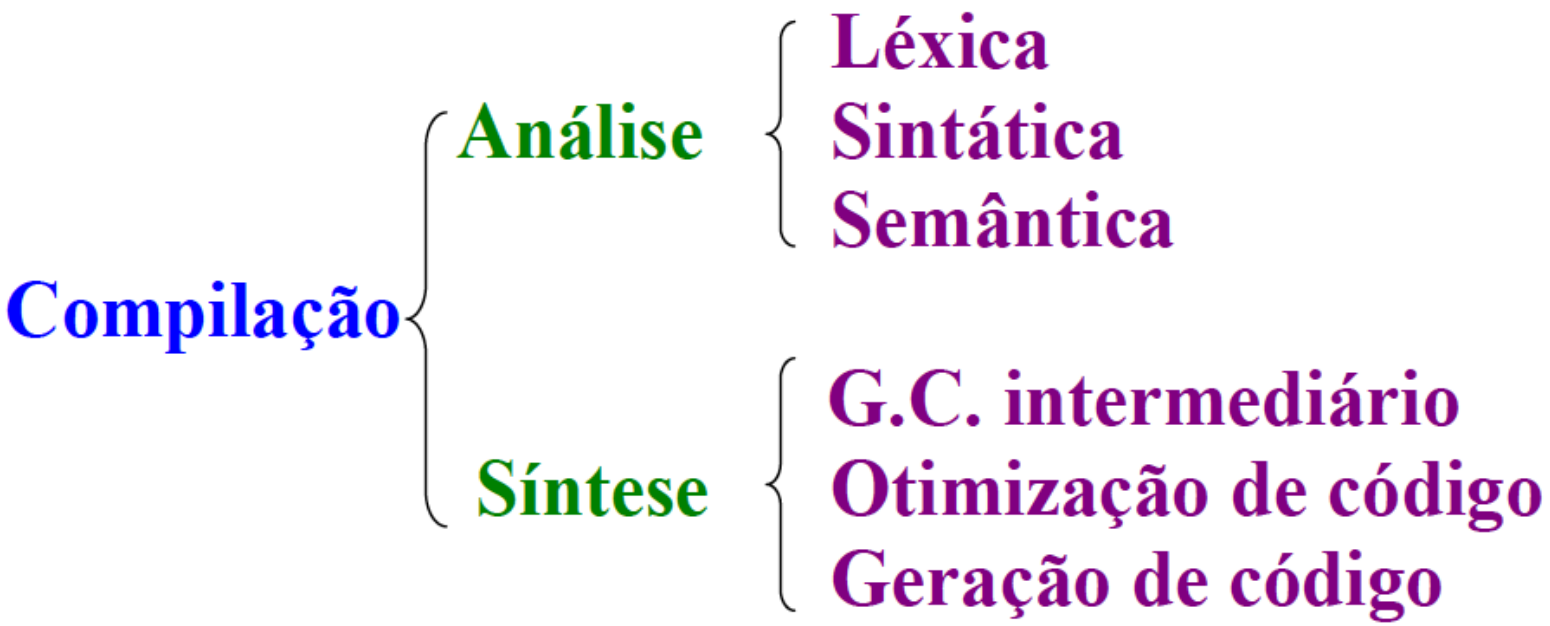
INE5318
Construção de Compiladores

AULA 6: O BACK END DO COMPILADOR E A GERAÇÃO DE CÓDIGO

Ricardo Azambuja Silveira
INE-CTC-UFSC
E-Mail: silveira@inf.ufsc.br
URL: www.inf.ufsc.br/~silveira

