressão

1. Traduza E e guarde em t
2. Desvie para o rótulo de TESTE (no final da tradução de Cis) que implementa uma tabela que pareia Vi com Ci e DSVS em cada par para o rótulo do Ci
3. Traduza cada Ci (tem um rótulo para cada um) e Gere um DSVS FIM após cada um
4. O rótulo FIM está no final da tabela

4. Procedimentos pré-definidos de E/S

1. LEIT
2. IMPR

Usam variáveis simples

Read (V1, V2, ..., Vn)

Write(E1, E2,...,En)

Usados sem alteração

Tradução

```
LEIT                    ...} tradução de E1
ARMZ    V1              IMPR
LEIT                    ...} tradução de E2
ARMZ    V2              IMPR
...                     ...
LEIT                    } tradução de Em
ARMZ    Vn              IMPR
```

Ex 9:
Read (a, b)
Write (x, x*y)

```
LEIT
ARMZ    A
LEIT
ARMZ    B
```

```
CRVL    X
IMPR
CRVL    X
CRVL    Y
MULT
IMPR
```

Vamos agora para a tradução do primeiro programa

- Vejam que vamos usar aqui também instruções modificadas da MEPA,
  - assim a tradução deste programa não reflete a versão final que usa registradores de base (o display D).

5. Programas sem procedimentos

1. PARA

(é a última instrução de um programa)

2. INPP

s := -1 alterado

(é a primeira instrução de um programa)

3. AMEN n

(usado para reservar posições de memória para cada linha de declaração de variáveis)

O compilador pode calcular facilmente os endereços das variáveis v1,v2,...vn que deverão ser 0,1,...n-1 (quando esta é a primeira declaração)

Usados sem alteração

Ex 10

```
program ex1;
var n,k: integer;
   f1,f2,f3: integer;
begin
    read(n);
    f1:=0; f2:=1; k:=1;
    while k <= n do
begin
    f3:= f1 + f2;
    f1 :=f2; f2 := f3;
    k := k + 1
end;
write(n,f1)
end.
```

tradução

```
INPP
AMEN  2
AMEN  3
LEIT
ARMZ  0
CRCT  0
ARMZ  2
CRCT  1
ARMZ  3
CRCT  1
ARMZ  1
L1 NADA
CRVL  1
CRVL  0
CMEG
DSVF  L2
CRVL  2
CRVL  3
SOMA
ARMZ  4
CRVL  3
ARMZ  2
CRVL  4
ARMZ  3
CRVL  1
CRCT  1
SOMA
ARMZ  1
DSVS  L1
L2 NADA
CRVL  0
IMPR
CRVL  2
IMPR
PARA
```

Detalhes de Implementação (rótulos das instruções)

- No lugar de rótulos simbólicos, L_1 e L_2, podem aparecer endereços reais.
  - L_1 é facilmente calculado, pois é a próxima posição de P ao encontrar um comando que envolve desvio: while, if, etc.
  - Quando L_2 é mencionado pela 1ª vez, não é possível saber seu valor real. O que se faz é guardar o endereço desta instrução e quando L_2 for determinado (ao final do while), deve-se voltar a esta posição e preencher o valor de L_2.
  - É por isto que é conveniente guardar os código gerados num array, pois precisamos eventualmente "voltar" a uma instrução já gerada.
  - Esta volta para remendar o que já foi gerado é chamada de técnica de backpatching, pois preenche informação não especificada de rótulos na geração de código
- Kowaltowski propõe o uso de rótulos da forma Li, com i inteiro.

Nosso primeiro programa com procedimentos

- Ainda é uma solução parcial
  - Aqui também não temos uma tradução que usa o display D

6. Procedimentos sem parâmetros

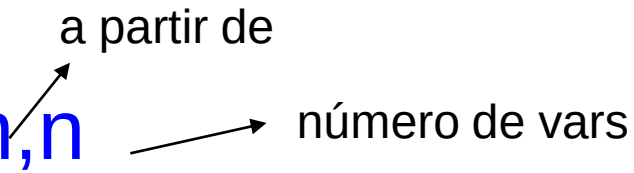
- As Instruções da MEPA usam endereços fixos.

- Como traduzir procedimentos recursivos?

- Num dado instante irão existir várias encarnações das variáveis locais dos procedimentos que não podem ocupar a mesma memória!

- Solução: usar uma disciplina de pilha para guardar o valor anterior das variáveis locais e assim liberar espaço para a próxima encarnação.
- O valor anterior deve ser restaurado no retorno do procedimento.

6. Procedimentos sem parâmetros



- AMEN m,n

```
para k := 0 até n-1 faça
    s := s+1
    M[s] := M[m+k]
```

Cada procedimento salva no topo da pilha o conteúdo das variáveis locais

alterados

- DMEN m,n

```
Para  k := n-1 até 0 faça
    M[m+k] := M[s]
    s := s -1
```

Os valores são restaurados no retorno do procedimento

O programa principal também é considerado um procedimento

6. Procedimentos sem parâmetros
Vejam as informações do Registro de Ativação

- RTPR

  i := M[s]

  s := s – 1

alterados

- CHPR p

  s := s + 1

  M[s] := i + 1

  i := p

• A informação necessária para executar o **retorno de um procedimento** é o endereço da instrução a qual a execução deve retornar.

• O lugar mais natural para guardar esta informação é a própria pilha.

