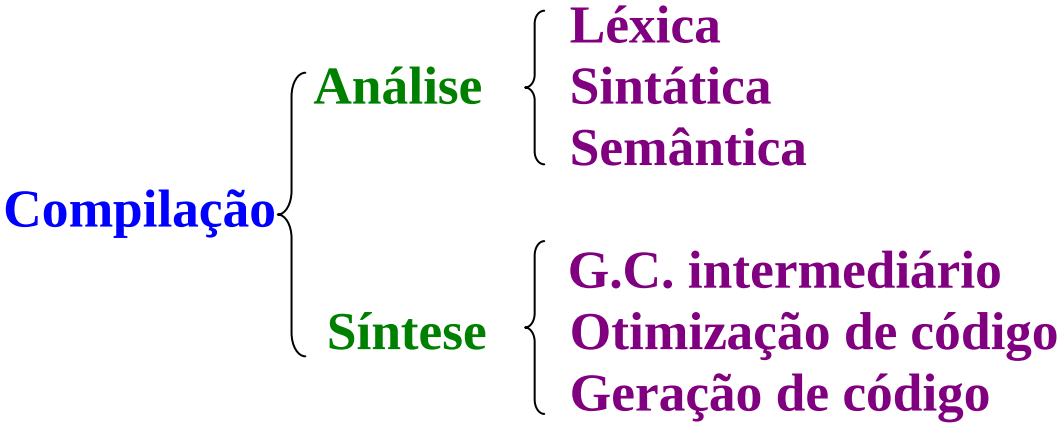
# CAP. VII – GERAÇÃO DE CÓDIGO

## VII . 1 - INTRODUÇÃO




- **Síntese**

  - **Tradução do programa fonte (léxica, sintática e semanticamente correto) para um programa objeto equivalente.**

  - **Estabelecimento de um significado (uma semântica) para o programa fonte, em termos de um código executável (diretamente ou via interpretação).**

- **Esquema de tradução dirigida pela sintaxe**
  - **Geração de cód. Interm. ou executável.**
  - **Uso de ações de geração de código**
    - **Similares às ações semânticas**
    - **Inseridas na G.L.C.**
    - **Ativadas pelo Parser ou A. Semântico**
    - **pode ser integrado ao semântico**
  - **Generalizando:**
    - **Ações semânticas**
      - **Ações de verificação**
      - **Ações de geração de código**
  - **Na prática ...**
    - **Unificação de ações de Verificação semântica e de Geração de Código**

## CÓD. INTERMEDIÁRIO X CÓD. BAIXO NÍVEL

## MÁQUINA HIPOTÉTICA X MÁQUINA REAL

## VII.2 - CÓDIGO INTERMEDIÁRIO

**Representação intermediária entre o programa fonte (L. alto nível) e o programa objeto (L. baixo nível).**

- **Vantagens**
  - **Geração menos complexa**
    - **Abstração de detalhes da máquina real**
    - **Repertório de instruções definido em função das construções da linguagem fonte**
  - **Facilidades para geração de código executável em um passo subseqüente**
    - **Representação uniforme**
  - **Facilita otimização**
    - **Redução do tempo de execução e/ou do tamanho do código gerado**

- Possibilita interpretação
- Aumento da portabilidade
  - Diferentes interpretadores ou geradores de código para diferentes máquinas
  - Base necessária para construção de Just-in-time Compilers
  - Exemplos: máquina P (Pascal)
    JVM (Java)
- Facilita extensibilidade
  - Via introdução de novas construções
  - Via sofisticação do ambiente operacional

- Desvantagens
  - Acréscimo do tempo de compilação
    - Passo extra para geração de código objeto a partir do código intermediário.
  - Aumento do projeto total
    - Necessidade de definição de uma Linguagem intermediária.
    - Necessidade de definição de uma máquina hipotética
    - Necessidade de um interpretador para validação do código intermediário
  - Quando o C.I. é o código alvo ...
    - Tempo de execução (via interpretação) maior se comparado com cód. compilado.