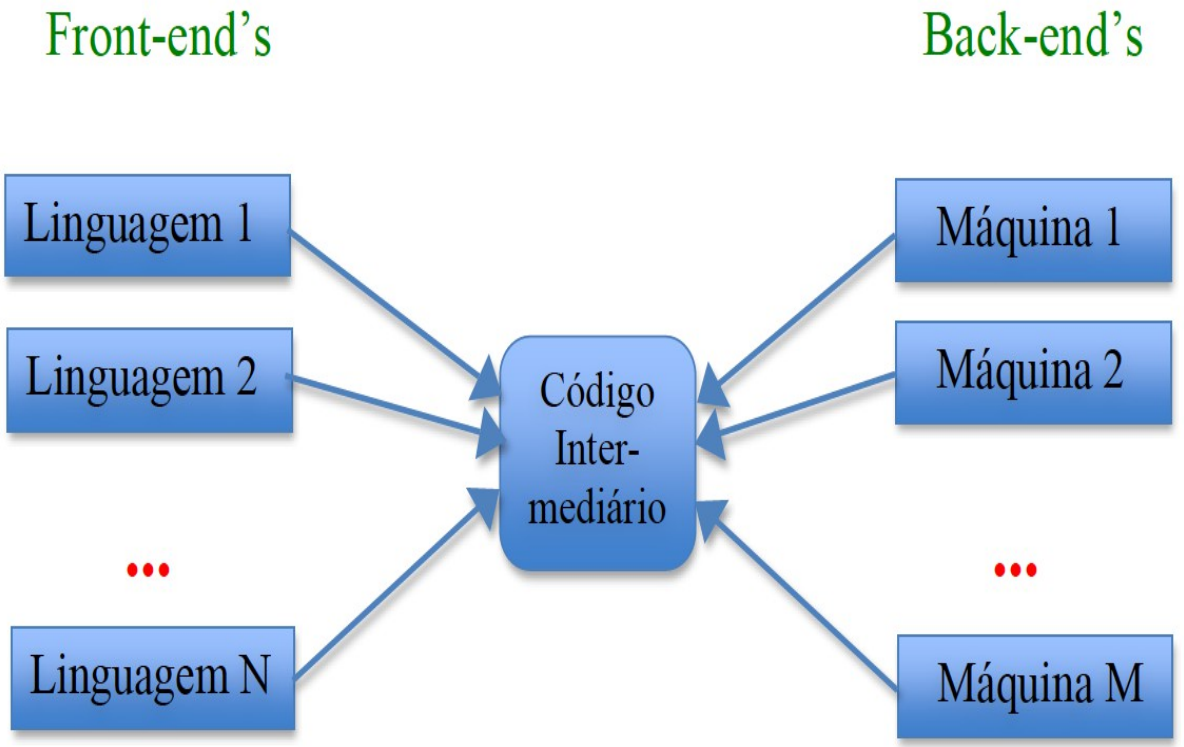
Estrutura do compilador



O Back-end e o Front-end

- Front-end
  - Independente de máquina
  - Compreende:
    - Análise (Léxica, Sintática e Semântica)
    - Geração de Código Intermediário
- Back-end
  - Independente de linguagem
  - Compreende:
    - Otimização de Código
    - Geração de Código

O Back-end e o Front-end



Esquema de tradução dirigida pela sintaxe

- Geração de código Intermediário ou executável.
- Uso de ações de geração de código:
  - Similares às ações semânticas
  - Inseridas na gramática
  - Ativadas pelo Parser ou Analisador Semântico
  - pode ser integrado ao semântico
- Generalizando:
  - Ações semânticas
  - Ações de verificação
  - Ações de geração de código
- Na prática:
  - Unificação de ações de verificaçãosemântica e de Geração de Código

Trade off

- CÓDIGO INTERMEDIÁRIO X CÓDIGO EXECUTÁVEL
- MÁQUINA HIPOTÉTICA X MÁQUINA REAL

- CÓDIGO INTERMEDIÁRIO:
  - Representação intermediária entre o programa fonte (linguagem de alto nível) e o programa objeto (Linguagem de baixo nível ou código executável).

Geração de Código Intermediário

- A geração de código intermediário é a transformação da árvore de derivação em um fragmento de código, que geralmente não se trata do código objeto final.

Vantagens

- Otimização de código intermediário de modo a obter código objeto mais eficiente.
- Geração menos complexa e simplificação da implementação do compilador, resolvendo gradativamente as dificuldades da tradução
  - Abstração de detalhes da máquina real
  - Repertório de instruções definido em função das construções da linguagem fonte
- Torna possível a tradução de código intermediário para diversas máquinas.