• A instrução RTPR sempre encontra a informação no topo da pilha, pois a CHPR guardou ela lá.

Exemplo de programa com procedimento recursivo

```
program ex2;
var x, y: integer;
procedure p;
    var z: integer;
    begin
            z := x; x := x -1;
            if z > 1 then p
            else y := 1;
            y := y * z
    end;
begin
    read(x);
    p;
    write(x,y)
end.
```

Endereços:

X: 0

Y: 1

Z: 2

Vejam a página 107 do Kowaltowski

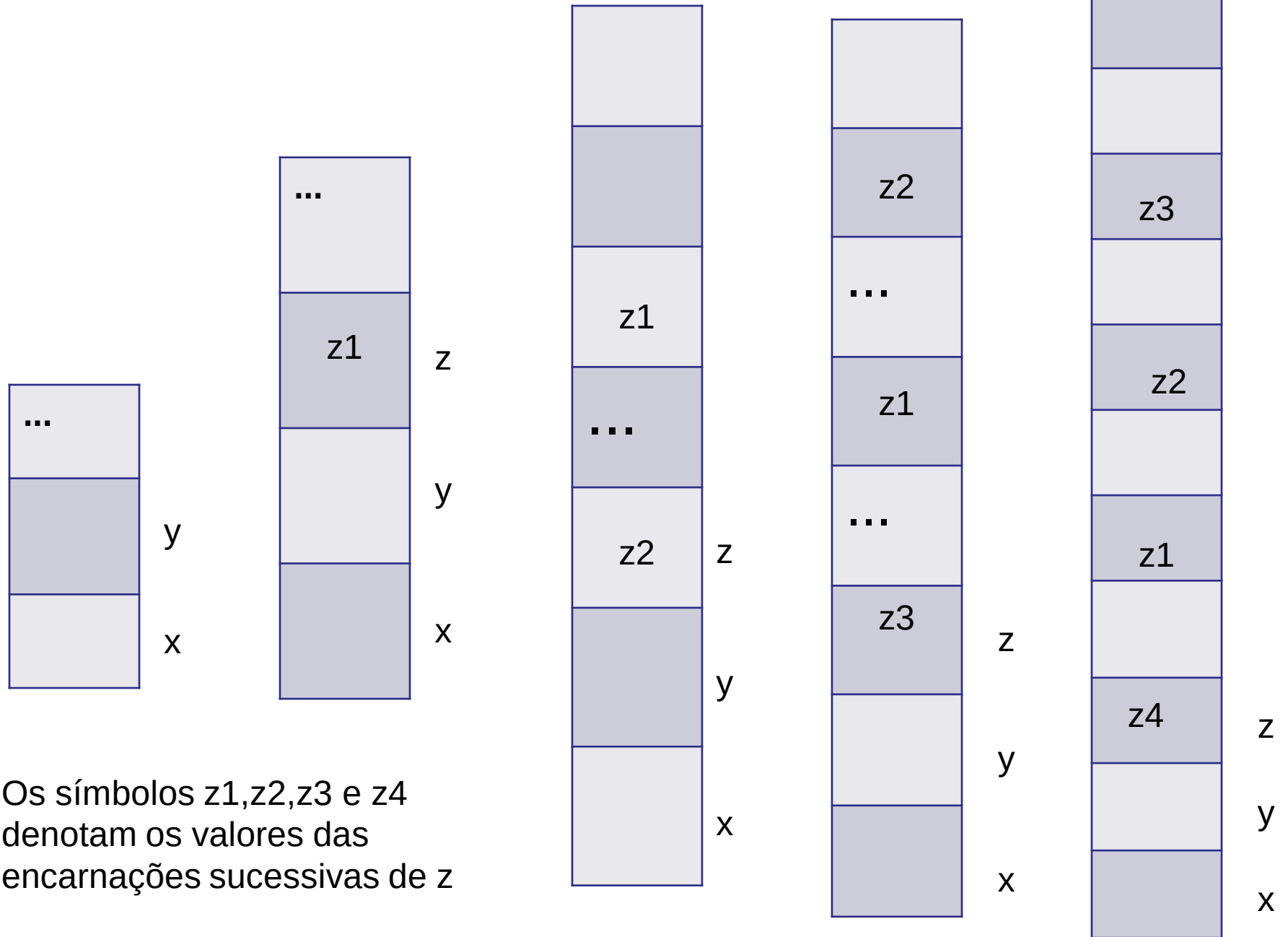
(Vejam pg 168 do Kowaltowski) para detalhes de implementação:

Lembrem que os endereços das variáveis são seqüenciais, pois a varredura do programa é da esquerda para direita.

Assim, com ajuda de uma variável global, o procedimento geração_código no compilador que estão desenvolvendo irá atribuir os endereços 0, 1, 2 na área M da MEPA para X, Y, Z.

Tendo estas fixas, o AMEN funciona corretamente.

