

UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA

Ronistone Junior - 11521BCC018

Relatório Parcial 4 - Construção de Compiladores

March 2019

Sumário

	Sumário	1
0.1	Instalação	4
0.1.1	Instalando o OCaml	4
0.1.2	Instalando JVM e Assembler	4
0.2	Gerando e Compilando o Assembly Dos Arquivos	4
0.2.1	Compilando	5
0.2.2	Desassemblando	5
0.2.3	Compilando o Assembly	5
0.3	Assembly Gerado	5
0.3.1	Nano01	6
0.3.1.1	Comentários	6
0.3.1.2	Diretivas	6
0.3.1.3	Métodos	7
0.3.2	Nano02	7
0.3.3	Nano03	8
0.3.4	Nano04	9
0.3.5	Nano05	9
0.3.6	Nano06	10
0.3.7	Nano07	11
0.3.8	Nano08	13
0.3.9	Nano09	14
0.3.10	Nano10	15
0.3.11	Nano11	17
0.3.12	Nano12	19
0.4	Principais Instruções do Jasmin	21
0.4.1	.bytecode	22
0.4.2	.source	22
0.4.3	.class	22
0.4.4	.super	22
0.4.5	.method	22
0.4.6	.limit	22
0.4.7	.end	22
0.4.8	.line	22
0.4.9	lload	22
0.4.10	lstore	22

0.4.11	iaload	23
0.4.12	iload	23
0.4.13	istore	23
0.4.14	fload	23
0.4.15	fstore	23
0.4.16	ldc	23
0.4.17	dup	23
0.4.18	pop	23
0.4.19	swap	23
0.4.20	iadd	23
0.4.21	idiv	24
0.4.22	imul	24
0.4.23	isub	24
0.4.24	fadd	24
0.4.25	fdiv	24
0.4.26	fmul	24
0.4.27	fsub	24
0.4.28	goto	24
0.4.29	ifeq	24
0.4.30	ifge	24
0.4.31	ifgt	24
0.4.32	ifle	25
0.4.33	iflt	25
0.4.34	ifne	25
0.4.35	if_icmple	25
0.4.36	if_icmpne	25
0.4.37	if_icmpe	25
0.4.38	iand	25
0.4.39	ior	25
0.4.40	i2f	25
0.4.41	f2i	25
0.4.42	jsr	25
0.4.43	ret	26
0.4.44	invokevirtual	26
0.4.45	invokeinterfacel	26
0.4.46	invokespecial	26
0.4.47	invostatic	26
0.4.48	getstatic	26
0.5	Analizador Léxico	26

0.5.1	Implementação	26
0.5.2	Execução	29
0.6	Analizador Sintático	31
0.6.1	Preparando o Ambiente	31
0.6.2	Árvore Sintática Abstrata	32
0.6.3	Gramática	34
0.6.4	Execução	38
0.6.5	Compilando	40
0.7	Analizador Semântico	40

0.1 Instalação

0.1.1 Instalando o OCaml

Utilizando os comandos:

```
1 sudo apt install wget
2 sudo apt install git aspcud m4 mercurial darcs
3 wget https://raw.githubusercontent.com/ocaml/opam/master/shell/opam-installer.sh -O -
   | sh -s /usr/local/bin
4 opam init
5 opam update
6 eval `opam config env`
7 sudo apt-get install rlwrap
```

foi instalado o OPAM, rlwrap e o OCaml, com todas as suas dependências

0.1.2 Instalando JVM e Assembler

- Como já possuía java instalado não foi necessário instalação da JVM, estou utilizando o Java 8.
- Já para instalar o jasmin, que é o assembler da JVM, baixei o source no seguinte link Após o download temos um arquivo zip que contém o jar do jasmin.
- Foi utilizado também o disassembler ClassFileAnalyzer (Can) que pode ser baixado no seguinte link
- Para instalar o Assembler e o Disassembler extraí os dois .zip para o meu /opt utilizando unzip nome-do-arquivo.zip e criei um script no /usr/bin para cara um para executa-los, abaixo estão os dois scripts:

```
1 # /usr/bin/run-jasmin
2 java -jar /opt/jasmin-2.4/jasmin.jar $@

1 # /usr/bin/generate-dot-j
2 java -jar /opt/classfileanalyzer/classfileanalyzer.jar $@
```

0.2 Gerando e Compilando o Assembly Dos Arquivos

Todos os códigos utilizados foram disponibilizados pelo professor no forum do google groups da matéria, utilizaremos os arquivos "Nanos", que podem ser baixados neste link.

Aqui vamos gerar os arquivos .j que é utilizado pelo Jasmin para gerar como estamos utilizando um disassembler para gerar o assembly de forma mais rápida, seguiremos o seguinte processo:

1. Compilaremos um arquivo .java utilizando o javac
2. Depois de compilado teremos o .class, usaremos ele no disassembler para gerar o .j
3. Agora podemos manipular o assembly da forma que for necessária e ao fim utilizar o Jasmin para compilar o nosso assembly

0.2.1 Compilando

Para compilar entrar na pasta que se encontra os arquivos .java e executar:

```
1 javac *.java
```

0.2.2 Desassemblando

Para desassemblar e gerar os arquivos .j para cada código java, utilizaremos o disassembler ClassFileAnalyzer para isto criei um pequeno script para realizar este processo:

```
1 # ./generate.sh
2 files='ls *.class '
3
4 for i in $files
5 do
6     name=$( echo "$i" | cut -f 1 -d '.' )
7     echo 'Generating ' "${name}" ' ... '
8     generate-dot-j $i > ${name}.j
9 done;
```

0.2.3 Compilando o Assembly

Após geramos os arquivos .j temos o nosso assembly gerado, caso queiramos compilar este assembly basta utilizarmos o nosso Assembler Jasmin, para realizar este processo criei o script abaixo que irá compilar todos os nossos assembly:

```
1 # ./compile.sh
2 files='ls *.j '
3
4 for i in $files
5 do
6     name=$( echo "$i" | cut -f 1 -d '.' )
7     echo 'Compiling ' "${name}" ' ... '
8     run-jasmin $i
9 done;
```

0.3 Assembly Gerado

Vamos agora entender um pouco do nosso assembly gerado.

0.3.1 Nano01

No Nano01 tem uma função main que não executa nenhuma operação

```
1 ; Nano01.j
2
3 ; Generated by ClassFileAnalyzer (Can)
4 ; Analyzer and Disassembler for Java class files
5 ; (Jasmin syntax 2, http://jasmin.sourceforge.net)
6 ;
7 ; ClassFileAnalyzer , version 0.7.0
8
9
10 .bytecode 52.0
11 .source Nano01.java
12 .class public Nano01
13 .super java/lang/Object
14
15 .method public <init>()V
16   .limit stack 1
17   .limit locals 1
18   .line 1
19   0: aload_0
20   1: invokespecial java/lang/Object/<init>()V
21   4: return
22 .end method
23
24 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
25   .limit stack 0
26   .limit locals 1
27   .line 3
28   0: return
29 .end method
```

0.3.1.1 Comentários

Aqui temos nosso primeiro assembly, a primeira coisa que podemos notar é que para escrever comentários basta utilizar o ";" (ponto e virgula) e tudo que estiver na frente do ";" faz parte do comentário.

0.3.1.2 Diretivas

Logo depois notamos algumas palavras iniciadas com ".", essas são as chamadas Diretivas. Elas nada mais são que palavras utilizadas para controle pelo Jasmin, ou seja, elas não são instruções da JVM. Podemos ver as seguintes diretivas: .bytecode, .source, .class, .super, .method, .limit, .line, .end. As diretivas estão melhor explicadas na seção [0.4]

0.3.1.3 Métodos

Podemos notar dois métodos, sendo o primeiro o `init` que é o construtor da classe e o método `main`.

Dentro do construtor podemos ver a chamada o construtor da classe `Object` que é uma super classe desta nossa Classe `Nano`

Dentro do `main` podemos ver que não é feito quase nada, apenas é definido o tamanho inicial da pilha, o tamanho das variáveis locais e logo em seguida é realizado um `return` finalizando o método.

0.3.2 Nano02

Declaramos apenas uma variável dentro da nossa classe `main`.

```
1 ; Nano02.j
2
3 ; Generated by ClassFileAnalyzer (Can)
4 ; Analyzer and Disassembler for Java class files
5 ; (Jasmin syntax 2, http://jasmin.sourceforge.net)
6 ;
7 ; ClassFileAnalyzer , version 0.7.0
8
9
10 .bytecode 52.0
11 .source Nano02.java
12 .class public Nano02
13 .super java/lang/Object
14
15 .method public <init>()V
16   .limit stack 1
17   .limit locals 1
18   .line 1
19   0: aload_0
20   1: invokespecial java/lang/Object/<init>()V
21   4: return
22 .end method
23
24 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
25   .limit stack 0
26   .limit locals 2
27   .line 4
28   0: return
29 .end method
```

Podemos notar que o este assembly é praticamente identico ao assembly do `Nano01` [0.3.1]. Diferindo apenas no `.limit locals` da função `main`, podemos ver que agora temos

.limit locals 2 e antes tínhamos .limit locals 1, isto nos mostra que temos mais uma variável local.

0.3.3 Nano03

Declaramos e definimos um valor para uma variável.

```
1 ; Nano03.j
2
3 ; Generated by ClassFileAnalyzer (Can)
4 ; Analyzer and Disassembler for Java class files
5 ; (Jasmin syntax 2, http://jasmin.sourceforge.net)
6 ;
7 ; ClassFileAnalyzer , version 0.7.0
8
9
10 .bytecode 52.0
11 .source Nano03.java
12 .class public Nano03
13 .super java/lang/Object
14
15 .method public <init>()V
16   .limit stack 1
17   .limit locals 1
18   .line 1
19   0: aload_0
20   1: invokespecial java/lang/Object/<init>()V
21   4: return
22 .end method
23
24 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
25   .limit stack 1
26   .limit locals 2
27   .line 4
28   0: iconst_1
29   1: istore_1
30   .line 5
31   2: return
32 .end method
```

Aqui podemos ver um limite maior para nossa pilha, e duas novas instruções, o limite maior se dá devido a definição de um valor para a variável. Já as duas novas instruções são `iconst_1` carrega a constante 1 no topo da pilha. Enquanto a instrução `istore_1` carrega o valor do topo da pilha para a variável 1.