Desvantagens

- O compilador requer um passo a mais para a tradução, tornando o processo um pouco mais lento.
- A grande diferença entre o código intermediário e o código objeto final é que o intermediário não especifica detalhes da máquina alvo, tais como quais registradores serão usados, quais endereços de memória serão referenciados etc.

Linguagens Intermediárias

- Os vários tipos de código intermediário fazem parte de uma das seguintes categorias:
  - Representações gráficas: árvores e grafos de sintaxe;
  - Notação pós-fixada ou pré-fixada;
  - Código de três-endereços:
    - Quádruplas
    - Triplas.

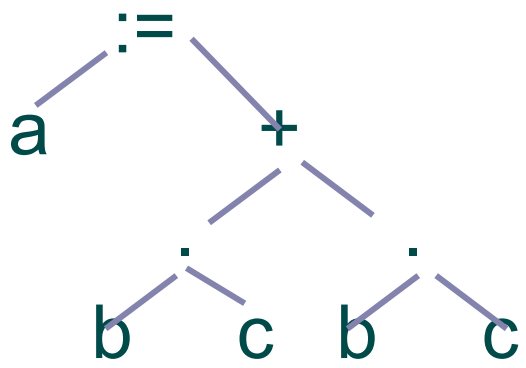
Árvore e Grafos de Sintaxe

- Uma árvore de sintaxe é uma forma condensada de árvore de derivação na qual somente os operandos da linguagem aparecem como folhas;
- Os operadores constituem nós interiores da árvore.
- Na árvore de sintaxe, as cadeias de produções simples são eliminadas
  - por exemplo.: A→B e B→C fica A→C.

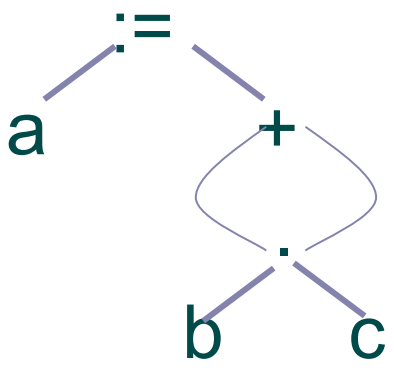
Exemplo

Seja a equação: a := (b*c)+(b*c)

Árvore de Sintaxe



Grafo de Sintaxe



No grafo de sintaxe, se já existe um nó rotulado este é “re-aproveitado”

Construção da árvore de sintaxe

Os atributos ptr guardam os ponteiros retornados pelas funções e as funções gerafolha criam os nós de identificadores e de num

PRODUÇÃO	REGRAS SEMÂNTICAS
E → E1 + T	E.ptr = geranodo("+", E1.ptr,T.ptr);
E → E1- T	E.ptr = geranodo("-", E1.ptr,T.ptr);
E → T	E.ptr = T.ptr;
T → (E)	T.ptr = E.ptr;
T → id	T.ptr = gerafolha(id,id.índice);
T → num	T.ptr = gerafolha(num,num.val);

Grafo de Sintaxe

- Antes de construir um novo nó com rótulo op e ponteiros pt1 e pt2 para subárvores que representam subexpressões, uma função geranó verifica se já existe algum nó com rótulo op e ponteiros que apontem para árvores idênticas às apontadas por pt1 e pt2.
- Caso positivo, a função apenas retorna um ponteiro para o nó previamente construído.
- Uma função gerafolha age de forma similar.

Notação Pós-fixa e Pré-fixa

- Representa expressões onde, se E_1 e E_2 são expressões pós-fixadas e q um operador binário, então E_1E_2q é a representação pós-fixada para a expressão E_1qE_2
- Por outro lado, se E_1 e E_2 são expressões pré-fixadas e q um operador binário, então qE_1E_2 é a representação pós-fixada para a expressão E_1qE_2
- Estes conceitos podem ser generalizados para expressões com operadores n-ários

Notação Pós-fixa e Pré-fixa

- Para avaliar expressões pós-fixadas, utiliza-se uma pilha e lê-se a expressão da esquerda para a direita empilhando cada operando até encontrar o operador.
- Encontrando o operador n-ário, aplica-se o operador aos n operandos do topo da pilha
- Nas exprexões pré-fixadas usa-se procedimento semelhante lendo a expressão da direita para a esquerda