# • Formas de código intermediário

## 1. Triplas e Quádruplas

- **Instruções**
  - Operador
  - Operando 1, operando 2, [resultado]
- **Operadores**
  - Aritméticos, lógicos, armaz., desvio, carga, ...
  - **Exemplos:**

**Triplas :** w * x + (y +z)

(1) * , w , x
(2) + , y , z
(3) + , (1), (2)

**Quádruplas:** (A + B) * (C + D) – E

+ , A , B, $T_1$
+ , C , D, $T_2$
* , $T_1$ , $T_2$, $T_3$
- , $T_3$ , E, $T_4$

**OBS.:**

1. Quádruplas facilitam a otimização de código
2. Algoritmos de otimização clássicos (AHO e ULLMAN) são todos baseados em quádruplas.
3. Gerenciamento de temporárias é problemático

## 2. - Máquinas de PILHA

### (de Acumulador, ou de um Operando)

- O código é similar a um assembler simplificado
- Usa registradores apenas para funções especiais
- Usa uma PILHA para armazenar valores de Variáveis (globais e locais) e Resultado das operações realizadas.
- Formato das Instruções
  - Operador (Código da operação)
  - Operando – o qual pode ser:
    - referência a uma variável
    - valor constante
    - endereço de uma instrução
- Exemplo: D := A + B * C

```
1 - LOAD   A      4 -  MULT    -
2 - LOAD   B      5 -  SOMA    -
3 - LOAD   C      6 - ARMZ   D
```

### Usando Endereço Relativo

| Variável | Nível | Deslocamento |
|---|---|---|
| A | 1 | 0 |
| B | 1 | 1 |
| C | 1 | 2 |
| D | 1 | 3 |

```
LOAD  1,0
LOAD  1,1
LOAD  1,2
MULT  -,-
SOMA  -,-
ARMZ  1,3
```

## 3. Outras formas de CI

- Notação Polonesa, Árvores Sintáticas Abstratas

# VII.3 - Máquinas Hipotéticas (virtuais, abstratas)

- **Destinam-se a produção de compiladores e interpretadores + Portáveis e + Adaptáveis**

- **Composição**
  - **Arquitetura**
    - **Área de código**
    - **Área de dados (pilha)**
    - **Registradores**
      - **Uso geral**
      - **Uso específico**
  - **Repertório de instruções**
    - **Cjto de instruções que compõem a Ling. de máquina da "MÁQUINA VIRTUAL"**
    - **Formato das instruções**
      - **Dependente da arquitetura**
      - **Pode ou não ser uniforme**

        **Ex: OP, operando**

        **OP, operando1, operando2[, operando3]**
  - **Interpretador**
    - **Simula o "Hardware" na execução do código da "máquina"**
    - **Exemplos**
      - **Máquina P (Pascal)**
      - **JVM (Java)**

# VII.4 - UMA MÁQUINA HIPOTÉTICA DIDÁTICA

## OBJETIVOS:

- Dar uma visão completa do processo de compilação.
- Dar uma noção do processo de geração de código.
- Permitir a interpretação de programas exemplos
    - Validar ações semânticas
        - De verificação
        - De geração de código

## Definição da Arquitetura

(* Baseada na máquina P, simplificada *)

- Área de instruções
  - Contém as instruções a serem executadas
- Área de dados
  - Alocação de dados manipulados pelas inst.
  - Estrutura de pilha
    - Cada célula (≡) 1 palavra (inteira)
    - Contem: valores de constantes; valores assumidos por var.; ponteiro para estruturas; resultados intermediários
  - Registradores de uso específico
    - PC → Program Counter - aponta para a próxima instrução a ser executada (área de instruções)
    - Topo → Aponta para o topo da pilha usada como área de dados
    - Base → Aponta para o endereço (pos. na pilha) inicial de um segmento de dados
      → Usado no cálculo de endereços