0.3.4 Nano04

Declarando uma variável e atribuindo a soma de duas constantes a esta variável.

```
1 ; Nano04.j
2
3 ; Generated by ClassFileAnalyzer (Can)
4 ; Analyzer and Disassembler for Java class files
5 ; (Jasmin syntax 2, http://jasmin.sourceforge.net)
6 ;
7 ; ClassFileAnalyzer , version 0.7.0
8
9
10 .bytecode 52.0
11 .source Nano04.java
12 .class public Nano04
13 .super java/lang/Object
14
15 .method public <init>()V
16   .limit stack 1
17   .limit locals 1
18   .line 1
19   0: aload_0
20   1: invokespecial java/lang/Object/<init>()V
21   4: return
22 .end method
23
24 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
25   .limit stack 1
26   .limit locals 2
27   .line 4
28   0: iconst_3
29   1: istore_1
30   .line 5
31   2: return
32 .end method
```

Neste exemplo podemos ver que não há apenas uma diferença com o Nano03 0.3.3 que é o valor da constante agora é 3, podemos concluir disto que houve uma otimização, pois como estávamos somando duas constantes o compilador carregou o resultado da soma direto para não precisar refazer o cálculo em tempo de execução.

0.3.5 Nano05

Declarando, atribuindo valor a uma variável e imprimindo o seu valor.

```
1 ; Nano05.j
2
```

```

3 ; Generated by ClassFileAnalyzer (Can)
4 ; Analyzer and Disassembler for Java class files
5 ; (Jasmin syntax 2, http://jasmin.sourceforge.net)
6 ;
7 ; ClassFileAnalyzer , version 0.7.0
8
9
10 .bytecode 52.0
11 .source Nano05.java
12 .class public Nano05
13 .super java/lang/Object
14
15 .method public <init>()V
16   .limit stack 1
17   .limit locals 1
18   .line 1
19   0: aload_0
20   1: invokespecial java/lang/Object/<init>()V
21   4: return
22 .end method
23
24 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
25   .limit stack 2
26   .limit locals 2
27   .line 4
28   0: iconst_2
29   1: istore_1
30   .line 5
31   2: getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
32   5: iload_1
33   6: invokevirtual java/io/PrintStream/println(I)V
34   .line 6
35   9: return
36 .end method

```

Aqui notamos 3 novas instruções, o `getstatic` que carrega um campo estático para o topo da pilha, o `iload_1` que carrega o valor da variável 1 para o topo da pilha e o `invokevirtual` que realiza a chamada de um método.

0.3.6 Nano06

Declarando variável, atribuindo uma subtração de duas constantes para a variável e por fim imprimindo a variável.

```

1 ; Nano06.j
2
3 ; Generated by ClassFileAnalyzer (Can)
4 ; Analyzer and Disassembler for Java class files

```

```

5 ; (Jasmin syntax 2, http://jasmin.sourceforge.net)
6 ;
7 ; ClassFileAnalyzer , version 0.7.0
8
9
10 .bytecode 52.0
11 .source Nano06.java
12 .class public Nano06
13 .super java/lang/Object
14
15 .method public <init>()V
16   .limit stack 1
17   .limit locals 1
18   .line 1
19   0: aload_0
20   1: invokespecial java/lang/Object/<init>()V
21   4: return
22 .end method
23
24 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
25   .limit stack 2
26   .limit locals 2
27   .line 4
28   0: iconst_m1
29   1: istore_1
30   .line 5
31   2: getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
32   5: iload_1
33   6: invokevirtual java/io/PrintStream/println(I)V
34   .line 6
35   9: return
36 .end method

```

Podemos notar aqui que houve a mesma otimização citada no Nano04 0.3.4, sendo utilizado o `iconst_m1` para carregar a constante -1 para a pilha. No mais o assembly é idêntico ao assembly do 0.3.5.

0.3.7 Nano07

Declarando uma variável, atribuindo valor e verificando se o valor é igual a 1, se for imprime a variável.

```

1 ; Nano07.j
2
3 ; Generated by ClassFileAnalyzer (Can)
4 ; Analyzer and Disassembler for Java class files
5 ; (Jasmin syntax 2, http://jasmin.sourceforge.net)
6 ;

```

```

7 ; ClassFileAnalyzer , version 0.7.0
8
9
10 .bytecode 52.0
11 .source Nano07.java
12 .class public Nano07
13 .super java/lang/Object
14
15 .method public <init>()V
16     .limit stack 1
17     .limit locals 1
18     .line 1
19     0: aload_0
20     1: invokespecial java/lang/Object/<init>()V
21     4: return
22 .end method
23
24 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
25     .limit stack 2
26     .limit locals 2
27     .line 4
28     0: iconst_1
29     1: istore_1
30     .line 5
31     2: iload_1
32     3: iconst_1
33     4: if_icmpne Label14
34     .line 6
35     7: getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
36     10: iload_1
37     11: invokevirtual java/io/PrintStream/println(I)V
38 Label14:
39     .line 8
40     14: return
41 ; append_frame (frameNumber = 0)
42 ; frame_type = 252, offset_delta = 14
43 ; frame bytes: 252 0 14 1
44 .stack
45     offset 14
46     locals Integer
47 .end stack
48 .end method

```

Agora temos uma nova instrução, o `if_icmpne` verifica se os dois valores do topo da pilha não são iguais se não forem, pula para o `Label14`. Para a execução desta instrução podemos ver um preparo para tal, onde é carregado a variável 1 e a constante 1 para o topo da pilha, fazendo então o `if_icmpne` que corresponde a `'if(n==1)'`.

0.3.8 Nano08

Verifica se valor na variável é igual a 1 se for imprime a variável, se não imprime 0.

```
1 ; Nano08.j
2
3 ; Generated by ClassFileAnalyzer (Can)
4 ; Analyzer and Disassembler for Java class files
5 ; (Jasmin syntax 2, http://jasmin.sourceforge.net)
6 ;
7 ; ClassFileAnalyzer , version 0.7.0
8
9
10 .bytecode 52.0
11 .source Nano08.java
12 .class public Nano08
13 .super java/lang/Object
14
15 .method public <init>()V
16   .limit stack 1
17   .limit locals 1
18   .line 1
19   0: aload_0
20   1: invokespecial java/lang/Object/<init>()V
21   4: return
22 .end method
23
24 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
25   .limit stack 2
26   .limit locals 2
27   .line 4
28   0: iconst_1
29   1: istore_1
30   .line 5
31   2: iload_1
32   3: iconst_1
33   4: if_icmpne Label17
34   .line 6
35   7: getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
36  10: iload_1
37  11: invokevirtual java/io/PrintStream/println(I)V
38  14: goto Label24
39 Label17:
40   .line 8
41  17: getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
42  20: iconst_0
43  21: invokevirtual java/io/PrintStream/println(I)V
44 Label24:
```

```

45  .line 10
46  24: return
47  ; append_frame (frameNumber = 0)
48  ; frame_type = 252, offset_delta = 17
49  ; frame bytes: 252 0 17 1
50  .stack
51      offset 17
52      locals Integer
53  .end stack
54  ; same_frame (frameNumber = 1)
55  ; frame_type = 6, offset_delta = 6
56  ; frame bytes: 6
57  .stack
58      offset 24
59      locals Integer
60  .end stack
61 .end method

```

Aqui temos apenas mais uma instrução nova, o goto, ele simplesmente salta para o um label. Assim podemos ver o if feito no Nano07 0.3.7 com a diferença de mais um bloco de instruções e no primeiro bloco que será executado se o if_icmpne falhar temos o goto para pular para o fim do if, enquanto o if_icmpne salta direto para o bloco de código do else.

0.3.9 Nano09

Atribui o valor de uma expressão a variável e depois verifica o valor com um if e else.

```

1  ; Nano09.j
2
3  ; Generated by ClassFileAnalyzer (Can)
4  ; Analyzer and Disassembler for Java class files
5  ; (Jasmin syntax 2, http://jasmin.sourceforge.net)
6  ;
7  ; ClassFileAnalyzer , version 0.7.0
8
9
10 .bytecode 52.0
11 .source Nano09.java
12 .class public Nano09
13 .super java/lang/Object
14
15 .method public <init>()V
16     .limit stack 1
17     .limit locals 1
18     .line 1
19     0: aload_0
20     1: invokespecial java/lang/Object/<init>()V
21     4: return

```

```

22 .end method
23
24 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
25     .limit stack 2
26     .limit locals 2
27     .line 5
28     0: iconst_1
29     1: istore_1
30     .line 6
31     2: iload_1
32     3: iconst_1
33     4: if_icmpne Label17
34     .line 7
35     7: getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
36     10: iload_1
37     11: invokevirtual java/io/PrintStream/println(I)V
38     14: goto Label24
39 Label17:
40     .line 9
41     17: getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
42     20: iconst_0
43     21: invokevirtual java/io/PrintStream/println(I)V
44 Label24:
45     .line 11
46     24: return
47     ; append_frame (frameNumber = 0)
48     ; frame_type = 252, offset_delta = 17
49     ; frame bytes: 252 0 17 1
50     .stack
51         offset 17
52         locals Integer
53     .end stack
54     ; same_frame (frameNumber = 1)
55     ; frame_type = 6, offset_delta = 6
56     ; frame bytes: 6
57     .stack
58         offset 24
59         locals Integer
60     .end stack
61 .end method

```

Vemos um código idêntico ao Nano08 [0.3.8] devido a otimização do compilador resolvendo a expressão em tempo de compilação.

0.3.10 Nano10

Declara duas variáveis, atribui valores para as variáveis e verifica se são iguais


```

1 ; Nano10.j
2
3 ; Generated by ClassFileAnalyzer (Can)
4 ; Analyzer and Disassembler for Java class files
5 ; (Jasmin syntax 2, http://jasmin.sourceforge.net)
6 ;
7 ; ClassFileAnalyzer , version 0.7.0
8
9
10 .bytecode 52.0
11 .source Nano10.java
12 .class public Nano10
13 .super java/lang/Object
14
15 .method public <init>()V
16     .limit stack 1
17     .limit locals 1
18     .line 1
19     0: aload_0
20     1: invokespecial java/lang/Object/<init>()V
21     4: return
22 .end method
23
24 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
25     .limit stack 2
26     .limit locals 3
27     .line 4
28     0: iconst_1
29     1: istore_1
30     .line 5
31     2: iconst_2
32     3: istore_2
33     .line 6
34     4: iload_1
35     5: iload_2
36     6: if_icmpne Label19
37     .line 7
38     9: getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
39     12: iload_1
40     13: invokevirtual java/io/PrintStream/println(I)V
41     16: goto Label26
42 Label19:
43     .line 9
44     19: getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
45     22: iconst_0
46     23: invokevirtual java/io/PrintStream/println(I)V
47 Label26:

```

```

48  .line 11
49  26: return
50  ; append_frame (frameNumber = 0)
51  ; frame_type = 253, offset_delta = 19
52  ; frame bytes: 253 0 19 1 1
53  .stack
54      offset 19
55      locals Integer
56      locals Integer
57  .end stack
58  ; same_frame (frameNumber = 1)
59  ; frame_type = 6, offset_delta = 6
60  ; frame bytes: 6
61  .stack
62      offset 26
63      locals Integer
64      locals Integer
65  .end stack
66 .end method

```

Aqui não temos nada novo, a única diferença para o que já foi visto é que agora a comparação é feita utilizando apenas variáveis, ou seja, antes de executar o `if_icmpne` carregamos as variáveis 1 e 2 para a pilha ao invés de carregar uma variável e uma constante.