Notação Pós-fixa e Pré-fixa

Infixa	Pós-fixa	Pré-fixa
(a+b)*c	ab+c*	*+abc
a*(b+c)	abc+*	*a+bc
a+b*c	abc*+	+a*bc

Tradução

- Exemplo de tradução para gerar representações pós-fixadas:

  E → E1 + T { E.cod := E1.cod|| T.cod|| “+” }

  E → T { E.cod := T.cod }

  T → T1 * F { T.cod := T1.cod || T.cod || “*” }

  T → F { T.cod := F.cod }

  F → id { F.cod := id.nome }

Código de Três-endereços

- No código intermediário de três-endereços, cada instrução faz referência, no máximo, a três variáveis (endereços de memória).

Código de Três-endereços

- As instruções dessa linguagem intermediária são as seguintes:

  A := B op C

  A := op B

  A := B

  goto L

  if A oprel B goto L

  Onde A, B e C representam endereços de variáveis, op representa operador (binário ou unário), oprel representa operador relacional e L representa o rótulo de uma instrução intermediária.

Código de Três-endereços

- Um código de três-endereços pode ser representado por quádruplas ou triplas.
- As quádruplas são constituídas de quatro campos: um operador, dois operandos e o resultado.
- As triplas são constituídas de três campos: um operador e dois operandos.

Quádruplas

Exemplo para a equação: A:= B*(-C + D)

	Oper	arg1	arg2	Result
(0)	-u	C		T1
(1)	+	T1	D	T2
(2)	*	B	T2	T3
(3)	:=	T3		A

Triplas

Exemplo para a equação: A:= B*(-C + D)

	oper	arg1	arg2
(0)	-u	C	
(1)	+	(0)	D
(2)	*	B	(1)
(3)	:=	A	(2)

Nesse caso não são explicitadas variáveis temporárias.

Exemplo

- Código de três-endereços para o comando A:= X + Y * Z

  T1 := Y * Z

  T2 := X + T1

  A := T2

Onde T1 e T2 são variáveis temporárias.

Exercícios

1. Dado os comandos:

   x := (a + b) * c – (a + b) / d

   Area := (Base * Altura) / 2

Traduzir para:

1. Árvore de sintaxe
2. Grafo de sintaxe
3. Derivar o código intermediário pós-fixo
4. Derivar o código intermediário de três-endereços.

