Processamento de Linguagens e Compiladores (3º ano de Curso)

Trabalho Prático 2

Relatório de Desenvolvimento

Breno Fernando Guerra Marrão
A97768

Tales André Rovaris Machado
A96314

Tiago Passos Rodrigues
A96414

3 de janeiro de 2023

Conteúdo

Capítulo 1

Introdução

Este relatório no âmbito de processamento de linguagens e compiladores do segundo projeto teve como o objetivo a criação de uma simples linguagem de programação que seja capaz de criar variáveis, atribuir valores a essas variáveis, ler e escrever no terminal, escrever ciclos e efetuar instruções de seleção. Na execução deste projeto utilizamos os modulos ply.lex para a análise léxica e yacc para a gramática na linguagem python.

Capítulo 2

Enunciado

Pretende-se que comece por definir uma linguagem de programação imperativa simples, a seu gosto. Apenas deve ter em consideração que essa linguagem terá de permitir:

- declarar variáveis atómicas do tipo inteiro, com os quais se podem realizar as habituais operações aritméticas, relacionais e lógicas.
- efetuar instruções algorítmicas básicas como a atribuição do valor de expressões numéricas a variáveis.
- ler do standard input e escrever no standard output.
- efetuar instruções de seleção para controlo do fluxo de execução.
- efetuar instruções de repetição (cíclicas) para controlo do fluxo de execução, permitindo o seu aninhamento.

Note que deve implementar pelo menos o ciclo while-do, repeat-until ou for-do.

Adicionalmente deve ainda suportar, à sua escolha, uma das duas funcionalidades seguintes:

- declarar e manusear variáveis estruturadas do tipo array (a 1 ou 2 dimensões) de inteiros, em relação aos quais é apenas permitida a operação de indexação (índice inteiro).
- definir e invocar subprogramas sem parâmetros mas que possam retornar um resultado do tipo inteiro.

Como é da praxe neste tipo de linguagens, as variáveis deverão ser declaradas no início do programa e não pode haver re-declarações, nem utilizações sem declaração prévia. Se nada for explicitado, o valor da variável após a declaração é 0 (zero).

Desenvolva, então, um compilador para essa linguagem com base na GIC criada acima e com recurso aos módulos Yacc/ Lex do PLY/Python.

O compilador deve gerar pseudo-código, Assembly da Máquina Virtual VM.

Muito Importante:

Para a entrega do TP deve preparar um conjunto de testes (programas-fonte escritos na sua linguagem) e mostrar o código Assembly gerado bem como o programa a correr na máquina virtual VM.

Capítulo 3

Escolhas Feitas

3.1 Desenho da Linguagem

Na nossa linguagem optamos por usar notações case sensitive, tais como os token if, while, etc.. Onde é posicionado o habitual ponto e vírgula das outras linguagens de programação nós escolhemos pôr um ponto final para delimitar as linhas de código.

3.1.1 Declarar variáveis

Decidimos que a declaração de variáveis seria feita no início do programa e é feita com a seguinte notação, segue exemplos :

```
int x . # declaração da variável sem argumentos
int x = 2 . #declacração da variável com atribuição de valor
int y = x + 2 . # declaração da variável com outra variável e com uma operação de soma
int y = x + func() . # declaração da variável com uma varíavel e com uma operação de soma com uma função
↪  arbitrária
```

3.1.2 Operações

Decidimos manter as nossas operações como é costume na maior partes das linguagens, com os seus símbolos, segue exemplos :

```
x = x + 1 .# operação de soma entre variável e inteiro
x = x + y .# operação de soma entre variáveis
x = x - y .# operação de subtração entre variáveis
x = y * z .# operação de multiplicação entre variáveis
x = x / y .# operação de divisão entre variáveis
x = (x - 1 ) * 2 .# operação com prioridade
x = x + 2 + 3 + y * z - 10 / 5 .# Varias operações juntas.
```

3.1.3 Ler do standard input e escrever no standard output

Para escrever no standard output decidimos que deveria começar por "print"e deveria ser seguido por frases entre aspas e se quisesse colocar números fechava as aspas e escrevia os números, variaveis ou expressões, segue exemplos :

```
int x = 20 .
int y = 10 .
```

```
print x . # exemplo de escrever com variável .
print "Trabalho de PLC" # exemplo de escrever com uma frase
print "Este é nosso segundo projeto de PLC e merecemos " x " como nota " . # exemplo de escrever com frases
↪  e uma variável
print "A soma de variável x e y é  " x + y . # exemplo de escrever com frases e uma operação
```