0.3.11 Nano11

Declaração de três variáveis e um `while` verificando se $x \leq n$, realizando $n = n + m$ e imprimindo o valor de n a cada interação.

```

1  ; Nano11.j
2
3  ; Generated by ClassFileAnalyzer (Can)
4  ; Analyzer and Disassembler for Java class files
5  ; (Jasmin syntax 2, http://jasmin.sourceforge.net)
6  ;
7  ; ClassFileAnalyzer, version 0.7.0
8
9
10 .bytecode 52.0
11 .source Nano11.java
12 .class public Nano11
13 .super java/lang/Object
14
15 .method public <init>()V
16     .limit stack 1
17     .limit locals 1

```

```

18     .line 1
19     0: aload_0
20     1: invokespecial java/lang/Object/<init>()V
21     4: return
22 .end method
23
24 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
25     .limit stack 2
26     .limit locals 4
27     .line 5
28     0: iconst_1
29     1: istore_1
30     .line 6
31     2: iconst_2
32     3: istore_2
33     .line 7
34     4: iconst_5
35     5: istore_3
36 Label6:
37     .line 8
38     6: iload_3
39     7: iload_1
40     8: if_icmple Label25
41     .line 9
42     11: iload_1
43     12: iload_2
44     13: iadd
45     14: istore_1
46     .line 10
47     15: getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
48     18: iload_1
49     19: invokevirtual java/io/PrintStream/println(I)V
50     22: goto Label6
51 Label25:
52     .line 12
53     25: return
54     ; append_frame (frameNumber = 0)
55     ; frame_type = 254, offset_delta = 6
56     ; frame bytes: 254 0 6 1 1 1
57     .stack
58         offset 6
59         locals Integer
60         locals Integer
61         locals Integer
62     .end stack
63     ; same_frame (frameNumber = 1)
64     ; frame_type = 18, offset_delta = 18

```

```

65     ; frame bytes: 18
66     .stack
67     offset 25
68     locals Integer
69     locals Integer
70     locals Integer
71     .end stack
72 .end method

```

Agora temos uma estrutura muito similar ao que é realizado nos códigos anteriores onde tínhamos um if, com o while(x;n) foi gerado um if_icmple que verifica se o primeiro valor é menor ou igual ao segundo, se for pula para um label. Isto é utilizado para marcar o fim do while, caso seja verdadeiro ele pula para o fim do bloco do while, se não ele apenas executa o bloco.

Dentro do bloco vemos uma $n = n + m$, que é feito da seguinte forma, carrega-se n e m para a pilha depois executamos iadd para somar os dois valores do topo da pilha e salvamos o resultado no topo da pilha, por fim armazenamos o resultado que esta no topo da pilha na variável 1, realizamos a impressão do valor e pulamos de volta para o label que marca a inicialização para o if_icmple.

0.3.12 Nano12

Realiza dentro do while do Nano11 [0.3.11] agora uma verificação se $n==m$ se for imprime n senão imprime 0, e por fim decrementa x .

```

1  ; Nano12.j
2
3  ; Generated by ClassFileAnalyzer (Can)
4  ; Analyzer and Disassembler for Java class files
5  ; (Jasmin syntax 2, http://jasmin.sourceforge.net)
6  ;
7  ; ClassFileAnalyzer , version 0.7.0
8
9
10 .bytecode 52.0
11 .source Nano12.java
12 .class public Nano12
13 .super java/lang/Object
14
15 .method public <init>()V
16     .limit stack 1
17     .limit locals 1
18     .line 1
19     0: aload_0
20     1: invokespecial java/lang/Object/<init>()V
21     4: return

```

```

22 .end method
23
24 .method public static main([Ljava/lang/String;)V
25     .limit stack 2
26     .limit locals 4
27     .line 4
28     0: iconst_1
29     1: istore_1
30     .line 5
31     2: iconst_2
32     3: istore_2
33     .line 6
34     4: iconst_5
35     5: istore_3
36 Label6:
37     .line 7
38     6: iload_3
39     7: iload_1
40     8: if_icmple Label40
41     .line 8
42     11: iload_1
43     12: iload_2
44     13: if_icmpne Label26
45     .line 9
46     16: getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
47     19: iload_1
48     20: invokevirtual java/io/PrintStream/println(I)V
49     23: goto Label33
50 Label26:
51     .line 11
52     26: getstatic java/lang/System/out Ljava/io/PrintStream;
53     29: iconst_0
54     30: invokevirtual java/io/PrintStream/println(I)V
55 Label33:
56     .line 12
57     33: iload_3
58     34: iconst_1
59     35: isub
60     36: istore_3
61     37: goto Label6
62 Label40:
63     .line 14
64     40: return
65     ; append_frame (frameNumber = 0)
66     ; frame_type = 254, offset_delta = 6
67     ; frame_bytes: 254 0 6 1 1 1
68     .stack

```

```

69     offset 6
70     locals Integer
71     locals Integer
72     locals Integer
73     .end stack
74 ; same_frame (frameNumber = 1)
75 ; frame_type = 19, offset_delta = 19
76 ; frame bytes: 19
77 .stack
78     offset 26
79     locals Integer
80     locals Integer
81     locals Integer
82     .end stack
83 ; same_frame (frameNumber = 2)
84 ; frame_type = 6, offset_delta = 6
85 ; frame bytes: 6
86 .stack
87     offset 33
88     locals Integer
89     locals Integer
90     locals Integer
91     .end stack
92 ; same_frame (frameNumber = 3)
93 ; frame_type = 6, offset_delta = 6
94 ; frame bytes: 6
95 .stack
96     offset 40
97     locals Integer
98     locals Integer
99     locals Integer
100    .end stack
101 .end method

```

Aqui temos um código muito parecido com o Nano11 [0.3.11], podemos ver uma if ser realizado dentro do while e ao fim desse if é realizado uma subtração, onde carregamos o valor da variável 3 e a constante 1 para o topo da pilha, depois executamos isub para realizar a subtração dos dois valores do topo da pilha armazenando o resultado no topo da pilha e por fim usamos istore para armazenar o valor do topo da pilha na variável 3.

0.4 Principais Instruções do Jasmin

Abaixo estão listadas as principais instruções da sintaxe do Jasmin

0.4.1 `.bytecode`

Indica a versão de bytecode, não é necessário utiliza-la

0.4.2 `.source`

Indica o nome do arquivo source original.

0.4.3 `.class`

Utilizado para declarar uma classe

0.4.4 `.super`

Utilizado para declarar uma herança.

0.4.5 `.method`

Utilizado para declarar um método.

0.4.6 `.limit`

Utilizado para definir o tamanho da pilha ou o tamanho da variavel local

0.4.7 `.end`

Indica o final (p.e.: uma Classe ou um método)

0.4.8 `.line`

Utilizado para marcar a linha do código fonte, não é necessário, mas ajuda no entendimento do assembly.

0.4.9 `lload`

Carrega o valor de uma variável local para o topo da pilha.

0.4.10 `lstore`

Carrega o valor do topo da pilha para a variável determinada pelo índice passado como parâmetro.

0.4.11 iaload

Carrega um valor int de um vetor. O valor da referência do vetor e o índice são retirados do topo da pilha. O valor recuperado do vetor é colocado topo da pilha.

0.4.12 iload

Carrega o valor de uma variável local que é um inteiro para o topo da pilha.

0.4.13 istore

Carrega o valor do topo da pilha para a variável.

0.4.14 fload

Carrega o valor de uma variável local que é um float para o topo da pilha.

0.4.15 fstore

Carrega o valor do topo da pilha que é um float para a variável.

0.4.16 ldc

Desempilha a constante da pilha.

0.4.17 dup

A palavra no topo da pilha é duplicado.

0.4.18 pop

Retira o valor que esta no topo da pilha.

0.4.19 swap

Troca dois operandos da pilha (uma troca, o primeiro vira o segundo e o segundo vira o primeiro).

0.4.20 iadd

Adiciona dois inteiros.

0.4.21 idiv

Divide dois inteiros.

0.4.22 imul

Multiplica dois inteiros.

0.4.23 isub

Subtrai dois inteiros.

0.4.24 fadd

Adiciona dois float.

0.4.25 fdiv

Divide dois float.

0.4.26 fmul

Multiplica dois float.

0.4.27 fsub

Subtrai dois float.

0.4.28 goto

Ir para o marcador.

0.4.29 ifeq

Ir para o rótulo (marcador), se o valor no topo da pilha é 0.

0.4.30 ifge

Ir para o rótulo, se o valor no topo da pilha é igual ou superior (maior) a 0.

0.4.31 ifgt

Ir para o rótulo, se o valor no topo da pilha é superior (maior) a 0.

0.4.32 ifle

Ir para o rótulo, se o valor no topo da pilha é inferior (menor) ou igual a 0.

0.4.33 iflt

Ir para o rótulo, se o valor no topo da pilha é inferior (menor) a 0.

0.4.34 ifne

Ir para o rótulo, se o valor no topo da pilha não é igual a 0.

0.4.35 if_icmple

Ir para o rótulo, se o primeiro valor da pilha for menor ou igual ao segundo valor da pilha.

0.4.36 if_icmpne

Ir para o rótulo, se o primeiro valor da pilha for diferente do segundo valor da pilha.

0.4.37 if_icmpe

Ir para o rótulo, se o primeiro valor da pilha for diferente do segundo valor da pilha.

0.4.38 iand

AND (inteiros).

0.4.39 ior

OR (inteiros).

0.4.40 i2f

Converte inteiro para float.

0.4.41 f2i

Converte float para inteiro.

0.4.42 jsr

Retorna o endereço da pilha e "pula" para subrotina indicada.

0.4.43 `ret`

Retorna o endereço da subrotina que esta armazenado a variável local.

0.4.44 `invokevirtual`

É a forma padrão para a chamada de um método.

0.4.45 `invokeinterface`

Realiza a chamada de um método de uma interface procurando o método implementado por um objeto particular de um ambiente de execução.

0.4.46 `invokespecial`

Realiza a chamada de métodos especiais como métodos privados, ou métodos da super classe.

0.4.47 `invostatic`

Faz a chamada de métodos de classe (static).

0.4.48 `getstatic`

Carrega um campo estático para o topo da pilha.

0.5 Analisador Léxico

O analisador léxico é quem realiza o primeiro processamento sobre o código, ele remove todos os espaços em branco e os comentários, além de produzir uma sequência de palavras chaves através do código, que é denominado de token.

0.5.1 Implementação

Para a implementação do analisador léxico para o portugol, foi utilizado uma adaptação dos códigos gerados em aula.