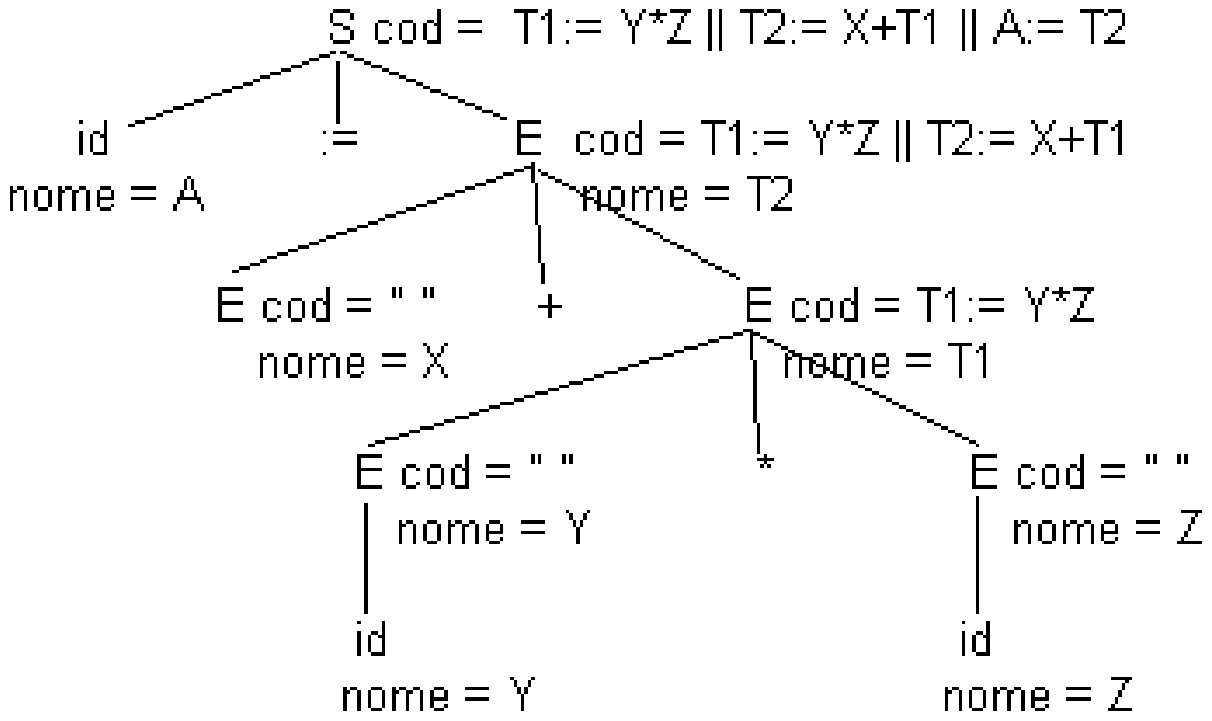
Exemplo

- Esquema de tradução para gerar código de 3 endereços:
  - *A função geratemp(), gera um nome de variável temporária*
  - *A estrutura E.nome, armazena o nome de uma variável ou temporária*
  - *A função geracod()*, gera uma string (texto) correspondente a uma instrução de código intermediário a partir dos argumentos entre parênteses.
  - O atributo *cod S* contém o código final gerado para o comando.
  - O atributo *cod*de E contém o código para a expressão correspondente.

```
S --> id  := E    {S.cod=E.cod || geracod(id.nome ":=" E.nome}
E --> E1 + E2   {E.nome = geratemp; E.cod = E1.cod || E2.cod||
                   geracod(E.nome ":=" E1.nome "+" E2.nome)}
E --> E1 * E2   {E.nome = geratemp; E.cod = E1.cod || E2.cod||
                   geracod(E.nome ":=" E1.nome "*" E2.nome)}
E --> (E1)       {E.nome = E1.nome; E.cod = E1.cod}
E -->   id        {E.nome = id.nome; E.cod = " "}
```

Exemplo

- Árvore de derivação para o comando: A:= X + Y * Z



Reutilização de Temporárias

- Após uma variável temporária ser referenciada (aparecer no lado direito de uma atribuição), ela pode ser descartada.
- Para reutilização de temporárias, usa-se um contador C, com valor inicial 1.
- Sempre que uma nova temporária é gerada, usa-se TC no código e incrementa-se C de 1.
- Sempre que um temporário é usado como operando decrementa-se C de 1.

Exemplo

- Utilização de temporárias para o comando de atribuição:
  - X := A * B + C * D – E * F

T1:= A * B (incrementa C de 1)
T2:= C * D (incrementa C de 1)
T1:= T1 + T2 (decrementa C de 1, 2 vezes)
T2:= E * F (incrementa C de 1)
T1:= T1 – T2 (decrementa C de 1, 2 vezes)
X:= T1 (Fim)

Exercício

- Desenhar a árvore de derivação para as expressões:
  - $Y = 3\ x^2 + 2\ x + 5$
  - Saldo = Credito – (0,5 * Debito)
- Descrever a utilização de temporárias para as equações do exercício anterior

Expressões Lógicas

- Representação Numérica
  - Na representação numérica de expressões lógicas deve-se codificar numericamente as constantes *true* e *false* (por ex.: 1 e 0) e avaliar as expressões lógicas de forma numérica, ficando o resultado da avaliação numa variável temporária.

Exemplo

- Código para avaliar expressões lógicas de forma numérica:
  - Supondo que o código gerado seja armazenado a partir de uma quádrupla número 100, o comando de atribuição X:= A or B and not C (onde A, B e C são variáveis lógicas) seria traduzido para:

1. T1:= not C
2. T2:= A and T1
3. T3:= A or T2
4. X:= T3

Exemplo

- A expressão A<B onde A e B são variáveis numéricas, pode ser traduzida como:

  100 if A<B goto 103

  101 T1:= 0

  102 goto 104

  103 T1:= 1

  104

Nesse caso o valor da expressão fica na última temporária gerada no processo de avaliação.