Configurações da pilha para cada chamada do procedimento p



Os símbolos z1,z2,z3 e z4 denotam os valores das encarnações sucessivas de z

Tradução do programa

```
        INPP
        AMEN 0,2
        DSVS L1
L2      NADA
        AMEN 2,1
        CRVL 0
        ARMZ 2
        CRVL 0
        CRCT 1
        SUBT
        ARMZ 0
        CRVL 2
        CRCT 1
        CMMA
        DSVF  L3
        CHPR L2
        DSVS L4
L3      NADA
        CRCT 1
        ARMZ 1
L4      NADA
        CRVL 1
        CRVL 2
        MULT
        ARMZ 1
        DMEN 2,1
        RTPR
L1      NADA
        LEIT
        ARMZ 0
        CHPR L2
        CRVL 0
        IMPR
        CRVL 1
        IMPR
        DMEN 0,2
        PARA
```

Programa principal

Note o uso de DSVS L1 para pular o código do procedimento p ao iniciar-se a execução

Casos de declaração de mais de 1 procedimento, com suas variáveis locais

1. **Quando não há encaixamento**: não pode haver acesso simultâneo às variáveis locais dos 2. Assim, as mesmas posições fixas de memória podem ser atribuídas às posições de memórias dos 2.

2. **Quando há encaixamento**: como neste caso pode haver acesso à variável local de um procedimento por outro interno, as variáveis locais não podem ocupar a mesma posição de memória.

Exemplos 7 e 8 (Kowaltowiski, pgs.110 e 113)

- Regra Geral para atribuir endereços a variáveis em procedimentos sem parâmetros:
  - Se um procedimento q, que tem k variáveis locais, está diretamente encaixado dentro de um procedimento p cuja última variável local recebeu endereço m, então as variáveis de q recebem os endereços m+1, m+2, ..., m+k.
    - Supor que o programa principal é um procedimento encaixado num outro, tal que m = -1, para que as variáveis do pp tenham os endereços 0,1,...k-1.
    - Também: A execução do programa mantém a pilha inalterada.

Geração de Código para a **MEPA**

Veremos agora a geração de código para características mais complexas do Pascal Simplificado:

7. Procedimentos com parâmetros passados por valor
8. Passagem de parâmetros por referência e os Problemas gerados para a implementação anterior (7)

E uma característica bem simples:

9. Implementação de funções

Procedimentos com parâmetros passados por valor (Exemplo)

```
program exemplo9;
var x,y: integer;
procedure p (t:integer);
var z: integer;
begin
    if t > 1 then p(t-1)
    else y := 1
    z := y;
    y := z * t
end;
Begin
    read(x);
    p(x); write(x,y)
End.
```

Se comportam como variáveis locais, cujos valores são inicializados com os valores dos parâmetros reais.

Então também terão endereços fixos de pilha.

Mas, os valores dos parâmetros reais são avaliados na chamada e ficam no topo da pilha, pois são expressões.

Como os valores prévios dos parâmetros passados por valor devem ser restaurados após o fim do procedimento, VAMOS intercambiar os prévios com os efetivos no início do proc e fazer a restauração no fim.

Ótima sacada !

7. Procedimentos com parâmetros passados por valor

- Se comportam como variáveis locais, cujos valores são inicializados com os valores dos parâmetros reais que estão no topo da pilha

a partir de

- IPVL m, n → número de parâmetros Inicializa parâmetros

```
para k := 0 até n-1 faça
        t:= M[m+k]                          NOVO
        M[m+k] := M[s-n+k]
        M[s-n+k] := t
```

- RTPR m, n Restaura valor dos parâmetros

```
i:= M[s]; s := s – 1;
para k := n-1 até 0 faça
        M[m+k]:= M[s]
        s := s - 1
```

alterado

8. Exemplo de procedimento recursivo com parâmetro passado por valor

```
program exemplo9;
var x,y: integer;
procedure p (t:integer);
var z: integer;
begin
    if t > 1 then p(t-1)
    else y := 1
    z := y;
    y := z * t
end;
Begin
    read(x); p(x); write(x,y)
End.
```

Quando a expressão é avaliada ele é deixada no topo da pilha.

Dentro do proc, estes valores iniciam as posições fixas de memória destinadas aos parâmetros

Como os valores prévios destas posições fixas terão que ser restaurados após o término do proc, podemos SIMPLESMENTE intercambiar os valores prévios com os efetivos no início da execução e fazer a restauração no fim.

Tradução do Programa

```
        INPP
        AMEN 0,2
        DSVS L1
L2      NADA
        IPVL 2,1
        AMEN 3,1
        CRVL    2
        CRCT    1
        CMMA
        DSVF    L3
        CRVL 2
        CRCT 1
        SUBT
        CHPR L2
        DSVS L4
L3      NADA
        CRCT 1
        ARMZ 1
L4      NADA
        CRVL 1
        ARMZ 3
        CRVL 3
        CRVL 2
        MULT
        ARMZ 1
        DMEN 3,1
        RTPR   2,1
L1      NADA
        LEIT
        ARMZ 0
        CRVL 0
        CHPR L2
        CRVL 0
        IMPR
        CRVL 1
        IMPR
        DMEN 0,2
        PARA
```

Passagem de parâmetros por referência

- Suponha que o PS tenha somente passagem de parâmetros passados por referência

- Para gerenciar var locais de proc sem parâmetros guardávamos as var locais no topo da pilha para liberar espaço (que era fixo) para a nova execução recursiva de um proc, pois o programa só tinha acesso a instâncias das variáveis locais criadas por último.