O código abaixo é o código final do analisador léxico

```
1 {  
2   open Lexing  
3   open Printf  
4   open Sintatico  
5  
6   exception Erro of string
```

```

7
8   let incr_num_linha lexbuf =
9       let pos = lexbuf.lex_curr_p in
10      lexbuf.lex_curr_p <- { pos with
11          pos_lnum = pos.pos_lnum + 1;
12          pos_bol = pos.pos_cnum;
13      }
14
15  let pos_atual lexbuf = lexbuf.lex_start_p
16
17  let msg_erro lexbuf c =
18      let pos = lexbuf.lex_curr_p in
19      let lin = pos.pos_lnum
20      and col = pos.pos_cnum - pos.pos_bol - 1 in
21      sprintf "%d-%d: caracter desconhecido %c" lin col c
22
23  let erro lin col msg =
24      let mensagem = sprintf "%d-%d: %s" lin col msg in
25      failwith mensagem
26  }
27
28  let digito = ['0' - '9']
29  let inteiro = digito+
30  let real = digito+ '.' digito+
31
32  let letra = ['a' - 'z' 'A' - 'Z']
33  let identificador = ('_' | letra) ( letra | digito | '_' ) *
34
35  let brancos = [' ' '\t']+
36  let novalinha = '\r' | '\n' | "\r\n"
37
38  let comentario = "//" [^ '\r' '\n' ] *
39
40  rule read = parse
41      brancos      { read lexbuf }
42  | novalinha     { incr_num_linha lexbuf; read lexbuf }
43  | comentario    { read lexbuf }
44  | "/" *         { comentario_bloco 0 lexbuf }
45  | '('           { APAR (pos_atual lexbuf) }
46  | '+'           { MAIS (pos_atual lexbuf) }
47  | '-'           { MENOS (pos_atual lexbuf) }
48  | '/'           { DIV (pos_atual lexbuf) }
49  | '*'           { MULTI (pos_atual lexbuf) }
50  | '%'           { RESTO (pos_atual lexbuf) }
51  | '^'           { POTEN (pos_atual lexbuf) }
52  | ':'           { DEF (pos_atual lexbuf) }
53  | ')'           { FPAR (pos_atual lexbuf) }

```

```

54 | "<-"      { ATRIB (pos_atual lexbuf) }
55 | "var"     { VAR (pos_atual lexbuf) }
56 | "="      { EQUALS (pos_atual lexbuf) }
57 | "<>"     { DIFER (pos_atual lexbuf) }
58 | ">="     { GTE (pos_atual lexbuf) }
59 | "<="     { LTE (pos_atual lexbuf) }
60 | ">"      { GT (pos_atual lexbuf) }
61 | "<"      { LT (pos_atual lexbuf) }
62 | ','      { VIRG (pos_atual lexbuf) }
63 | real as num { let numero = float_of_string num in
64 |               LITREAL (numero, pos_atual lexbuf) }
65 | inteiro as num { let numero = int_of_string num in
66 |               LITINT (numero, pos_atual lexbuf) }
67 | "e"       { AND (pos_atual lexbuf) }
68 | "E"       { AND (pos_atual lexbuf) }
69 | "ou"      { OR (pos_atual lexbuf) }
70 | "OU"      { OR (pos_atual lexbuf) }
71 | "se"      { IF (pos_atual lexbuf) }
72 | "ent o"   { ENTAO (pos_atual lexbuf) }
73 | "sen o"   { ELSE (pos_atual lexbuf) }
74 | "fim_se"  { FIF (pos_atual lexbuf) }
75 | "in cio"  { INI (pos_atual lexbuf) }
76 | "fa a"    { DO (pos_atual lexbuf) }
77 | "fim_para" { FFOR (pos_atual lexbuf) }
78 | "para"    { FOR (pos_atual lexbuf) }
79 | "de"      { BEGIN (pos_atual lexbuf) }
80 | "at "     { END (pos_atual lexbuf) }
81 | "fim_enquanto" { FWHILE (pos_atual lexbuf) }
82 | "enquanto" { WHILE (pos_atual lexbuf) }
83 | "escolha" { SWITCH (pos_atual lexbuf) }
84 | "fim_escolha" { FSWITCH (pos_atual lexbuf) }
85 | "caso"    { CASE (pos_atual lexbuf) }
86 | "outrocaso" { CASE_DEFAULT (pos_atual lexbuf) }
87 | "algoritmo" { PROGRAMA (pos_atual lexbuf) }
88 | "fim_algoritmo" { FPROGRAMA (pos_atual lexbuf) }
89 | "escreva" { SAIDA (pos_atual lexbuf) }
90 | "escreval" { SAIDA_LINHA (pos_atual lexbuf) }
91 | "leia"    { ENTRADA (pos_atual lexbuf) }
92 | "fim_fun o" { FFUNCTION (pos_atual lexbuf) }
93 | "retorne" { RETURN (pos_atual lexbuf) }
94 | "fun o"   { FUNCTION (pos_atual lexbuf) }
95 | "inteiro" { INTEGER (pos_atual lexbuf) }
96 | "real"    { REAL (pos_atual lexbuf) }
97 | "caractere" { CARACTER (pos_atual lexbuf) }
98 | "l gico"  { BOOL (pos_atual lexbuf) }
99 | "verdadeiro" { LITBOOL(true, pos_atual lexbuf) }
100 | "falso"   { LITBOOL(false, pos_atual lexbuf) }

```

```

101 | identificador as id { ID (id, pos_atual lexbuf) }
102 | """_""" as s { let c = String.get s 1 in LITCHAR (c, pos_atual lexbuf )
    | }
103 | """ { let pos = lexbuf.lex_curr_p in
104 |         let lin = pos.pos_lnum
105 |         and col = pos.pos_cnum - pos.pos_bol - 1 in
106 |         let buffer = Buffer.create 1 in
107 |         let str = leia_string lin col buffer lexbuf in
108 |         LITSTRING (str, pos_atual lexbuf) }
109 | _ as c { failwith (msg_erro lexbuf c) }
110 | eof { EOF }
111
112 and comentario_bloco n = parse
113     "*/" { if n=0 then read lexbuf
114             else comentario_bloco (n-1) lexbuf }
115 | "/*" { comentario_bloco (n+1) lexbuf }
116 | novalinha { incr_num_linha lexbuf; comentario_bloco n lexbuf }
117 | - { comentario_bloco n lexbuf }
118 | eof { let pos = lexbuf.lex_curr_p in
119 |         let lin = pos.pos_lnum
120 |         and col = pos.pos_cnum - pos.pos_bol in
121 |         erro lin col "Comentario nao fechado" }
122
123 and leia_string lin col buffer = parse
124     "" { Buffer.contents buffer}
125 | "\\t" { Buffer.add_char buffer '\t'; leia_string lin col buffer lexbuf
    | }
126 | "\\n" { Buffer.add_char buffer '\n'; leia_string lin col buffer lexbuf
    | }
127 | '\\ '"" { Buffer.add_char buffer ' '; leia_string lin col buffer lexbuf
    | }
128 | '\\ '\\' { Buffer.add_char buffer '\\'; leia_string lin col buffer
    | lexbuf }
129 | _ as c { Buffer.add_char buffer c; leia_string lin col buffer lexbuf }
130 | eof { erro lin col "A string nao foi fechada"}

```

0.5.2 Execução

Para execução utilize o seguinte código do carregador.ml

```

1     #load "lexico.cmo";;
2
3 let rec tokens lexbuf =
4     let tok = Lexico.token lexbuf in
5     match tok with
6     | Lexico.EOF -> [Lexico.EOF]
7     | _ -> tok :: tokens lexbuf

```

```

8  ;;
9
10 let lexico str =
11   let lexbuf = Lexing.from_string str in
12   tokens lexbuf
13 ;;
14
15 let lex arq =
16   let ic = open_in arq in
17   let lexbuf = Lexing.from_channel ic in
18   let toks = tokens lexbuf in
19   let _ = close_in ic in
20   toks

```

1. Execute o parse com ocamllex

```
1          ocamllex lexico.mll
```

2. Compile o arquivo .ml gerado pelo parse

```
1          ocamlc -c lexico.ml
```

3. Entre no interpretador do ocaml

```
1          rlwrap ocaml
```

4. No interpretador carregue o carregador.ml

```
1          #use "carregador.ml";;
```

5. Execute para o seu arquivo passando o caminho para o mesmo

```
1          lex "../exemplos/Portugol/nano/nano12.alg";;
```

6. Após a execução você terá uma saída como a abaixo, onde temos os tokens do nosso código de entrada

```

1          lex "../exemplos/Portugol/nano/nano12.alg";;
2  - : Lexico.tokens list =
3  [Lexico.PROGRAMA; Lexico.LITSTRING "nano12"; Lexico.VAR; Lexico.ID "n
4  ";
5  Lexico.VIRG; Lexico.ID "m"; Lexico.VIRG; Lexico.ID "x"; Lexico.DEF;
6  Lexico.INTEGER; Lexico.INI; Lexico.ID "n"; Lexico.ATRIB; Lexico.
7  LITINT 1;
8  Lexico.ID "m"; Lexico.ATRIB; Lexico.LITINT 2; Lexico.ID "x"; Lexico.
9  ATRIB;
10 Lexico.LITINT 5; Lexico.WHILE; Lexico.ID "x"; Lexico.GT; Lexico.ID "n
11 ";
12 Lexico.DO; Lexico.IF; Lexico.ID "n"; Lexico.EQUALS; Lexico.ID "m";

```

```

9   Lexico.OR; Lexico.ID "n"; Lexico.GTE; Lexico.LITINT 0; Lexico.ENTAO;
10  Lexico.ID "escreva"; Lexico.APAR; Lexico.ID "n"; Lexico.FPAR; Lexico.
    ELSE;
11  Lexico.ID "escreva"; Lexico.APAR; Lexico.LITINT 0; Lexico.FPAR;
    Lexico.FIF;
12  Lexico.ID "x"; Lexico.ATRIB; Lexico.ID "x"; Lexico.MENOS; Lexico.
    LITINT 1;
13  Lexico.ID "fim_enquanto"; Lexico.FPROGRAMA; Lexico.EOF]

```

0.6 Analisador Sintático

É a análise realizada pelo compilador para identificar se o código pertence a linguagem.