      (endereço = base (nível) + deslocamento)

- **Definição do repertório de instruções**
  - **Definição do código intermediário**
  - **Forma geral das instruções**

| OPERADOR | OPERANDO |
|---|---|

**OPERADOR - código da instrução (mnemônico)**
**OPERANDO - subdividido em PARTE1 e PARTE2**

- **O significado depende da instrução - Exemplos:**
  - **1 – Instruções que referenciam endereços:**
    - **PARTE1 – Nível**
    - **PARTE2 – Deslocamento**
  - **2 – Instruções aritméticas**
    - **PARTE1 e PARTE2 – sem valor**
    - **(Operam sobre topo/sub-topo da pilha)**
  - **3 – Instruções de desvio**
    - **PARTE1 – sem valor**
    - **PARTE2 – Endereço de uma Instrução**

- **Grupos de instruções**
  - **Aritméticas, lógicas e relacionais**
  - **Carga/armazenamento**
  - **Alocação de espaço para variáveis**
  - **Fluxo**
    - **Desvios**
    - **Chamada / retorno de proc (método)**
  - **Específicas** { **Leitura, impressão** / **Inicio e Fim de execução** / **Nada (nop)**

## → Instruções de carga e armazenamento

- **CRVL l , a** (* carrega valor de variável *)
  onde: l – nível; a – deslocamento

  Topo: = * + 1
  Pilha [topo] : = Pilha [base (l) + a]

- **CRCT __ , K** (* carrega constante *)
  onde K é o valor da constante

  Topo : = topo + 1
  Pilha [topo] : = K

- **ARMZ l , a** (* armazena conteúdo do topo da pilha no endereço (l + a) da pilha *)
  pilha [base (l) + a] : = pilha [topo]
  topo : = topo – 1

## → Instruções aritméticas

- **SOMA __ , __** (* operação de adição *)

  pilha [topo – 1] : = pilha [topo - 1] + pilha [topo]
  topo : = topo – 1

- **SUB __ , __** (* operação de subtração *)
- **MULT __ , __** (* operação de multiplicação *)
- **DIV __ , __** (* operação de divisão *)
- **MUN __ , __** (* Menos UNário – muda sinal *)

## → Instruções lógicas

- **CONJ __ , __ (* operação "and" ≡ "E" *)**
  **se pilha [topo – 1] = 1 e pilha [topo] = 1**
  **então pilha [topo – 1] : = 1 (true) "verdadeiro"**
  **senão pilha [topo – 1] : = ø (false) "falso";**
  **topo : = topo – 1**

- **DISJ __ , __ (* Operação "OR" ≡ "ou" *)**
  **Se pilha [topo – 1] = 1 ou [pilha topo] = 1**
  **... idem CONJ ...**

- **NEGA __ , __ (* Operação "NOT" ≡ "Não" *)**
  **Pilha [topo] : = 1 – pilha [topo]**

## → Instruções relacionais

- **CMIG __ , __ (* Compara igual "=" *)**
  **Se pilha [topo – 1] = pilha [topo]**
  **Então pilha [topo – 1] : = 1 (true)**
  **Senão pilha [topo – 1] : = ø (false)**
  **Topo: = topo – 1**
- **CMDF __ , __ (* Compara diferente "<>" *)**
- **CMMA__ , __ (* Compara maior ">" *)**
- **CMME__ , __ (* Compara menor "<" *)**
- **CMEI __ , __ (* Compara menor igual "<=" *)**
- **CMAI __ , __ (* Compara maior igual ">=" *)**

## → Instruções de desvio

- **DSVS __ , a  (* desvia sempre para a instrução "a" *)**
  **PC := a**

- **DSVF __ , a  (*se falso, desvia para "a"  *)**
  **se pilha [topo ] = 0  (* falso *)**
  **entao PC := a;**
  **topo := topo – 1**