Esquema de Tradução

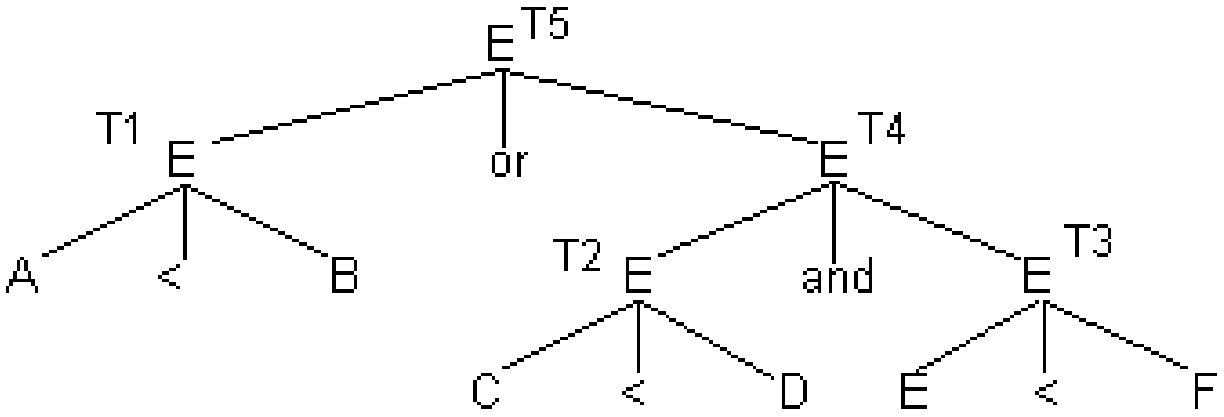
- O esquema de tradução a seguir gera código para expressões lógicas, supondo que as instruções geradas são armazenadas num vetor de quádruplas.
- A função *geracod()* utiliza a variável *proxq* para indicar o índice da próxima quádrupla disponível
- Após gravar uma quádrupla, a função geracod incrementa *proxq.*

```
E --> E1 or E2      {E.nome = geratemp; geracod(E.nome ":=" E1.nome "or" E2.nome)}
E --> E1 and E2     {E.nome = geratemp; geracod(E.nome ":=" E1.nome "and" E2.nome)}
E --> not E1        {E.nome = geratemp; E.cod = E1.cod || E2.cod ||
                     geracod (E.nome ":=" E1.nome "and" E2.nome)}
E --> ( E1 )        {E.nome = E1.nome}
E --> id1 oprel id2 {E.nome = geratemp; geracod("if" id1.nome oprel.simb id2.nome "goto" proxq+3)
                     geracod(E.nome ":= 0"); geracod ("goto" proxq+2); geracod (E.nome ":= 1")}
E --> true          {E.nome = geratemp; geracod (E.nome ":= 1")}
E --> false         {E.nome = geratemp; geracod (E.nome ":= 0")}
```

Exemplo

- Código gerado para a expressão: A<B or C<d and E<F

```
100 if A<B goto 103
101 T1:= 0
102 goto 104
103 T1:= 1
104 if C<D goto 107
105 T2:= 0
106 goto 108
107 T2:= 1
108 if E<F goto 111
109 T3 := 0
110 goto 112
111 T3:= 1
112 T4:= T2 and T3
113 T5:= T1 or T4
```



Exemplo

- Geração de código para o comando *while*:

  S → while E do S1 { S.inicio = gerarotulo; S.prox= gerarotulo;
  S.cod = geracod (S.inicio ":") || E.cod ||
  geracod ("if" E.nome "=0 goto" S.prox) ||
  geracod ("goto" S.inicio)||
  geracod (S.prox ":") }

  Nesse caso o código gerado é uma string de instruções e rótulos que fica armazenado no atributo *cod* de S. Os atributos *inicio* e *prox* identificam, respectivamente o início da iteração e o início do comando seguinte ao *while*.