0.6.1 Preparando o Ambiente

Antes de iniciarmos lembre-se de utilizar o `lexico.mll` atualizado que se encontrar na seção acima. Precisamos agora instalar o `menhir` que é quem irá gerar o analisador sintático LR(1) para a gramática que iremos criar. Para isso utilize

```
1   opam install menhir
```

Agora com o `menhir` instalado crie um arquivo `.ocamlinit` com o seguinte conteúdo

```

1  let () =
2    try Topdirs.dir_directory (Sys.getenv "OCAMLTOPLEVELPATH")
3    with Not_found -> ()
4  ;;
5
6  #use "topfind";;
7  #require "menhirLib";;
8  #directory "_build";;
9  #load "erroSint.cmo";;
10 #load "sintatico.cmo";;
11 #load "lexico.cmo";;
12 #load "ast.cmo";;
13 #load "sast.cmo";;
14 #load "tast.cmo";;
15 #load "tabsimb.cmo";;
16 #load "ambiente.cmo";;
17 #load "semantico.cmo";;
18 #load "semanticoTest.cmo";;
19
20 open Ast
21 open Ambiente
22 open SemanticoTest

```


0.6.2 Árvore Sintática Abstrata

Crie o arquivo ast.ml

```
1 (* The type of the abstract syntax tree (AST). *)
2 open Lexing
3
4 type ident = string
5 type 'a pos = 'a * Lexing.position (* tipo e posi o no arquivo fonte *)
6
7 type 'expr programa = Programa of (ident pos * tipo) list * ('expr funcoes)
8   * ('expr comandos)
9
10 and declaracoes = declaracao list
11 and 'expr funcoes = ('expr funcao) list
12 and 'expr comandos = ('expr comando) list
13 and declaracao = DecVar of (ident pos) * tipo
14 and 'expr expressoes = 'expr list
15
16 and tipo = TipoInt
17   | TipoString
18   | TipoReal
19   | TipoBool
20   | TipoVoid
21
22 and 'expr comando = CmdAtrib of variavel * 'expr
23   | CmdSe of 'expr * ('expr comandos) * ('expr comandos option)
24   | CmdEnquanto of 'expr * ('expr comandos)
25   | CmdReturn of 'expr
26   | CmdEntrada of ('expr expressoes)
27   | CmdChamada of 'expr
28   | CmdSaida of ('expr expressoes)
29   | CmdSaidaLine of ('expr expressoes)
30   | CmdFor of variavel * 'expr * 'expr * ('expr comandos)
31   | CmdSwitch of variavel * ('expr cases) * ('expr caseDefault
32     option)
33
34 and 'expr cases = ('expr case) list
35 and 'expr case = CmdCase of 'expr * ('expr comandos)
36 and 'expr caseDefault = CmdCaseDefault of ('expr comandos)
37
38 and variaveis = variavel list
39 and variavel = VarSimples of ident pos
40
41 and 'expr funcao = Funcao of ('expr decFuncao)
42
43 and 'expr decFuncao = {
44   fn_nome:          ident pos;
45   fn_nome_fecha:    ident pos;
```

```

43   fn_tiporet:      tipo;
44   fn_formais:      (ident pos * tipo) list;
45   fn_locais:       (ident pos * tipo) list;
46   fn_corpo:        'expr comandos
47 }
48
49 and oper = Mais
50         | Menos
51         | Mult
52         | Div
53         | Resto
54         | Potencia
55         | Menor
56         | Igual
57         | Difer
58         | Maior
59         | MaioIgual
60         | MenorIgual
61         | E
62         | Ou
63         | Concat

```

Cria mais um arquivo chamado sast.ml

```

1  open Ast
2
3  type expressao = ExpVar of variavel
4                | ExpInt of int pos
5                | ExpString of string pos
6                | ExpChar of char pos
7                | ExpBool of bool pos
8                | ExpReal of float pos
9                | ExpFuncao of ident pos * (expressao expressoes)
10               | ExpOp of oper pos * expressao * expressao

```

Cria mais um arquivo chamado tast.ml

```

1  open Ast
2
3  type expressao = ExpVar of variavel * tipo
4                | ExpInt of int * tipo
5                | ExpString of string * tipo
6                | ExpChar of char * tipo
7                | ExpBool of bool * tipo
8                | ExpReal of float * tipo
9                | ExpFuncao of ident * (expressao expressoes) * tipo
10               | ExpOp of (oper * tipo) * (expressao * tipo) * (expressao *
                tipo)

```

0.6.3 Gramática

Crie o arquivo sintatico.mly com o seguinte conteúdo

```
1  %{
2  open Lexing
3  open Ast
4  open Sast
5  %}
6
7  %token <int * Lexing.position> LITINT
8  %token <string * Lexing.position> LITSTRING
9  %token <char * Lexing.position> LITCHAR
10 %token <string * Lexing.position> ID
11 %token <bool * Lexing.position> LITBOOL
12 %token <float * Lexing.position> LITREAL
13 %token <Lexing.position> FUNCTION FFUNCTION
14 %token <Lexing.position> PROGRAMA FPROGRAMA INI
15 %token <Lexing.position> MAIS MENOS MULTI DIV
16 %token <Lexing.position> INTEGER CHARACTER REAL VAR BOOL
17 %token <Lexing.position> APAR FPAR
18 %token <Lexing.position> ATRIB
19 %token <Lexing.position> IF
20 %token <Lexing.position> ELSE
21 %token <Lexing.position> EQUALS DIFER GTE GT LTE LT POTEN RESTO
22 %token <Lexing.position> VIRG
23 %token <Lexing.position> AND OR
24 %token <Lexing.position> DEF
25 %token <Lexing.position> SAIDA ENTRADA SAIDA.LINHA
26 %token <Lexing.position> WHILE FWHILE FOR FFOR SWITCH FSWITCH CASE
    CASE.DEFAULT RETURN
27 %token <Lexing.position> DO
28 %token <Lexing.position> FIF
29 %token <Lexing.position> ENTAO BEGIN END
30 %token EOF
31
32 %left OR AND
33 %left EQUALS DIFER
34 %left LT LTE GT GTE
35 %right POTEN
36 %left MAIS MENOS RESTO
37 %left MULTI DIV
38
39
40 %start <Sast.expressao Ast.programa> prog
41
42 %%
43
```

```

44 prog:
45     | PROGRAMA LITSTRING
46         ds = declaracao
47     | INI
48         cs = comando*
49     | FPROGRAMA
50         dFunctions = decFunctions*
51     | EOF {
52         Programa (List.flatten ds, dFunctions, cs) }
53     ;
54
55 declaracao:
56     | VAR
57         v=variaveis* { v }
58     | { [] }
59     ;
60
61 variaveis:
62     | ids=separated_nonempty_list(VIRG, ID) DEF t=tipo {
63         List.map (fun id -> (id,t)) ids
64     }
65
66 tipo:
67     | INTEGER    { TipoInt }
68     | REAL       { TipoReal }
69     | CHARACTER  { TipoString }
70     | BOOL       { TipoBool }
71     ;
72
73 comando: c=comando_atribuicao { c }
74         | c=comando_se        { c }
75         | c=comando_entrada    { c }
76         | c=comando_saida      { c }
77         | c=comando_saida_l    { c }
78         | c=comando_enquanto   { c }
79         | c=comando_for         { c }
80         | c=comando_switch     { c }
81         | c=comando_return     { c }
82         | c=comando_chamada     { c }
83     ;
84
85 comando_return: RETURN e=expressao {
86     CmdReturn (e)
87 }
88
89 comando_chamada: exp=chamada { CmdChamada(exp) }
90

```

```

91 comando_atribuicao: v=variavel ATRIB e=expressao {
92     CmdAtrib (v,e)
93 }
94
95 comando_se: IF teste=expressao ENTAO
96     entao=comando+
97     senao=option(ELSE cs=comando+ {cs})
98     FIF {
99         CmdSe (teste , entao , senao)
100     }
101
102 comando_entrada: ENTRADA APAR xs=separated_nonempty_list(VIRG, expressao)
103     FPAR {
104         CmdEntrada xs
105     }
106 comando_saida: SAIDA APAR xs=separated_nonempty_list(VIRG, expressao) FPAR
107     {
108         CmdSaida xs
109     }
110 comando_saida_l: SAIDA LINHA APAR xs=separated_nonempty_list(VIRG,
111     expressao) FPAR {
112         CmdSaidaLine xs
113     }
114 comando_enquanto: WHILE teste=expressao DO
115     entao=comando+
116     FWHILE {
117         CmdEnquanto( teste , entao )
118     }
119
120 comando_for: FOR v=variavel BEGIN l=expressao END r=expressao DO
121     c=comando+
122     FFOR {
123         CmdFor(v, l , r , c)
124     }
125
126 comando_switch: SWITCH v=variavel
127     c=caso+
128     d=option(default)
129     FSWITCH {
130         CmdSwitch(v, c , d)
131     }
132
133 caso: CASE e=expressao
134     c=comando+ {

```

```

135         CmdCase(e, c)
136     }
137
138 default: CASE_DEFAULT
139     c=comando+ {
140         CmdCaseDefault(c)
141     }
142
143 decFunctions: FUNCTION a=ID APAR args=variaveis* FPAR DEF t=tipo
144             variables=declaracao
145             INI
146             corpo=comando*
147             FFUNCTION b=ID {
148                 Funcao {
149                     fn_nome =      a;
150                     fn_nome_fecha = b;
151                     fn_tiporet =    t;
152                     fn_formais =    List.flatten args;
153                     fn_locais =     List.flatten variables;
154                     fn_corpo =      corpo
155                 }
156             }
157
158 chamada: i=ID APAR xs=separated_nonempty_list(VIRG, expressao) FPAR {
159     ExpFuncao(i, xs)
160 }
161
162 expressao:
163     | c=chamada      { c }
164     | v=variavel     { ExpVar v }
165     | i=LITINT       { ExpInt i }
166     | s=LITSTRING    { ExpString s }
167     | c=LITCHAR      { ExpChar c }
168     | b=LITBOOL      { ExpBool b }
169     | r=LITREAL      { ExpReal r }
170     | e1=expressao op=oper e2=expressao { ExpOp (op, e1, e2) }
171     | APAR e=expressao FPAR { e }
172
173 %inline oper:
174     | pos = MAIS { (Mais, pos) }
175     | pos = MENOS { (Menos, pos) }
176     | pos = MULTI { (Mult, pos) }
177     | pos = DIV { (Div, pos) }
178     | pos = RESTO { (Resto, pos) }
179     | pos = POTEN { (Potencia, pos) }
180     | pos = LT { (Menor, pos) }
181     | pos = GT { (Maior, pos) }

```

```

182 | pos = LTE { (MenorIgual, pos) }
183 | pos = GTE { (MaiorIgual, pos) }
184 | pos = EQUALS { (Igual, pos) }
185 | pos = DIFER { (Difer, pos) }
186 | pos = AND { (E, pos) }
187 | pos = OR { (Ou, pos) }
188
189
190 variavel:
191 | x=ID { VarSimples x }