- **CALL  l , a  (* chamada de método  *)**
- **RETU __ , __  (* retorno de método *)**

## → Alocação de espaço

- **AMEM __ , a  (* aloca "a" posições de memória  *)**
  **topo := topo  +  a**

## → Entada / Saída

**(* operam com valores e endereços do topo da pilha *)**

- **LEIA  __ , __  (* lê valor numérico *)**
- **IMPR  __ , __  (* imprime valor numérico *)**
- **IMPRLIT __ , __  (* imprime literal *)**

## → Instruções auxiliares

- **INICIO __ , __  (* define inicio da execução *)**

- **NADA  __ , __  (* nada faz ! *)**

- **FIM  __ , __  (* define término da  execução *)**

# REPERTÓRIO DE INSTRUÇÕES DA MV

| | | |
|---|---|---|
| **INICIO** | **__, __** | **(* Inicio da interpretação *)** |
| **AMEM** | **__, a** | **(* Aloca "a" posições de memória *)** |
| **DMEM** | **__, a** | **(* Desaloca "a" posições de memória *)** |
| **CRVL** | **l , a** | **(* Carrega Variável *)** |
| **CVET** | **l , a** | **(* Carrega Variável indexada uni-dim. *)** |
| **CRVLIND** | **l , a** | **(* Carrega Valor indiretamente*)** |
| **CREN** | **l , a** | **(* Carrega Endereço *)** |
| **CRCT** | **__, k** | **(* Carrega constante *)** |
| **ARMZ** | **l , a** | **(* Armazena em uma var. *)** |
| **AVET** | **l , a** | **(* Armazena em uma var. indexada uni-dim.*)** |
| **ARMZIND** | **l , a** | **(* Armazena de forma indireta *)** |
| **SOMA** | **__, __** | **(* Adição *)** |
| **SUB** | **__, __** | **(* Subtração *)** |
| **MULT** | **__, __** | **(* Multiplicação *)** |
| **DIV** | **__, __** | **(* "/"Divisão *)** |
| **MUN** | **__, __** | **(* Menos Unário *)** |
| **CONJ** | **__, __** | **(* And *) ∴ "E"** |
| **DISJ** | **__, __** | **(* Or *) ∴ "Ou"** |
| **NEGA** | **__, __** | **(* Not *) ∴ "Não"** |
| **CMIG** | **__, __** | **(* = *)** |
| **CMMA** | **__,__** | **(* > *)** |
| **CMEI** | **__,__** | **(* <= *)** |
| **DSVS** | **__, a** | **(* Desvia sempre *)** |
| **DSVF** | **__, a** | **(* Desvia se falso *)** |
| **CALL** | **l , a** | **(* Chama método *)** |
| **RETU** | **__, __** | **(* retorna de método *)** |
| **LEIA** | **__, __** | **(* Lê valor *)** |
| **IMPR** | **__, __** | **(* Imprime valor numérico*)** |
| **IMPRLIT** | **__, __** | **(* Imprime literal *)** |
| **NADA** | **__, __** | **(* Nada faz *)** |
| **FIM** | **__, __** | **(* Finaliza execução *)** |

| | | | |
|---|---|---|---|
| **CMDF** | **__, __** | **(* <> *)** |
| **CMME** | **__, __** | **(* < *)** |
| **CMAI** | **__, __** | **(* >= *)** |

# VII.5 - Geração de Código Intermediário

## 1. Alocação de espaço para as variáveis

| | |
|---|---|
| decl A, B, C : inteiro; | AMEM - , 3 |
| decl X,Y : vetor [10] de real; | AMEM - , 20 |
| decl nome: cadeia [30]; | AMEM - , 1 |
| decl I : intervalo 1 .. 10; | AMEM - , 1 |

## 2. Comando de Leitura

Leia ( A ) : LEIA - , -
ARMZ A (* end. Relativo de A *)