Para ler no standard input dizemos para qual variável que queremos atribuir o valor (que só pode ser inteiro) lido e alguma frase (opcional).

```
int x .
x = input " Qual valor para x ?" .
```

3.1.4 Instruções Condicionais

Nas instruções condicionais a estrutura é tal que devemos primeiro escrever "if" uma condição lógica, "then" as instruções que queremos que seja realizada e o mesmo para "else", segue exemplos:

```
int x  = 2 .
if x == 2 then x = x + 1 . else x = x - 1 . end if .
```

3.1.5 Instruções Cíclicas

A instrução cíclica que fizemos foi 'do while' em que a estrutura é 'while' seguido da condição do ciclo e depois um 'do'. Após isso vem as instruções que queremos executar, e terminamos com um 'while .'

```
int x  = 2 .
while x > 0 do x = x - 1 . end while .
```

3.2 Desenho da gramática

Literais : ['+', '-', '*', '/', '=', '(', ')','.','!','%']
Tokens : 'IF','TRUE','FALSE','EQUAL','INF','INFEQ','SUP','SUPEQ','INPUT','PRINT','INT','OU','E','THEN'
,'ELSE','WHILE','begin','return','end','DO','NUM','ID','FRASE', 'MOD'
A gramática implementada é constituída pelas seguintes regras de derivação.

```
Programa : Vars Funcs Cod
Vars : Var Vars | €
Funcs : Funcs Func | €
Var : INT ID '.' | INT ID '=' expr '.'
Func : ID begin Cod end return expr '.' | ID begin Cod end '.'
Cod : Linha Cod | €
Linha : Escrever | atr | ID '(' ')' '.' | Ler | cond | SE | Ciclo
SE : IF cond THEN Cod ELSE Cod end IF "."
Ler : ID '=' INPUT FRASE '.'
Escrever : PRINT corpoescreve '.'
corpoescreve : alter corpoescreve | €
alter : FRASE | expr
Ciclo : WHILE cond DO Cod end WHILE '.'
atr : ID '=' expr '.'
cond : bool | expr | expr oprelacao expr | cond E cond | cond OU cond
```

```
oprelacao : INF | EQUAL | DIFF | INFEQ | SUP | SUPEQ
bool : TRUE | FALSE
expr : termo | expr '+' termo | expr '-' termo
termo : fator | termo '*' fator | termo '/' fator | termo '%' fator
fator : NUM | ID | '(' expr ')' | ID '(' ')'
```

Capítulo 4

Regras de tradução para Assembly

As regras de tradução para Assembly estão apresentadas no Apêndice B.

Capítulo 5

Exemplos de Utilização

Aqui estão alguns exemplos de programas conhecidos representados na nossa linguagem e o respectivo código assembly.

5.1 Calcular fatorial

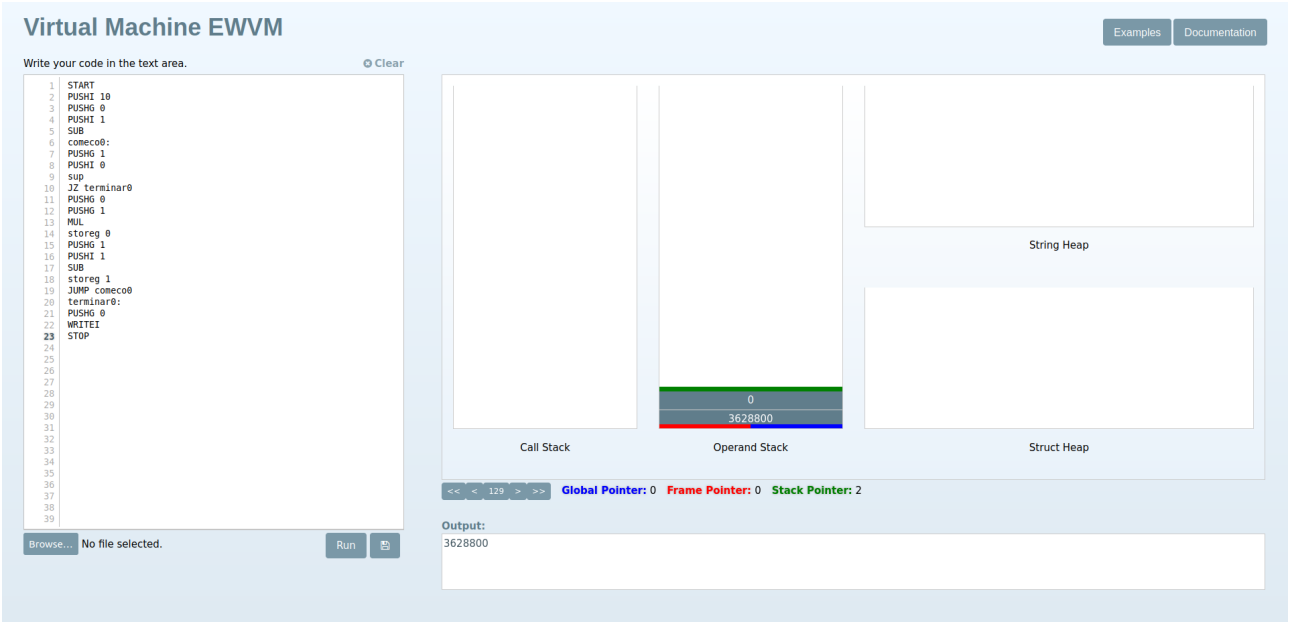
Simples exemplo de um programa que calcula fatorial

```
int x = 10 .
int aux = x - 1 .
while aux > 0 do
x = x * aux .
aux = aux - 1 .
end while .
print x .
```