- Mas vejam no próximo programa o que acontece quando temos proc com variáveis passadas por referência

```
program exemplo;
var x, y: integer;
procedure p (var s: integer);
var z: integer;
Begin
    if s = 1 then y := 1
   else begin
                    z := s – 1;
                    p(z);
                    y := y * s
          end
End;
Begin
    x := 4;
    p(x);
    write(x,y)
End.
```

Era a z anterior, pois z é Passado como parâmetro

- Como p é recursivo, podemos ter várias encarnações da var local z.
- O problema é que durante a execução de p os comandos podem fazer acesso a duas encarnações: a atual e a anterior através do par s
- Mas nós havíamos salvo o conteúdo das variáveis locais no topo e só no fim do proc é que poderão ser recuperadas
- Não podemos mais usar a implementação anterior (6)

Solução

- Vamos atacar a causa do problema: atribuição de ENDEREÇOS FIXOS à variáveis do programa.
- Serão substituídos pelo endereço relativo dentro de cada procedimento (inclui também o programa principal)
- O compilador associará com cada proc um REGISTRADOR de BASE (Display D) e às variáveis locais de cada proc será atribuído um deslocamento fixo, relativo ao conteúdo deste registrador.
- O end de cada var será um par: número do reg de base e o deslocamento, ambos fixos. Este tipo de endereço é chamado endereço léxico/textual
- Os conteúdos dos registradores de base variarão durante a execução do programa, garantindo o acesso correto às variáveis

- A região D da MEPA, será utilizada para formar o vetor de registradores de base.
  - Durante a execução de um proc, o reg de base correspondente apontará para a região da pilha M onde foram alocadas as var locais do proc, formando seu registro de ativação.
- Para uniformizar o esquema de endereçamento, o programa principal possui o registrador de base d_0.
  - Não será mais necessário guardar e restaurar o valor das variáveis
  - O programa é um procedimento de nível 0
  - Se um procedimento p tem nível m, todos os procs encaixados em m tem nível m+1
  - O nro de registradores corresponde ao nível de encaixamento máximo num programa, o que é reduzido.

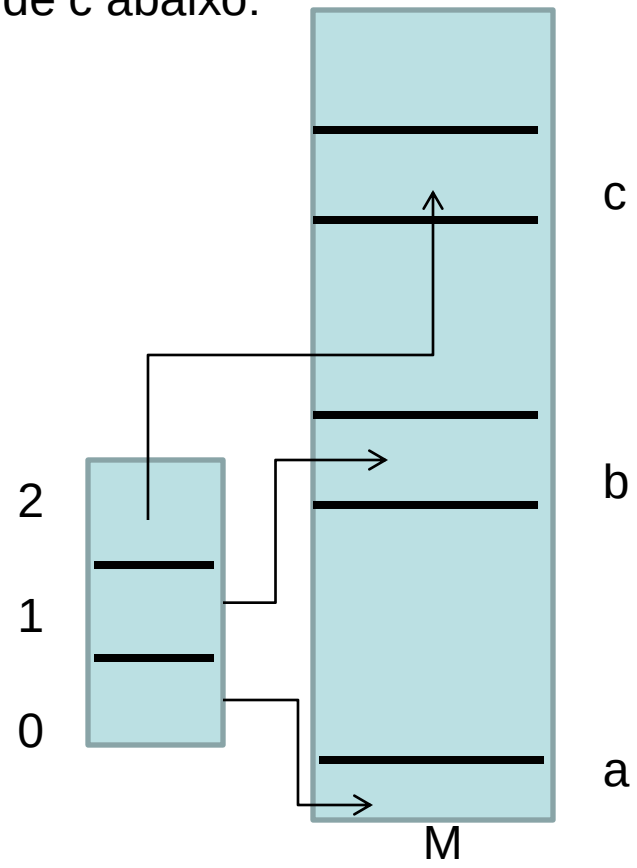
Exemplo (Kowaltowski, pp. 119 – 121)

```
Program exemplo;
Var a integer;
Procedure p;
    Var b: integer;
    Procedure q;
            var c: integer;
            begin    p1  ; ...q2 ; ...   end; /*q*/
    begin   q3      ; ... end; /*p*/
Procedure r;
    Var d: integer;
    begin p4    ;....end; /*r*/
Begin
...
p5      ;  r6           ;
End.
```