## 3. Comando escreva

Escreva ( ‘ total = ‘, tot )

```
CRCT     -, ind-tab-lit
IMPRLIT  - , -
CRVL     tot   (* end. Relativo de tot *)
IMPR     - , -
```

## 4. Comando de atribuição

- **Forma geral:** VAR := EXPR

```
____
____   } CÓDIGO p/ EXPR
____
ARMZ   VAR
```

- **Exemplo de um programa:**

```
decl A, B, C : inteiro;
inicio
    leia (A, B);
     C := (A + B) * ( A – B )
     escreva (“resultado = “, C);
fim.
```

## 5. Comando enquanto-faca

- **Forma geral:** **enquanto < E > faca < C >**

```
L1:   NADA  - , -
      _____
      _____   } <E>
      _____
      DSVF    - , L2
      _____
      _____   } <C>
      _____
      DSVS    - , L1
L2:   NADA    - , -
```

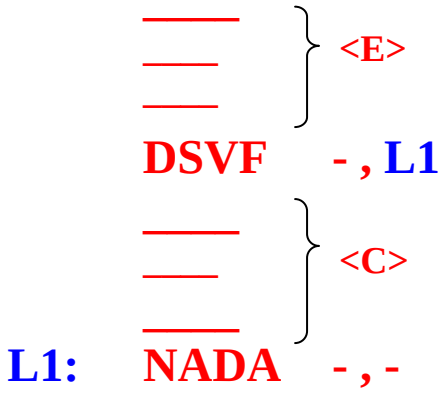
- **Exemplo:**

```
...
I:= 1;
enquanto I < N faça
inicio
      escreva (I, I*I);
      I:= I + 1;
Fim;
...
```

## 6. Comando se-entao / se-entao-senao

### 6.1 – se-então

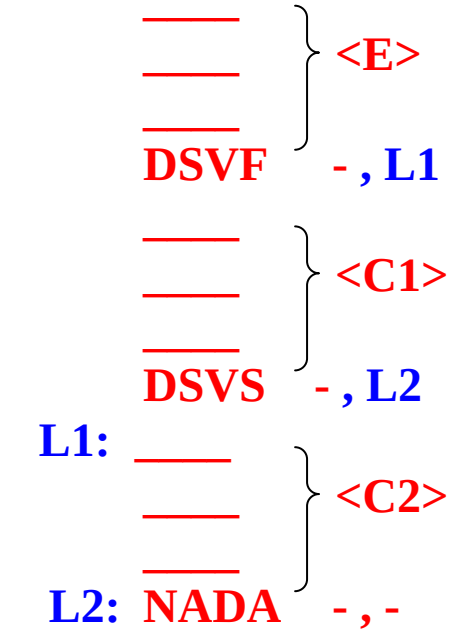
- **Forma geral : se <E> entao <C>**




- **Exemplo : se A > B então MAIOR := A**

### 6.2 - se-entao-senao

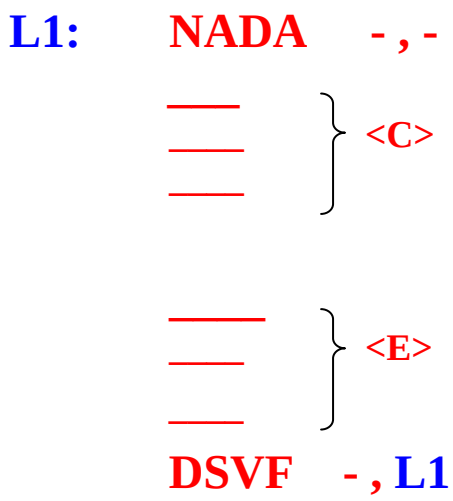
- **Forma geral : se <E> entao <C1> senão <C2>**