```

0.6.4 Execução

Para execução e detecção de erros cria o arquivo sintaticoTest.ml com o seguinte conteúdo.

```

1 open Printf
2 open Lexing
3
4 open Ast
5 exception Erro_Sintatico of string
6
7 module S = MenhirLib.General (* Streams *)
8 module I = Sintatico.MenhirInterpreter
9
10 open ErroSint
11
12 let posicao lexbuf =
13   let pos = lexbuf.lex_curr_p in
14   let lin = pos.pos_lnum
15   and col = pos.pos_cnum - pos.pos_bol - 1 in
16   sprintf "linha %d, coluna %d" lin col
17
18 (* [pilha checkpoint] extrai a pilha do aut mato LR(1) contida em
   checkpoint *)
19
20 let pilha_checkpoint =
21   match checkpoint with
22   | I.HandlingError amb -> I.stack amb
23   | _ -> assert false (* Isso n o pode acontecer *)
24
25 let estado_checkpoint : int =
26   match Lazy.force (pilha_checkpoint) with
27   | S.Nil -> (* O parser est no estado inicial *)
28     0
29   | S.Cons (I.Element (s, -, -, -), _) ->
30     I.number s
31

```

```

32 let sucesso v = v
33
34 let falha lexbuf (checkpoint : Ast.programa I.checkpoint) =
35   let estado_atual = estado checkpoint in
36   let msg = message estado_atual in
37   raise (Erro_Sintatico (Printf.sprintf "%d - %s.\n"
38                                     (Lexing.lexeme_start lexbuf) msg))
39
40 let loop lexbuf resultado =
41   let fornecedor = I.lexer_lexbuf_to_supplier Lexico.read lexbuf in
42   I.loop_handle sucesso (falha lexbuf) fornecedor resultado
43
44
45
46 let parse_com_erro lexbuf =
47   try
48     Some (loop lexbuf (Sintatico.Incremental.prog lexbuf.lex_curr_p))
49   with
50   | Lexico.Erro msg ->
51     printf "Erro lexico na %s:\n\t%s\n" (posicao lexbuf) msg;
52     None
53   | Erro_Sintatico msg ->
54     printf "Erro sint tico na %s %s\n" (posicao lexbuf) msg;
55     None
56
57 let parse s =
58   let lexbuf = Lexing.from_string s in
59   let ast = parse_com_erro lexbuf in
60   ast
61
62 let parse_arq nome =
63   let ic = open_in nome in
64   let lexbuf = Lexing.from_channel ic in
65   let ast = parse_com_erro lexbuf in
66   let _ = close_in ic in
67   ast
68
69 let rec tokens lexbuf =
70   let tok = Lexico.read lexbuf in
71   match tok with
72   | Sintatico.EOF -> [Sintatico.EOF]
73   | _ -> tok :: tokens lexbuf
74
75 let lexicoArq arq =
76   let ic = open_in arq in
77   let lexbuf = Lexing.from_channel ic in
78   let toks = tokens lexbuf in

```



```
79   let _ = close_in ic in
80   toks
```

0.6.5 Compilando

Para compilarmos o compilador, utilizei os comandos fornecidos pelo professor, são eles:

```
1  menhir -v --list-errors sintatico.mly > sintatico.msg
2
3  menhir sintatico.mly --compile-errors sintatico.msg >
4  erroSint.ml
5
6  ocamlbuild -use-ocamlfind -use-menhir -menhir "menhir --
7  table" -package menhirLib sintaticoTest.byte
```

Após isto utilize `rlwrap ocaml` na pasta do projeto onde se encontra o `.ocamlinit` para ter acesso ou código do compilador. No `ocaml` utilize `parse_arq 'caminho para um arquivo'` para gerar a árvore sintática

0.7 Analisador Semântico

Agora faremos o analisador semântico, responsável pela verificação de tipos da linguagem.

Criaremos os arquivos necessários para implementar o ambiente.

Crie um arquivo com o nome `tabsimb.ml`

```
1
2  type 'a tabela = {
3      tbl: (string, 'a) Hashtbl.t;
4      pai: 'a tabela option;
5  }
6
7  exception Entrada_existente of string;;
8
9  let insere amb ch v =
10     if Hashtbl.mem amb.tbl ch
11     then raise (Entrada_existente ch)
12     else Hashtbl.add amb.tbl ch v
13
14  let substitui amb ch v = Hashtbl.replace amb.tbl ch v
15
16  let rec atualiza amb ch v =
17     if Hashtbl.mem amb.tbl ch
18     then Hashtbl.replace amb.tbl ch v
19     else match amb.pai with
20         None -> failwith "tabsim atualiza: chave nao encontrada"
21         | Some a -> atualiza a ch v
```

```

22
23 let rec busca amb ch =
24   try Hashtbl.find amb.tbl ch
25   with Not_found ->
26     (match amb.pai with
27      None -> raise Not_found
28      | Some a -> busca a ch)
29
30 let rec cria cvs =
31   let amb = {
32     tbl = Hashtbl.create 5;
33     pai = None
34   } in
35   let _ = List.iter (fun (c,v) -> insere amb c v) cvs
36   in amb
37
38 let novo_escopo amb_pai = {
39   tbl = Hashtbl.create 5;
40   pai = Some amb_pai
41 }

```

E crie o tabsimb.mli

```

1
2 type 'a tabela
3
4 exception Entrada_existente of string
5
6 val insere : 'a tabela -> string -> 'a -> unit
7 val substitui : 'a tabela -> string -> 'a -> unit
8 val atualiza : 'a tabela -> string -> 'a -> unit
9 val busca : 'a tabela -> string -> 'a
10 val cria : (string * 'a) list -> 'a tabela
11
12 val novo_escopo : 'a tabela -> 'a tabela

```

Criando o ambiente agora. Crie ambiente.ml

```

1 module Tab = Tabsimb
2 module A = Ast
3
4 type entrada_fn = { tipo_fn: A.tipo;
5                      formais: (string * A.tipo) list;
6 }
7
8 type entrada = EntFun of entrada_fn
9               | EntVar of A.tipo
10
11 type t = {
12   ambv : entrada Tab.tabela

```

```

13 }
14
15 let novo_amb xs = { ambv = Tab.cria xs }
16
17 let novo_escopo amb = { ambv = Tab.novo_escopo amb.ambv }
18
19 let busca amb ch = Tab.busca amb.ambv ch
20
21 let insere_local amb ch t =
22   Tab.insere amb.ambv ch (EntVar t)
23
24 let insere_param amb ch t =
25   Tab.insere amb.ambv ch (EntVar t)
26
27 let insere_fun amb nome params resultado =
28   let ef = EntFun { tipo_fn = resultado;
29                     formais = params }
30   in Tab.insere amb.ambv nome ef

```

Agora o ambiente.mli

```

1 type entrada_fn = { tipo_fn: Ast.tipo;
2                     formais: (string * Ast.tipo) list;
3                     (* locais: (string * Asabs.tipo) list *)
4 }
5
6 type entrada = EntFun of entrada_fn
7               | EntVar of Ast.tipo
8
9 type t
10
11 val novo_amb : (string * entrada) list -> t
12 val novo_escopo : t -> t
13 val busca: t -> string -> entrada
14 val insere_local : t -> string -> Ast.tipo -> unit
15 val insere_param : t -> string -> Ast.tipo -> unit
16 val insere_fun : t -> string -> (string * Ast.tipo) list -> Ast.tipo ->
    unit

```

Agora implementaremos o analisador semântico.

Crie o semantico.ml

```

1 module Amb = Ambiente
2 module A = Ast
3 module S = Sast
4 module T = Tast
5
6 let rec posicao_var var = let open A in
7   match var with

```

```

8      | VarSimples (_, pos) -> pos
9
10
11 let rec posicao exp = let open S in
12     match exp with
13     | ExpVar v -> (match v with
14         | A.VarSimples (_, pos) -> pos
15         )
16     | ExpInt (_, pos) -> pos
17     | ExpString (_, pos) -> pos
18     | ExpChar (_, pos) -> pos
19     (* | ExpNegativo (_, (_, pos)) -> pos *)
20     | ExpBool (_, pos) -> pos
21     | ExpReal (_, pos) -> pos
22     | ExpOp ((_, pos), -, -) -> pos
23     | ExpFuncao ((_, pos), _) -> pos
24
25 type classe_op = Aritmetico | Relacional | Logico | Cadeia
26
27 let classifica op =
28     let open A in
29     match op with
30     | Mais
31     | Menos
32     | Mult
33     | Div
34     | Resto
35     | Potencia -> Aritmetico
36     | Menor
37     | Igual
38     | Difer
39     | Maior
40     | MaiorIgual
41     | MenorIgual -> Relacional
42     | E
43     | Ou -> Logico
44     | Concat -> Cadeia
45
46 let msg_erro_pos pos msg =
47     let open Lexing in
48     let lin = pos.pos_lnum
49     and col = pos.pos_cnum - pos.pos_bol - 1 in
50     Printf.sprintf "Semantico -> linha %d, coluna %d: %s" lin col msg
51
52 let msg_erro nome msg =
53     let pos = snd nome in
54     msg_erro_pos pos msg

```

```

55
56 let nome_tipo t =
57     let open A in
58         match t with
59             TipoInt -> "inteiro"
60         | TipoString -> "string"
61         | TipoBool -> "bool"
62         | TipoVoid -> "void"
63         | TipoReal -> "real"
64
65 let mesmo_tipo pos msg tinf tdec =
66     if tinf <> tdec
67     then
68         let msg = Printf.sprintf msg (nome_tipo tinf) (nome_tipo tdec) in
69         failwith (msg_erro_pos pos msg)
70
71 let busca_por_id nome amb id =
72     (try (match (Amb.busca amb id) with
73         | Amb.EntVar tipo -> (T.ExpVar (A.VarSimples nome, tipo),
74             tipo)
75         | Amb.EntFun _ ->
76             let msg = "nome de funcao usado como nome de variavel: " ^
77                 id in
78             failwith (msg_erro nome msg)
79         )
80     with Not_found ->
81         let msg = "A variavel " ^ id ^ " nao foi declarada" in
82         failwith (msg_erro nome msg)
83     )
84
85 let busca_variavel_por_id nome amb id =
86     (try (match (Amb.busca amb id) with
87         | Amb.EntVar tipo -> (A.VarSimples nome, tipo)
88         | Amb.EntFun _ ->
89             let msg = "nome de funcao usado como nome de variavel: " ^
90                 id in
91             failwith (msg_erro nome msg)
92         )
93     with Not_found ->
94         let msg = "A variavel " ^ id ^ " nao foi declarada" in
95         failwith (msg_erro nome msg)
96     )
97
98 let rec infere_exp amb exp =
99     match exp with
100     | S.ExpInt n -> (T.ExpInt (fst n, A.TipoInt), A.TipoInt)
101     | S.ExpString s -> (T.ExpString (fst s, A.TipoString), A.TipoString)