O código assembly gerado foi o seguinte:

```
PUSHI 10
PUSHG 0
PUSHI 1
SUB
comeco0:
PUSHG 1
PUSHI 0
sup
JZ terminar0
PUSHG 0
PUSHG 1
MUL
storeg 0
PUSHG 1
PUSHI 1
SUB
storeg 1
JUMP comeco0
terminar0:
```

```
PUSHG 0
WRITEI
STOP
```



5.2 Calcular multiplicação

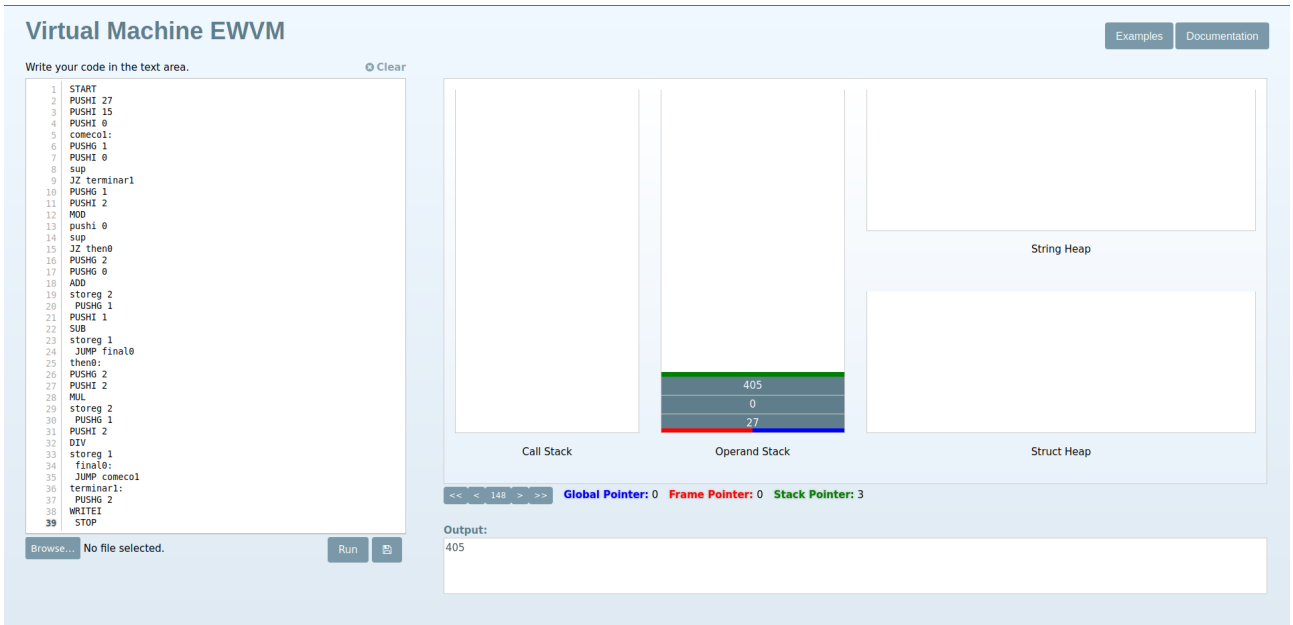
Simples exemplo de um programa que calcula multiplicação

```
int a = 27 .
int b = 15 .
int z = 0 .
while b > 0 do
if b % 2 then
z = z + a .
b = b - 1 .
else
z = z * 2 .
b = b / 2 .
end if .
end while .
print z .
```