- **Exemplo : se A > B**
  **então MAIOR := A**
  **senão MAIOR := B**

## 7. Comando repita-ate

**Forma geral : repita <C> ate <E>**




- **Exemplo :**

```
i:=0;
repita
inicio
    escreva (i);
    i :=  i + 1
fim
ate i = 10;
```

## 8. Estruturas de controle aninhadas

- **Enquanto-faca**
  - **Forma Geral: enquanto < E > faca < C >**
  - **Pilha de controle ∴ PENQ [ TPE ]**
  - **Ações de geração de código**

    **<C> ::= enquanto #w1 <E> #w2 faca <C> #w3**

    **#w1 – Gera instrução NADA __, __**
    **Guarda endereço da instr. NADA __,__**
    **em PENQ - TPE:= * +1**
    **PENQ [TPE]:= PC**

    **#w2 – Gera instrução DSVF __, ?**
    **Guarda endereço de DSVF em PENQ**

    **#w3 – Completa DSVF do topo de PENQ com**
    **PC + 1 (próxima instrução)**
    **Decrementa TPE →TPE:= * - 1**
    **gera DSVS __, PENQ [TPE]**
    **Decrementa TPE →TPE:= * - 1**

  - **Exemplo:**

```
...
I:= 1;
enquanto I < N faca
inicio
        K:= 1;
        enquanto K < M faca
        inicio
           escreva (I * K);  K:= K + 1;
        fim;
        I:= I + 1;
 fim;
```

- **Se-entao-senao**
  - **Forma Geral: se < E > entao < C1 > senao < C2>**
  - **Pilha de controle ∴ PSE [ TPSE ]**
  - **Ações de geração de código**

    **<C> ::= se <E> #Y1 entao <C> <else-parte> #Y3**

    **<else-parte> ::= #Y2 senao <C> | ε**

    **#Y1 - gera DSVF __, ?**
    **guarda endereço na PSE**

    **#Y2 - completa DSVF do topo de PSE**
    **com PC + 1; decrementa TPSE**
    **gera DSVS __, ?**
    **guarda endereço na PSE**

    **#Y3 - completa instrução do topo de PSEF**
    **→ PSE [TPSE]:= PC**
    **decrementa TPSE**

  - **Exemplo: se A > B**
    **entao se A > C**
    **entao escreva (A)**
    **senão escreva (C)**
    **senão se B > C**
    **entao escreva (B)**
    **senao escreva (C);**

- **Repita-ate – forma geral:**

  **Repita <C> ate <E>**

  **(Pilha de controle ∴ PREP [ TPR ] )**

  - **Ações de geração de código**

  **<C> ::= repita #R1 <C> ate <E> #R2**

  **#R1 – empilha em PREP o end. da próx. instrução**
  **#R2 - Gera instrução DSVF __, PREP[TPR]**
  **Desempilha o endereço armazenado em PREP**

  - **Exemplo:**

```
i := 1;
repita
   inicio
      j := 1;
      repita
         inicio
            escreva ( i * j );
            j := j + 1
         fim
      ate j > 10;
      i := i + 1
   fim
ate i  > 10;
```

## 9. Constantes com Tipo ≠ Pilha

CRCT __, K ⟶ CRCT 1, Ind.Tab.Literais
CRCT 2, Ind.Tab.Reais

## 10. Variáveis Simples com Tipo ≠ Pilha

- **Carga / Armazenamento**

  CRVL l , a - CRVLX l , i ← i: Ind.Tab.Tipo_X

  ARMZ l , a  ARMZX l , i

  nível deslocamento tipo nível

- **Operações (Aritméticas, Lógicas, E/S)**

  CMIG __, __ { CMIGX __, __ ∴ x = tipo var
  CMIG X , __

  SOMA__, __ { SOMAX__, __
  SOMA X, __

  LEIA __, __ { LEIAX __, __
  LEIA X, __

  IMPR__, __ { IMPR 1 , __ (ou IMPLIT __,__)
  IMPR 2 , __ (ou IMPREAL __,__)