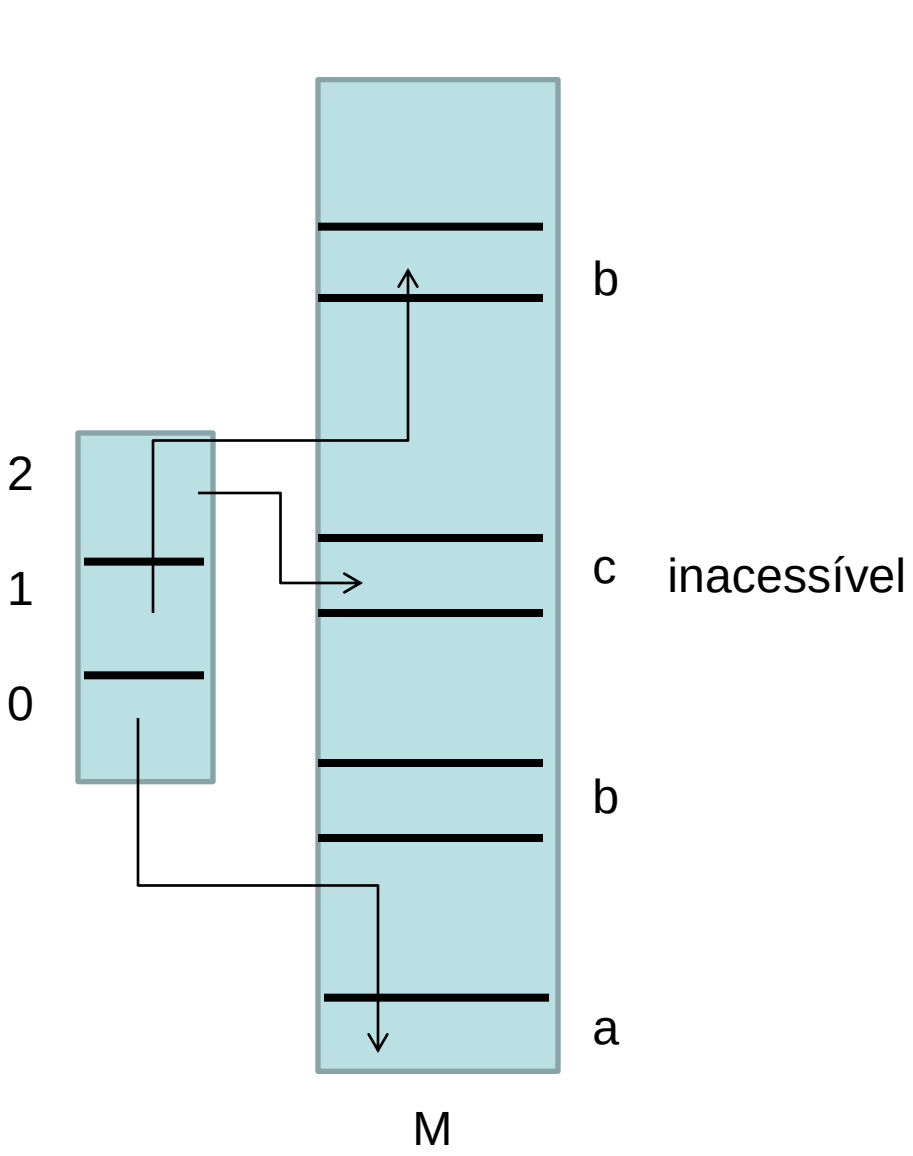
Cada procedimento p, q, r, possui os registradores de base dp, dq, dr, que apontam para as variáves locais dos procedimentos.

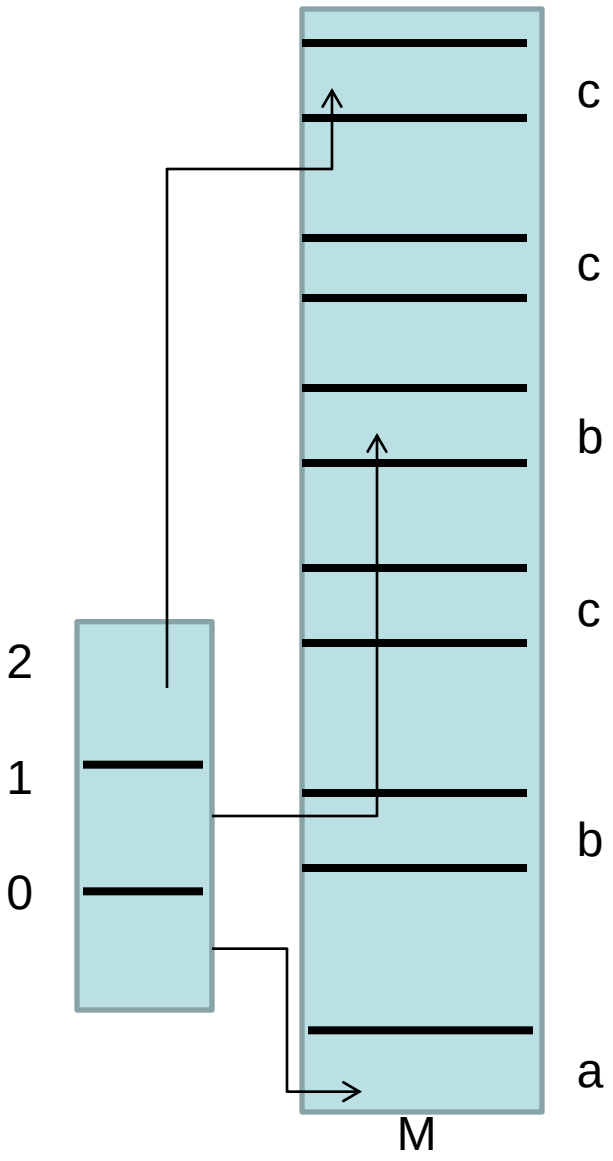
dp e dq são distintos, mas dp e dr ocupam o mesmo.