O código assembly gerado foi o seguinte:

```
PUSHI 27
PUSHI 15
PUSHI 0
comeco1:
PUSHG 1
PUSHI 0
sup
JZ terminar1
PUSHG 1
```

```
PUSHI 2
MOD
pushi 0
sup
JZ then0
PUSHG 2
PUSHG 0
ADD
storeg 2
 PUSHG 1
PUSHI 1
SUB
storeg 1
 JUMP final0
then0:
PUSHG 2
PUSHI 2
MUL
storeg 2
 PUSHG 1
PUSHI 2
DIV
storeg 1
 final0:
 JUMP comeco1
terminar1:
 PUSHG 2
WRITEI
 STOP
```



5.3 Calcular funções sem return

Simples exemplo de um programa que utiliza funções sem return

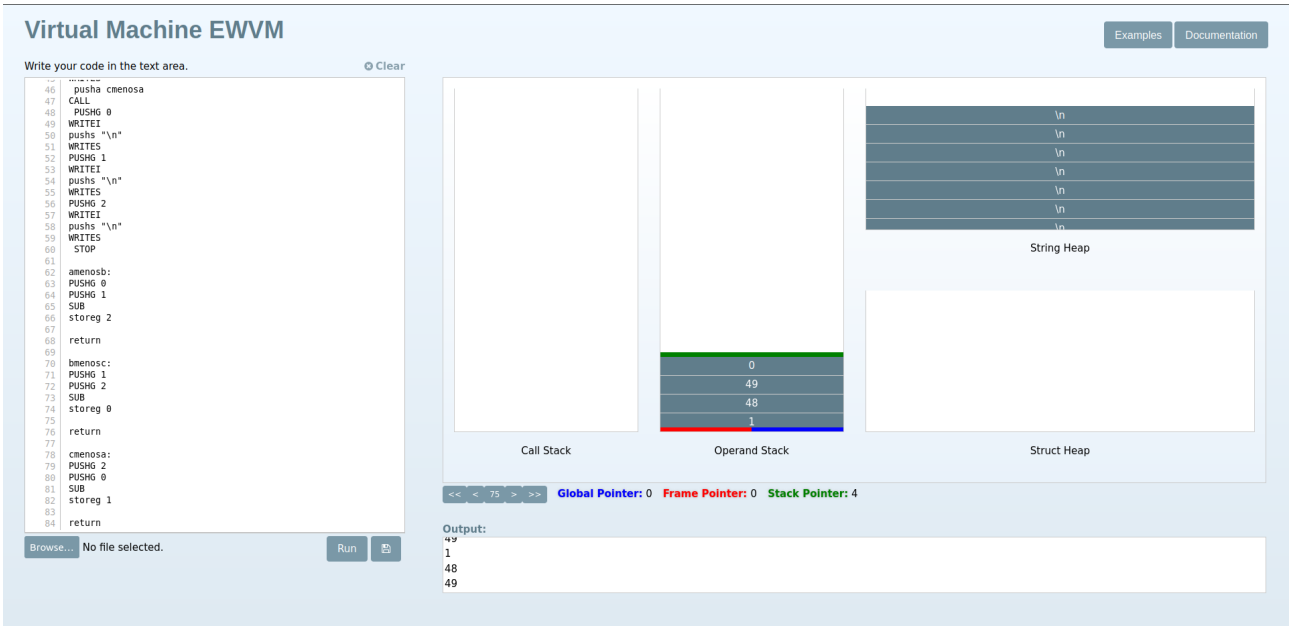
```
int a = 99 .
int b = 50 .
int c = 10 .
int res .
amenosb begin
c = a - b .
end .
bmenosc begin
a = b - c .
end .
cmenosa begin
b = c - a .
end .
print a "\n" b "\n" c "\n" .
amenosb() .
print a "\n" b "\n" c "\n" .
bmenosc() .
print a "\n" b "\n" c "\n" .
cmenosa() .
print a "\n" b "\n" c "\n" .
```