```

```

99 | S.ExpChar s -> (T.ExpChar (fst s, A.TipoString), A.TipoString)
100 | S.ExpBool b -> (T.ExpBool (fst b, A.TipoBool), A.TipoBool)
101 | S.ExpReal b -> (T.ExpReal (fst b, A.TipoReal), A.TipoReal)
102 | S.ExpVar v ->
103   (match v with
104     A.VarSimples nome ->
105       (* Tenta encontrar a definição da variável no escopo local, se
106         não *)
107       (* encontrar tenta novamente no escopo que engloba o atual. Prossegue
108         -se *)
109       (* assim até encontrar a definição em algum escopo englobante ou
110         até *)
111       (* encontrar o escopo global. Se em algum lugar for encontrado,
112         *)
113       (* devolve-se a definição. Em caso contrário, devolve uma
114         exceção *)
115       let id = fst nome in busca_por_id nome amb id
116     )
117 | S.ExpOp (op, esq, dir) ->
118   let (esq, tesq) = infere_exp amb esq
119   and (dir, tdir) = infere_exp amb dir in
120
121   let verifica_aritmetico () =
122     (match tesq with
123       A.TipoInt
124     | A.TipoReal ->
125       let _ = mesmo_tipo (snd op)
126       "O operando esquerdo eh do tipo %s mas o direito eh
127         do tipo %s"
128         tesq tdir
129       in tesq (* O tipo da expressão aritmética como um todo *)
130     | t -> let msg = "um operador aritmetico nao pode ser usado com o
131       tipo " ^
132         (nome_tipo t)
133       in failwith (msg_erro_pos (snd op) msg)
134     )
135
136   and verifica_relacional () =
137     (match tesq with
138       A.TipoInt
139     | A.TipoReal
140     | A.TipoString ->
141       let _ = mesmo_tipo (snd op)
142       "O operando esquerdo eh do tipo %s mas o direito eh do
143         tipo %s"
144         tesq tdir
145       in A.TipoBool (* O tipo da expressão relacional sempre

```

```

        booleano *)
138
139     | t -> let msg = "um operador relacional nao pode ser usado com o
        tipo " ^
140                (nome_tipo t)
141     in failwith (msg_erro_pos (snd op) msg)
142 )
143
144 and verifica_logico () =
145     (match tesq with
146     A.TipoBool ->
147         let _ = mesmo_tipo (snd op)
148             "O operando esquerdo eh do tipo %s mas o direito eh do
        tipo %s"
149             tesq tdir
150     in A.TipoBool (* O tipo da express o l gica     sempre booleano
        *)
151
152     | t -> let msg = "um operador logico nao pode ser usado com o tipo "
        ^
153                (nome_tipo t)
154     in failwith (msg_erro_pos (snd op) msg)
155 )
156 and verifica_cadeia () =
157     (match tesq with
158     A.TipoString ->
159         let _ = mesmo_tipo (snd op)
160             "O operando esquerdo eh do tipo %s mas o direito eh do
        tipo %s"
161             tesq tdir
162     in A.TipoString (* O tipo da express o relacional     sempre
        string *)
163
164     | t -> let msg = "um operador relacional nao pode ser usado com o
        tipo " ^
165                (nome_tipo t)
166     in failwith (msg_erro_pos (snd op) msg)
167 )
168
169 in
170 let op = fst op in
171 let tinf = (match (classifica op) with
172     Aritmetico -> verifica_aritmetico ()
173     | Relacional -> verifica_relacional ()
174     | Logico -> verifica_logico ()
175     | Cadeia -> verifica_cadeia ()
176 )

```

```

177     in
178         (T.ExpOp ((op, tinf), (esq, tesq), (dir, tdir)), tinf)
179
180 | S.ExpFuncao (nome, args) ->
181     let rec verifica_parametros ags ps fs =
182         match (ags, ps, fs) with
183         (a::ags), (p::ps), (f::fs) ->
184             let _ = mesmo_tipo (posicao a)
185                 "O parametro eh do tipo %s mas deveria ser do tipo %s"
186                 p f
187             in verifica_parametros ags ps fs
188         | [], [], [] -> ()
189         | _ -> failwith (msg_erro nome "Numero incorreto de parametros")
190
191 in
192 let id = fst nome in
193 try
194     begin
195         let open Amb in
196
197         match (Amb.busca amb id) with
198         (* verifica se 'nome' est associada a uma funcao *)
199         Amb.EntFun {tipo_fn; formais} ->
200             (* Infere o tipo de cada um dos argumentos *)
201             let argst = List.map (infere_exp amb) args
202             (* Obtem o tipo de cada parametro formal *)
203             and tipos_formais = List.map snd formais in
204             (* Verifica se o tipo de cada argumento confere com o tipo
205                declarado *)
206             (* do parametro formal correspondente. *)
207             let _ = verifica_parametros args (List.map snd argst)
208                 tipos_formais
209             in (T.ExpFuncao (id, (List.map fst argst), tipo_fn), tipo_fn)
210         | Amb.EntVar _ -> (* Se estiver associada a uma variavel, falhe *)
211             let msg = id ^ " eh uma variavel e nao uma funcao" in
212             failwith (msg_erro nome msg)
213
214     end
215 with Not_found ->
216     let msg = "Nao existe a funcao de nome " ^ id in
217     failwith (msg_erro nome msg)
218
219 let rec verifica_cmd amb tiporet cmd =
220     let open A in
221     match cmd with
222     CmdReturn exp ->
223         let (e1, tinf) = infere_exp amb exp in

```



```

219         let _ = mesmo_tipo (posicao exp)
220             "O tipo retornado eh %s mas foi declarado
                como %s"
221             tinf tiporet
222         in CmdReturn (e1)
223 | CmdSe (teste, entao, senao) ->
224     let (teste1, tinf) = infere_exp amb teste in
225     (* O tipo inferido para a express o 'teste' do condicional deve ser
        booleano *)
226     let _ = mesmo_tipo (posicao teste)
227         "O teste do if deveria ser do tipo %s e nao %s"
228         TipoBool tinf in
229     (* Verifica a validade de cada comando do bloco 'ent o' *)
230     let entao1 = List.map (verifica_cmd amb tiporet) entao in
231     (* Verifica a validade de cada comando do bloco 'sen o', se houver *)
232     let senao1 =
233         match senao with
234         None -> None
235         | Some bloco -> Some (List.map (verifica_cmd amb tiporet) bloco)
236     in
237     CmdSe (teste1, entao1, senao1)
238
239 | CmdAtrib (elem, exp) ->
240     (* Infere o tipo da express o no lado direito da atribui o *)
241     let (exp, tdir) = infere_exp amb exp
242     (* Faz o mesmo para o lado esquerdo *)
243     and (elem1, tesq) =
244     (
245         match elem with
246         A.VarSimples name -> let id = fst name
247             in busca_variavel_por_id name amb id
248         (* | _ -> failwith "O lado esquerdo de uma atribui o precisa
                ser uma variavel!" *)
249     ) in
250
251     (* Os dois tipos devem ser iguais *)
252     let _ = mesmo_tipo (posicao_var elem)
253         "Atribuicao com tipos diferentes: %s = %s" tesq tdir
254     in CmdAtrib (elem1, exp)
255
256 | CmdChamada exp ->
257     let (exp, tinf) = infere_exp amb exp in
258     CmdChamada exp
259
260 | CmdEntrada exps ->
261     (* Verifica o tipo de cada argumento da fun o 'entrada' *)
262     let exps = List.map (infere_exp amb) exps in

```

```

263 CmdEntrada (List.map fst exps)
264
265 | CmdSaida exps ->
266   (* Verifica o tipo de cada argumento da fun o 'saida' *)
267   let exps = List.map (infere_exp amb) exps in
268   CmdSaida (List.map fst exps)
269 | CmdSaidaLine exps ->
270   (* Verifica o tipo de cada argumento da fun o 'saida' *)
271   let exps = List.map (infere_exp amb) exps in
272   CmdSaidaLine (List.map fst exps)
273 | CmdFor( variavel, inicio, fim, comandos ) ->
274   let (variavell, tvar) =
275     (
276       match variavel with
277       A.VarSimples name -> let id = fst name
278         in busca_variavel_por_id name amb id
279       (* | - -> failwith "O lado esquerdo de uma atribui o precisa
280         ser uma variavel!" *)
280     ) in
281   let (inicio1, tinicio) = infere_exp amb inicio
282     and (fim1, tfim) = infere_exp amb fim in
283
284   let _ = mesmo_tipo (posicao inicio)
285     "A expressao de inicio e fim devem se do mesmo tipo e sao: %s
286     e %s" tinicio tfim
286   and _ = mesmo_tipo (posicao fim)
287     "A variavel deve ser do mesmo tipo das expressoes inicio e
288     fim mas sao: variavel=%s e expressoes=%s"
288     tvar tinicio in
289   (* Verifica a validade de cada comando do bloco *)
290   let comandos1 = List.map (verifica_cmd amb tiporet) comandos in
291   CmdFor (variavell, inicio1, fim1, comandos1)
292 | CmdSwitch ( variavel, cases, default ) ->
293   let (variavell, tvar) =
294     (
295       match variavel with
296       A.VarSimples name -> let id = fst name
297         in busca_variavel_por_id name amb id
298       (* | - -> failwith "O lado esquerdo de uma atribui o precisa
299         ser uma variavel!" *)
299     ) in
300   let gera_case exp cmds =
301     let (exp1, texp) = infere_exp amb exp
302     and comandos1 = List.map (verifica_cmd amb tiporet) cmds in
303     let _ = mesmo_tipo (posicao exp)
304       "A expressao do caso precisa ser igual ao tipo da
305       variavel do escolha %s %s"

```

```

305         tvar texp in
306         CmdCase(exp1, comandos1) in
307         let verifica_case case =
308             (match case with
309                 A.CmdCase (exp,cmds) -> gera_case exp cmds
310             ) in
311         let verifica_case_default case =
312             (
313                 match case with
314                     None -> None
315                     | Some A.CmdCaseDefault (cmds) -> Some (CmdCaseDefault(List.
316                         map (verifica_cmd amb tiporet) cmds))
317             )
318         in
319         let default1 = verifica_case_default default
320         in
321         let cases1 = List.map (verifica_case) cases in
322         CmdSwitch( variavel1, cases1, default1 )
323     | CmdEnquanto (teste, entao) ->
324         let (teste1, tinf) = infere_exp amb teste in
325         (* O tipo inferido para a express o 'teste' do condicional deve ser
326            booleano *)
327         let _ = mesmo_tipo (posicao teste)
328             "O teste do enquanto deveria ser do tipo %s e nao %s"
329             TipoBool tinf in
330         (* Verifica a validade de cada comando do bloco 'ent o' *)
331         let entao1 = List.map (verifica_cmd amb tiporet) entao in
332         CmdEnquanto (teste1, entao1)
333     (* | _ -> failwith "Comando n o implementado ainda!" *)
334 and verifica_fun amb ast =
335     let open A in
336     match ast with
337     | Funcao {fn_nome; fn_nome_fecha; fn_tiporet; fn_formais; fn_locais;
338         fn_corpo} ->
339         (* Estende o ambiente global, adicionando um ambiente local *)
340         let _ = if (fst fn_nome) <> (fst fn_nome_fecha)
341             then let msg = "nome de funcao deve ser utilizada no fechamento
342                 da funcao: " ^ (fst fn_nome) in
343                 failwith (msg_erro fn_nome msg) in
344         let ambfn = Amb.novo_escopo amb in
345         (* Insere os par metros no novo ambiente *)
346         let insere_parametro (v,t) = Amb.insere_param ambfn (fst v) t in
347         let _ = List.iter insere_parametro fn_formais in
348         (* Insere as vari veis locais no novo ambiente *)
349         let insere_local = function
350             (v,t) -> Amb.insere_local ambfn (fst v) t in