Após a/p^5/q^3 temos a declaração de c abaixo:



Após $a/p^5/q^3/p^1$ (esq)
Após $a/p^5/q^3/p^1/q^3/q^2$ (dir)

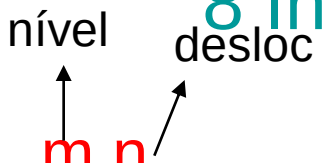




8. Atacando o problema dos endereços fixos

- Como os proc de base compartilham o mesmo espaço com os proc de mesmo nível, resolveremos isto da mesma forma que fizemos para implementar var locais:
  - Cada proc se encarrega de salvar e restaurar o conteúdo de seu reg de base, que será guardado na pilha M e isto é realizado pelas instruções: CHPR p e ENTR K

8 Instruções, com rótulo 8



- CRVL m,n
- ARMZ m,n
- AMEN n
- DMEN n
- INPP

Usados como mostra a folha da MEPA, A

- CHPR p (igual versão 6)
- ENPR k

Usado como mostra a folha da MEPA B; primeira instrução de um proc, k é o nível; salva o reg de base

- RTPR k

  D[k] := M[s]

  i := M[s-1]

  s := s - 2

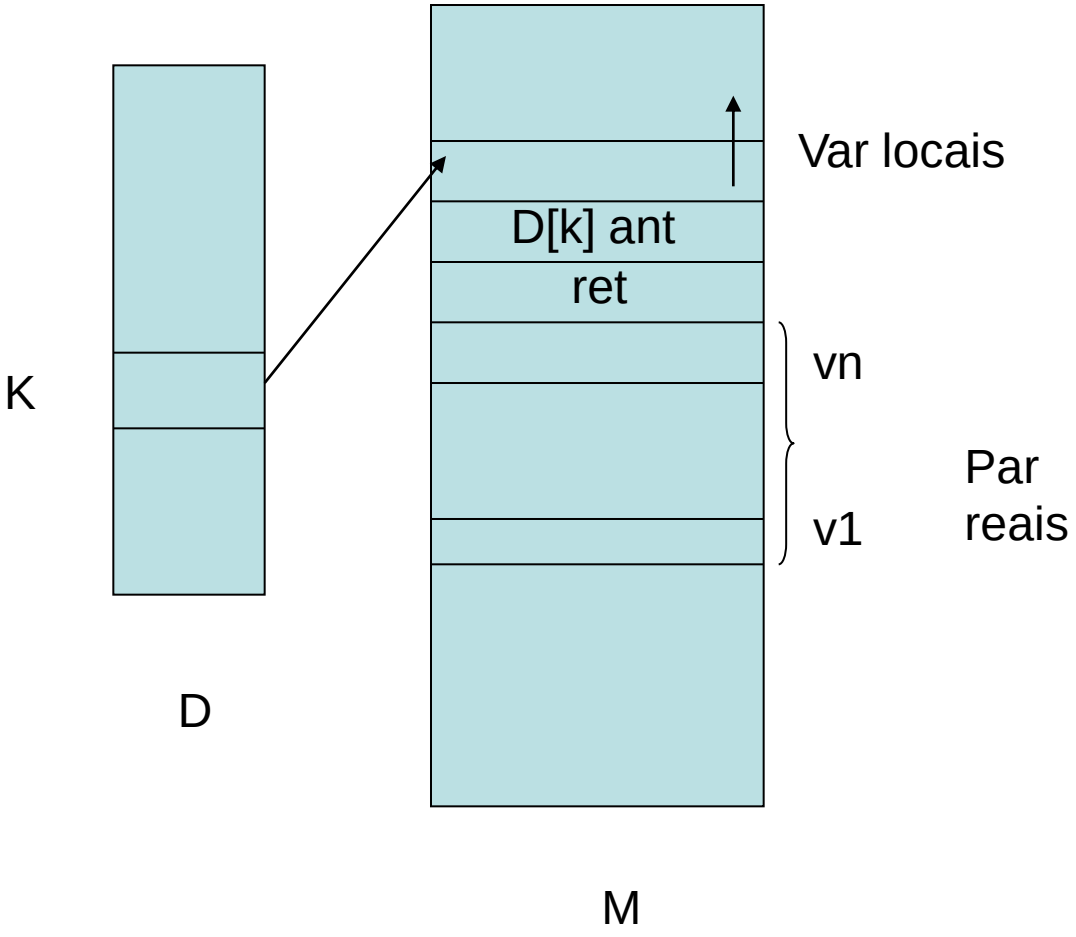
Restaura o reg de base

8. Agora com parâmetros passados por valor e ref

- O lugar natural para guardar parâmetros reais é no topo da pilha.
- No caso de par passados por valor
  - basta avaliar as expressões
- Para par por passados por referência
  - usaremos endereçamento indireto, sendo suficiente empilhar o endereço da variável passada como parâmetro real.

Chamada de proc p (E1,...,En), com v1,...,vn sendo os valores dos parâmetros, passados por valor ou ref

Execução das instruções após CHPR e ENPR



O acesso a par formais dentro de p será feito usando-se D[k] e deslocamentos negativos

Se p tem n parâmetros então o i-ésimo terá deslocamento – (n+3-i)

- RTPR k,n (MODIFICADA)

D[k] := M[s]

i := M[s-1]

s := s – (n+2) remove os n par

8. Manipulação de parâmetros passados por ref

- CREN m,n (m: nível; n: endereço)
- CRVI m,n
- ARMI m,n

Usados como mostra a folha da MEPA, A

CREN é usada para empilhar o valor do par real passado por ref.