O código assembly gerado foi o seguinte:

```
PUSHI 99
PUSHI 50
PUSHI 10
PUSHI 0
PUSHG 0
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
PUSHG 1
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
PUSHG 2
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
 pusha amenosb
CALL
 PUSHG 0
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
PUSHG 1
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
```

```
PUSHG 2
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
 pusha bmenosc
CALL
 PUSHG 0
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
PUSHG 1
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
PUSHG 2
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
 pusha cmenosa
CALL
 PUSHG 0
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
PUSHG 1
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
PUSHG 2
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
 STOP

amenosb:
PUSHG 0
PUSHG 1
SUB
storeg 2

return

bmenosc:
PUSHG 1
PUSHG 2
SUB
storeg 0
```

```
return

cmenosa:
PUSHG 2
PUSHG 0
SUB
storeg 1

return
```



5.4 Calcular Fibonacci

Função que calcula Fibonacci

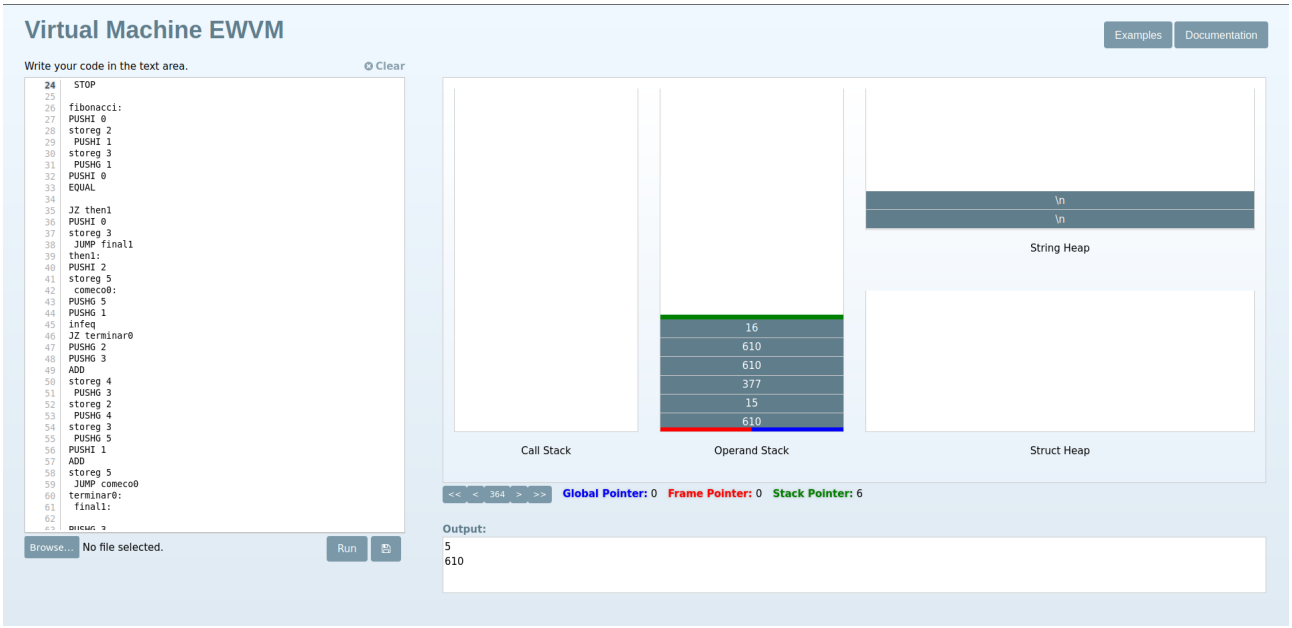
```
int res .
int fib .
int a .
int b .
int c .
int i .
fibonacci begin
a = 0 .
b = 1 .
if fib == 0 then
b = 0 .
else
i = 2 .
while i <= fib do
c = a + b .
a = b .
b = c .
i = i + 1 .
end while .
end if .
```

```
end return b .
fib = 5 .
res = fibonacci() .
fib = 15 .
print res "\n" .
res = fibonacci() .
print res "\n" .
```

O código assembly gerado foi o seguinte:

```
PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 5
storeg 1
 pusha fibonacci
CALLstoreg 0
 PUSHI 15
storeg 1
 PUSHG 0
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
 pusha fibonacci
CALLstoreg 0
 PUSHG 0
WRITEI
pushs "\n"
WRITES
 STOP

fibonacci:
PUSHI 0
storeg 2
 PUSHI 1
storeg 3
 PUSHG 1
PUSHI 0
EQUAL

JZ then1
PUSHI 0
storeg 3
 JUMP final1
then1:
PUSHI 2
storeg 5
```

```
 comeco0:
PUSHG 5
PUSHG 1
infeq
JZ terminar0
PUSHG 2
PUSHG 3
ADD
storeg 4
 PUSHG 3
storeg 2
 PUSHG 4
storeg 3
 PUSHG 5
PUSHI 1
ADD
storeg 5
 JUMP comeco0
terminar0:
 final1:

PUSHG 3
return
```