```

```

348     let _ = List.iter insere_local fn_locais in
349     (* Verifica cada comando presente no corpfn_formaiso da fun    o usando
        o novo ambiente *)
350     let corpo_tipado = List.map (verifica_cmd ambfn fn_tiporet) fn_corpo in
351     A.Funcao {fn_nome; fn_nome_fecha; fn_tiporet; fn_formais; fn_locais;
        fn_corpo = corpo_tipado}
352
353
354 let rec verifica_dup xs =
355     match xs with
356     [] -> []
357     | (nome,t)::xs ->
358         let id = fst nome in
359         if (List.for_all (fun (n,t) -> (fst n) <> id) xs)
360         then (id, t) :: verifica_dup xs
361         else let msg = "Parametro duplicado " ^ id in
362             failwith (msg_erro nome msg)
363
364 let insere_declaracao_var amb dec =
365     let open A in
366     match dec with
367     (nome, tipo) -> Amb.insere_local amb (fst nome) tipo
368
369 let insere_declaracao_fun amb dec =
370     let open A in
371     match dec with
372     Funcao {fn_nome; fn_tiporet; fn_formais; fn_corpo} ->
373         (* Verifica se n o h    par metros duplicados *)
374         let formais = verifica_dup fn_formais in
375         let nome = fst fn_nome in
376         Amb.insere_fun amb nome formais fn_tiporet
377
378
379 (* Lista de cabe alhos das fun    es pr    definidas *)
380 let fn_predefs = let open A in [
381     ("entrada", [("x", TipoInt); ("y", TipoInt)], TipoVoid);
382     ("saida",    [("x", TipoInt); ("y", TipoInt)], TipoVoid)
383 ]
384
385 (* insere as fun    es pr    definidas no ambiente global *)
386 let declara_predefinidas amb =
387     List.iter (fun (n,ps,tr) -> Amb.insere_fun amb n ps tr) fn_predefs
388
389 let semantico ast =
390     (* cria ambiente global inicialmente vazio *)
391     let amb_global = Amb.novo_amb [] in
392     let _ = declara_predefinidas amb_global in

```

```

393 let (A.Programa (decs_globais, decs_funs, corpo)) = ast in
394 let _ = List.iter (insere_declaracao_var amb_global) decs_globais in
395 let _ = List.iter (insere_declaracao_fun amb_global) decs_funs in
396 (* Verifica o de tipos nas fun es *)
397 let decs_funs = List.map (verifica_fun amb_global) decs_funs in
398 (* Verifica o de tipos na fun o principal *)
399 let corpo = List.map (verifica_cmd amb_global A.TipoVoid) corpo in
400 (A.Programa (decs_globais, decs_funs, corpo), amb_global)

```

E o semantico.mli

```

1 val semantico : (Sast.expressao Ast.programa) -> Tast.expressao Ast.
  programa * Ambiente.t

```

Para execução do semântico usamos o semanticoTest.ml

```

1 open Printf
2 open Lexing
3
4 open Ast
5 exception Erro_Sintatico of string
6
7 module S = MenhirLib.General (* Streams *)
8 module I = Sintatico.MenhirInterpreter
9
10 open ErroSint
11 open Semantico
12
13 (* let message =
14   fun s ->
15     match s with
16     | 0 ->
17       "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
18     | 1 ->
19       "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
20     | 34 ->
21       "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
22     | 35 ->
23       "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
24     | 36 ->
25       "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
26     | 72 ->
27       "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
28     | 47 ->
29       "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
30     | 48 ->
31       "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
32     | 49 ->
33       "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
34     | 51 ->

```

35 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
36 | 52 ->
37 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
38 | 55 ->
39 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
40 | 56 ->
41 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
42 | 57 ->
43 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
44 | 58 ->
45 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
46 | 61 ->
47 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
48 | 62 ->
49 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
50 | 63 ->
51 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
52 | 64 ->
53 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
54 | 73 ->
55 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
56 | 74 ->
57 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
58 | 95 ->
59 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
60 | 89 ->
61 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
62 | 97 ->
63 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
64 | 98 ->
65 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
66 | 99 ->
67 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
68 | 65 ->
69 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
70 | 66 ->
71 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
72 | 53 ->
73 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
74 | 67 ->
75 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
76 | 68 ->
77 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
78 | 59 ->
79 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
80 | 60 ->
81 " <YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"

```

82 | 42 ->
83 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
84 | 41 ->
85 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
86 | 70 ->
87 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
88 | 75 ->
89 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
90 | 77 ->
91 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
92 | 76 ->
93 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
94 | 105 ->
95 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
96 | 84 ->
97 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
98 | 43 ->
99 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
100 | 85 ->
101 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
102 | 86 ->
103 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
104 | 45 ->
105 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
106 | 46 ->
107 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
108 | 102 ->
109 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
110 | 103 ->
111 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
112 | 81 ->
113 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
114 | 3 ->
115 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
116 | 2 ->
117 |     "<YOUR SYNTAX ERROR MESSAGE HERE>\n"
118 | 6 ->
119 |     "estado 6: esperava um tipo. Exemplo:\n    x : inteiro;\n"
120 | 7 ->
121 |     "estado 7: esperava a definicao de um campo. Exemplo:\n    i:
        registro\n                parte_real: inteiro;\n                parte_imag:
        inteiro;\n                fim registro;\n    "
122 | 8 ->
123 |     "estado 8: esperava ':'. Exemplo:\n    x: inteiro;\n    "
124 | 9 ->
125 |     "estado 9: esperava um tipo. Exemplo:\n    x: inteiro;\n"
126 | 25 ->

```

```

127         "estado 25: esperva um ';' '.\n"
128     | 26 ->
129         "estado 26: uma declaracao foi encontrada. Para continuar era\n
            esperado uma outra declara\195\167\195\163o ou a palavra 'inicio
            '.\n"
130     | 29 ->
131         "estado 29: espera a palavra 'registro '. Exemplo:\n    i: registro\n
            parte_real: inteiro;\n                parte_imag: inteiro;\n
            fim registro;\n"
132     | 31 ->
133         "estado 31: esperava um ';' '. \n"
134     | 107 ->
135         "estado 107: uma declaracao foi encontrada. Para continuar era\n
            esperado uma outra declara\195\167\195\163o ou a palavra 'inicio
            '.\n"
136     | 13 ->
137         "estado 13: esperava um '[' '. Exemplo:\n    arranjo [1..10] de
            inteiro;\n"
138     | 14 ->
139         "estado 14: esperava os limites do vetor. Exemplo:\n    arranjo
            [1..10] de inteiro;\n"
140     | 15 ->
141         "estado 15: esperava '..'. Exemplo:\n    1 .. 10\n"
142     | 16 ->
143         "estado 16: esperava um numero inteiro. Exemplo:\n    1 .. 10\n"
144     | 18 ->
145         "estado 18: esperava um ']' '. Exemplo\n    arranjo [1..10] de inteiro
            ;\n"
146     | 19 ->
147         "estado 19: esperava a palavra reservada 'de'. Exemplo:\n    arranjo
            [1..10] de inteiro;\n"
148     | 20 ->
149         "estado 20: esperava um tipo. Exemplo\n    arranjo [1..10] de
            inteiro;\n"
150     | - ->
151         raise Not_found *)
152
153 let posicao lexbuf =
154     let pos = lexbuf.lex_curr_p in
155     let lin = pos.pos_lnum
156     and col = pos.pos_cnum - pos.pos_bol - 1 in
157     sprintf "linha %d, coluna %d" lin col
158
159 (* [pilha checkpoint] extrai a pilha do aut mato LR(1) contida em
    checkpoint *)
160
161 let pilha checkpoint =

```



```

162     match checkpoint with
163     | I.HandlingError amb -> I.stack amb
164     | _ -> assert false (* Isso n o pode acontecer *)
165
166     let estado checkpoint : int =
167         match Lazy.force (pilha checkpoint) with
168         | S.Nil -> (* O parser est no estado inicial *)
169             0
170         | S.Cons (I.Element (s, -, -, -), -) ->
171             I.number s
172
173     let sucesso v = Some v
174
175     let falha lexbuf (checkpoint : (Sast.expressao Ast.programa) I.checkpoint)
176         =
177         let estado_atual = estado checkpoint in
178         let msg = message estado_atual in
179         raise (Erro_Sintatico (Printf.sprintf "%d - %s.\n"
180             (Lexing.lexeme_start lexbuf) msg))
181
182     let loop lexbuf resultado =
183         let fornecedor = I.lexer_lexbuf_to_supplier Lexico.read lexbuf in
184         I.loop_handle sucesso (falha lexbuf) fornecedor resultado
185
186     let parse_com_erro lexbuf =
187         try
188             Some (loop lexbuf (Sintatico.Incremental.prog lexbuf.lex_curr_p))
189         with
190         | Lexico.Erro msg ->
191             printf "Erro lexico na %s:\n\t%s\n" (posicao lexbuf) msg;
192             None
193         | Erro_Sintatico msg ->
194             printf "Erro sint tico na %s %s\n" (posicao lexbuf) msg;
195             None
196
197     let parse s =
198         let lexbuf = Lexing.from_string s in
199         let ast = parse_com_erro lexbuf in
200         ast
201
202     let parse_arq nome =
203         let ic = open_in nome in
204         let lexbuf = Lexing.from_channel ic in
205         let ast = parse_com_erro lexbuf in
206         let _ = close_in ic in
207         ast

```

```

208
209 let verifica_tipos nome =
210   let ast = parse_arq nome in
211   match ast with
212   | Some (Some ast) -> semantico ast
213   | _ -> failwith "Nada a fazer!\n"
214
215 (* Para compilar:
216    ocamlbuild -use-ocamlfind -use-menhir -menhir "menhir --table" -
    package menhirLib semanticoTest.byte
217
218    Para usar, entre no ocaml
219
220    rlwrap ocaml
221
222    e se desejar ver apenas a rvore sint tica que sai do analisador
    sint tico, digite
223
224    parse_arq "exemplos/ex2.tip";;
225
226    Depois, para ver a sa da do analisador sem ntico j com a rvore
    anotada com
227    o tipos, digite:
228
229    verifica_tipos "exemplos/ex2.tip";;
230
231    Note que o analisador sem ntico est retornando tamb m o ambiente
    global. Se
232    quiser separ -los, digite:
233
234    let (arv, amb) = verifica_tipos "exemplos/ex2.tip";;
235
236
237
238 *)

```