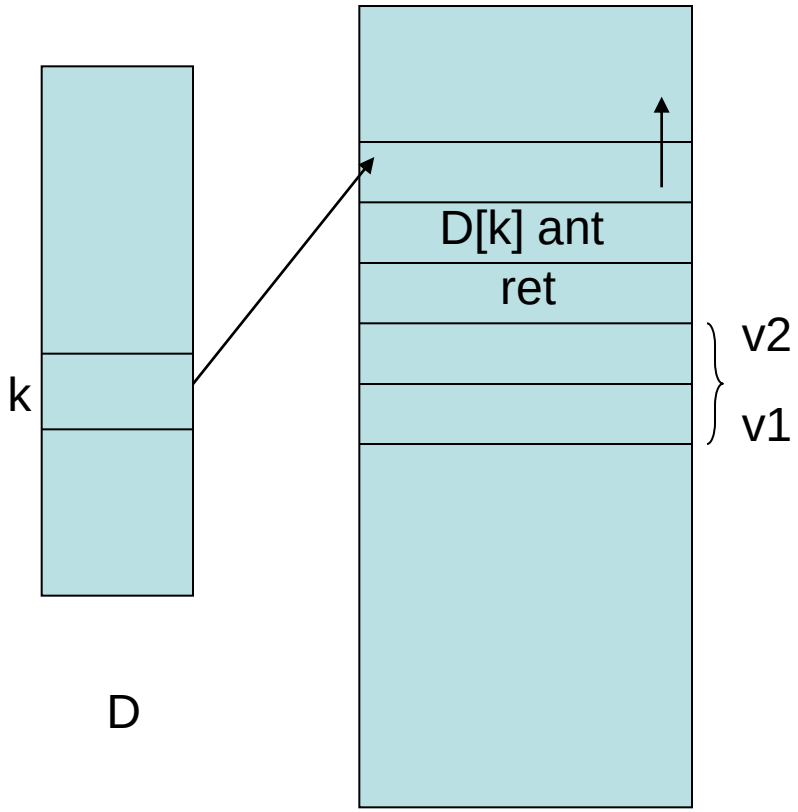
CRVI e ARMI serão usadas no corpo do proc para fazer acesso aos parâmetros formais passados por ref

Par passados por valor são tratados como var locais.

Exemplo (Kowaltowski pg 125)

```
Program ex10;
Var k: integer;
Procedure p(n: integer; var g: integer);
Var h: integer;
Begin
If n < 2 then g := g + n
else begin
        h:=g;
        p(n-1, h);
        g :=h;
        p(n-2,g);   OBSERVEM a tradução
     end;
Write(n,g)
End;
Begin
    k:= 0;
    p(3,k)
end.
```

K: 0,0
N:1,-4
G:1,-3
H:1,0



Se p tem n parâmetros então o i-ésimo terá deslocamento – (n+3-i)

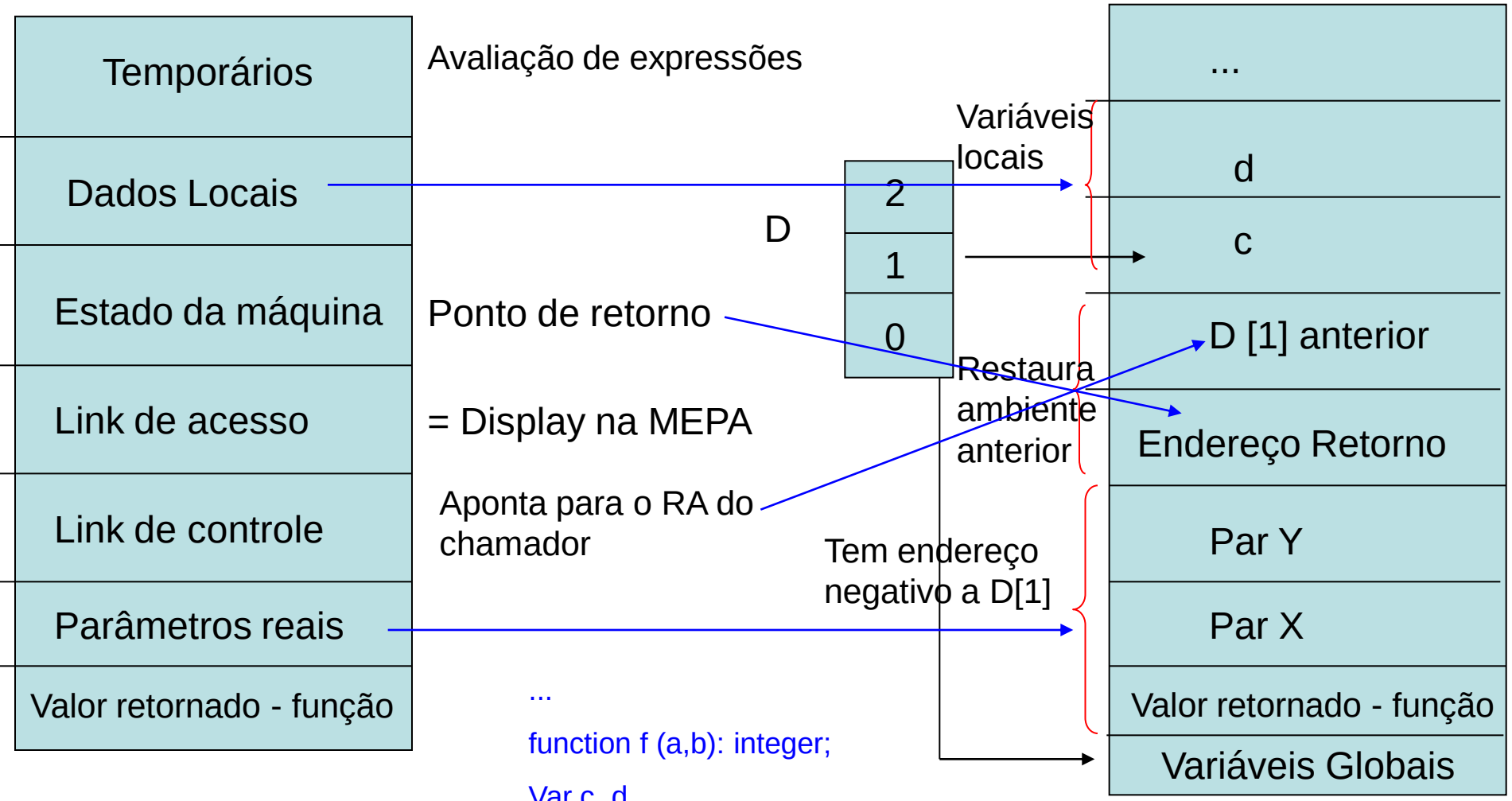
Tradução

```
K: 0,0
N:1,-4
G:1,-3
H:1,0

INPP
AMEN   1
DSVS   L1
L2  ENPR        1
AMEN   1
CRVL   1,-4
CRCT   2
CMME
DSVF   L3
CRVI   1,-3
CRVL   1,-4
SOMA
ARMI   1,-3

DSVS   L4
L3 NADA
CRVI   1,-3
ARMZ   1,0
CRVL   1,-4
CRCT   1
SUBT
CREN   1,0
CHPR   L2
CRVL   1,0
ARMI   1,-3
CRVL   1,-4
CRCT   2

SUBT
CRVL   1,-3
CHPR   L2
L4 NADA
CRVL   1,-4
IMPR
CRVI   1,-3
IMPR
DMEN   1
RTPR   1,2  {remove os 2}
L1 NADA   { p.p.}
CRCT   0
ARMZ   0,0
CRCT   3
CREN   0,0
CHPR   L2
DMEN   1
PARA
```