5.5 Calcular Exponenciação

Função que calcula Exponenciação recursivamente

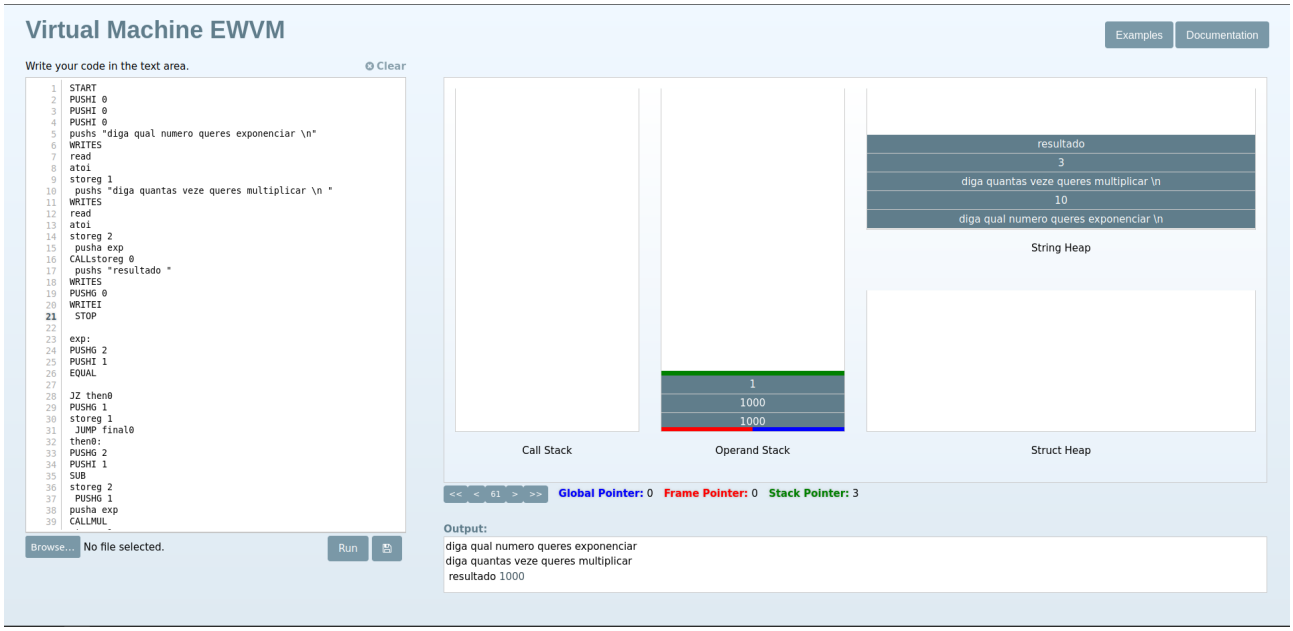
```
int a .
int res .
```

```
int aux .
exp begin
if aux == 1 then res = res .
else
aux = aux - 1.
res = res * exp() .
end if .
end return res .
res = input "diga qual numero queres exponenciar \n" .
aux =input "diga quantas veze queres multiplicar \n " .
a = exp() .
print "resultado " a .
```

O código assembly gerado foi o seguinte:

```
PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 0
pushs "diga qual numero queres exponenciar \n"
WRITES
read
atoi
storeg 1
 pushs "diga quantas veze queres multiplicar \n "
WRITES
read
atoi
storeg 2
 pusha exp
CALLstoreg 0
 pushs "resultado "
WRITES
PUSHG 0
WRITEI
 STOP

exp:
PUSHG 2
PUSHI 1
EQUAL

JZ then0
PUSHG 1
storeg 1
 JUMP final0
then0:
PUSHG 2
PUSHI 1
SUB
storeg 2
 PUSHG 1
```

```
pusha exp
CALLMUL
storeg 1
 final0:

PUSHG 1
return
```



5.6 Calcular Área Retângulo

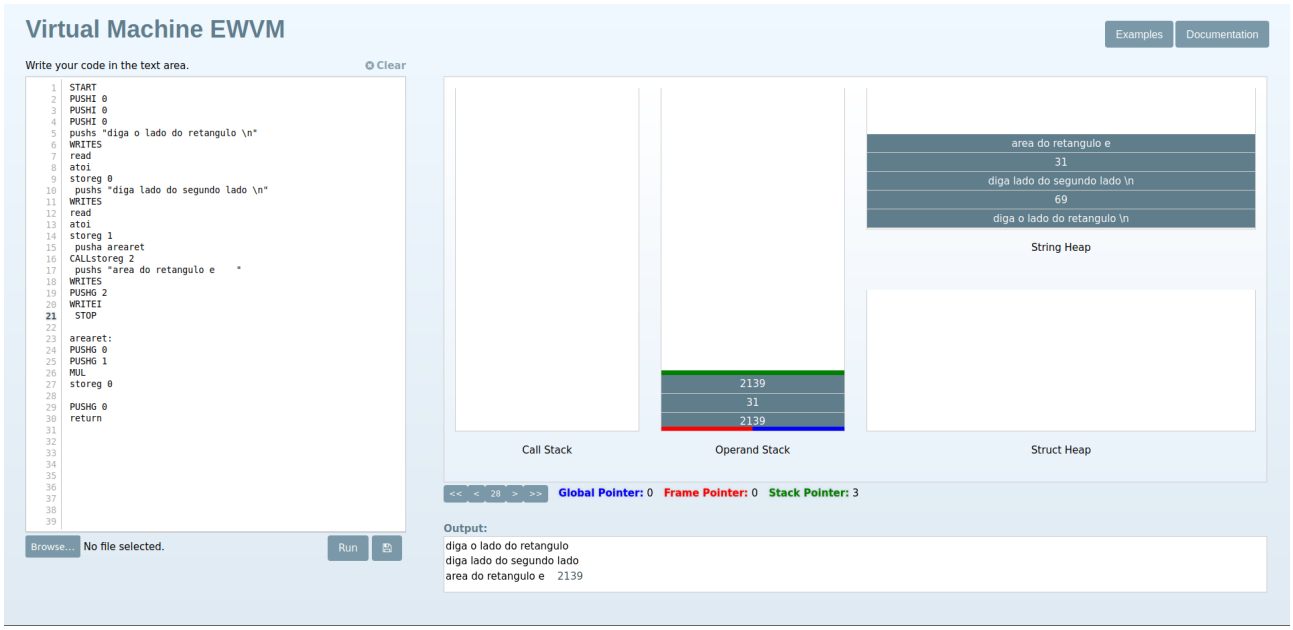
Função que calcula Área do retângulo recebendo inputs

```
int l1 .
int l2 .
int res .
arearet begin
l1 = l1 * l2 .
end return l1 .
l1 = input "diga o lado do retangulo \n" .
l2 = input "diga lado do segundo lado \n" .
res = arearet() .
print "area do retangulo e    " res .
```

O código assembly gerado foi o seguinte:

```
PUSHI 0
PUSHI 0
PUSHI 0
pushs "diga o lado do retangulo \n"
WRITES
read
atoi
```

```
storeg 0
 pushs "diga lado do segundo lado \n"
WRITES
read
atoi
storeg 1
 pusha arearet
CALLstoreg 2
 pushs "area do retangulo e    "
WRITES
PUSHG 2
WRITEI
 STOP

arearet:
PUSHG 0
PUSHG 1
MUL
storeg 0

PUSHG 0
return
```



Capítulo 6

Conclusão

Este projeto foi do mais importante para a introdução às técnicas na área do processamento de linguagens e compiladores. Permitiu-nos aplicar em casos concretos os nossos conhecimentos de análise sintática e léxica pelo módulo yacc e ply.lex do python com o uso de tokens e da definição de gramáticas através da criação de uma linguagem e a sintaxe da própria, o assembly gerado pela mesma e tratamento de erros.

Consideramos este projeto de grande importância para nós como alunos de Ciência da Computação pois agora temos uma melhor compreensão de como funcionam as linguagens de programação algo que usamos diariamente e como elas tratam o código.