9. Tratamento de Funções

- A implementação de funções é semelhante a de procedimentos
  - A diferença é que o nome da função corresponde a uma variável local adicional
  - O valor desta variável deverá estar no topo da pilha após o retorno da função.
- Para fazer isto sem modificar a MEPA:
  - Reservar uma posição no topo ANTES de avaliar os parâmetros reais da função, usando AMEM 1
  - Esta posição será usada como uma variável local, no corpo da função; seu endereço é NEGATIVO e vale

  –(n+3), sendo n o número de parâmetros da função
  - O valor devolvido pela função fica no topo da pilha após o RTPR, e pode ser usado numa impressão ou atribuição


Temporários
Dados Locais
Estado da máquina
Link de acesso
Link de controle
Parâmetros reais
Valor retornado - função
Avaliação de expressões
Ponto de retorno
= Display na MEPA
Aponta para o RA do chamador
D
2
1
0
Variáveis locais
Restaura ambiente anterior
Tem endereço negativo a D[1]
...
d
c
D [1] anterior
Endereço Retorno
Par Y
Par X
Valor retornado - função
Variáveis Globais
M
...
function f (a,b): integer;
Var c, d
Begin .... f:= end;
Begin
...write(f(X,Y));...
End.
Registro de ativação (RA) geral
Na Mepa...

Exemplo (Kowaltowski pg 126 e 127) do prog. pag 88

```
Programa ex5;
Var m:integer;
Function f(n:integer; var k: integer):integer;
Var p,q: integer;
Begin
    if n <2 then
        begin
                f := n; k := 0
        end
    else begin
                f := f(n-1,p) + f(n-2,q);
                k := p + q + 1
        end;
    write(n,k)
End;
begin write(f(3,m),m) end.
```

m: 0,0
f: 1,-5
n:1,-4
k:1,-3
p: 1,0
q: 1,1

Tradução

```
    m: 0,0
    f: 1,-5
    n:1,-4
    k:1,-3
    p: 1,0
    q: 1,1
INPP
AMEM 1
DSVS L1
L2   ENPR   1
AMEM        2
CRVL 1,-4
CRCT 2
CMME
DSVF L3
CRVL 1,-4
ARMZ 1,-5
CRCT 0
```

```
ARMI  1,-3
DSVS  L4
L3    NADA
AMEM        1
CRVL  1,-4
CRCT  1
SUBT
CREN  1,0
CHPR        L2
AMEM        1
CRVL  1,-4
CRCT  2
SUBT
CREN  1,1
CHPR        L2
```

```
SOMA
ARMZ    1,-5
CRVL    1,0
CRVL    1,1
SOMA
CRCT    1
SOMA
ARMI    1,-3
L4      NADA
CRVL    1,-4
IMPR
CRVI    1,-3
IMPR
DMEM    2
RTPR    1,2
L1      NADA
AMEM    1
CRCT    3
CREN    0,0
CHPR    L2
IMPR
DMEM    1
PARA
```

Exercício casa: implementação de vetores (capítulo 9.5)

- Linearização dos elementos; reservar o bloco, pois o tamanho é conhecido em tempo de compilação
- Instrução AMEM pode ser usada
- Analisem a necessidade de novas instruções para os casos:
  - Elementos usados nas expressões
  - Elementos como variáveis
  - Vetor na passagem de parâmetro por valor e por referência

Não trataremos (capítulo 9)

- Rótulos e Comandos de DESVIO
- Passagem de procedimento e função como parâmetro
- Passagem por nome (corresponde a uma função sem parâmetro)
- Blocos com declarações locais