Apêndice A

Código do Programa

A.1 Analisador Léxico

```
import re
import ply.lex as lex

literals = ['+', '-', '*', '/', '=', '(', ')','.','!','%']

tokens = (
    'IF',
    'TRUE',
    'FALSE',
    'EQUAL',
    'INF',
    'INFEQ',
    'SUP',
    'SUPEQ',
    'DIFF',
    'INPUT',
    'PRINT',
    'INT',
    'OU',
    'E',
    'THEN',
    'ELSE',
    'WHILE',
    'begin',
    'return',
    'end',
    'DO',
    'NUM',
    'ID',
    'FRASE',

)

t_TRUE = r'true'

t_FALSE = r'false'

t_EQUAL = r'\=\='

t_DIFF = r'\!\='
```

```
t_INF = r'\<'

t_INFEQ = r'\<\='

t_SUP = r'\>'

t_SUPEQ = r'\>\='

t_INPUT = r'input'

t_PRINT = r'print'

t_INT = r'int'

t_OU = r'\|'

t_E = r'\^'

t_THEN = r'then'

t_ELSE = r'else'

t_WHILE = r'while'

t_begin = r'begin'

t_return = r'return'

t_end = r'end'

t_ID = r'\w+'

t_NUM = r'[0-9]+'

t_FRASE = r'\"[^\"]*\"'

t_ANY_ignore = ' \n\t'

def t_IF(t):
    r'if'
    return t

def t_DO(t):
    r'do'
    return t

def t_ANY_error(t):
    print('Illegal character: %s', t.value[0])

lexer = lex.lex()
```

A.2 Analisador Sintático

```
import ply.yacc as yacc
import sys

from linguagem_lex import tokens

def p_Programa(p):
    "Programa : Vars Funcs Cod"
    parser.assembly = f'START\n{p[1]}{p[3]}STOP\n{p[2]}'

def p_Escrever(p):
    "Escrever : PRINT corpoescreve '.'"
    p[0] = f"{p[2]}"

def p_corpoescreve_null(p):
    "corpoescreve : "
    p[0] = f''

def p_corpoescreve_alter(p):
    "corpoescreve : alter corpoescreve"
    p[0] = f'{p[1]}\n{p[2]}'

def p_alter_frase(p):
    "alter : FRASE"
    p[0] = f'pushs {p[1]}\nWRITES'

def p_alter_expr(p):
    "alter : expr"
    p[0] = f'{p[1]}WRITEI'

def p_Vars_Empty(p):
    "Vars : "
    p[0] = f''

def p_Vars_Var(p):
    "Vars : var Vars"
    p[0] = f'{p[1]}{p[2]}'

def p_Funcs_Empty(p):
    "Funcs : "
    p[0] = f''

def p_Funcs_Func(p):
    "Funcs : Funcs Func"
    p[0] = f'{p[1]}\n{p[2]}'

def p_Func_comRETURN(p):
    "Func : ID begin Cod end return expr '.'"
    p[0] = f'{p[1]}:\n{p[3]}\n{p[6]}return\n'

def p_Func(p):
    "Func : ID begin Cod end '.'"
    p[0] = f'{p[1]}:\n{p[3]}\nreturn\n'

def p_Cod_Empty(p):
    "Cod : "
    p[0] = f''
```

```
def p_var_tipoID(p):
    "var : INT ID '.'"
    var = p[2]
    p.parser.table[var] = parser.pc
    parser.pc += 1
    p[0] = "PUSHI 0\n"

def p_var_atribuicao(p):
    "var : INT ID '=' expr '.'"
    var = p[2]
    p.parser.table[var] = parser.pc
    parser.pc += 1
    p[0] = f"{p[4]}"

def p_Cod_linhas(p):
    "Cod : Linha Cod"
    p[0] = f'{p[1]} {p[2]}'

def p_Linha_Escrever(p):
    "Linha : Escrever"
    p[0] = p[1]

def p_Linha_atr(p):
    "Linha : atr"
    p[0] = p[1]

def p_linha_func(p):
    "Linha : ID '(' ')' '.'"
    p[0] = f'pusha {p[1]}\nCALL\n'

def p_Linha_Ler(p):
    "Linha : Ler"
    p[0] = p[1]

def p_Linha_Cond(p):
    "Linha : cond"
    p[0] = f'{p[1]}\n'

def p_Linha_Se(p):
    'Linha : SE'
    p[0] = p[1]

def p_se_else(p):
    'SE : IF cond THEN Cod ELSE Cod end IF "."'
    p[0] = f'{p[2]}\nJZ then{p.parser.labels}\n{p[4]}JUMP
    ↪  final{p.parser.labels}\nthen{p.parser.labels}:\n{p[6]}final{p.parser.labels}:\n'
    p.parser.labels += 1

def p_ler(p):
    "Ler : ID '=' INPUT FRASE '.'"
    p[0] = f"pushs {p[4]}\nWRITES\nread\natoi\nstoreg {parser.table[p[1]]}\n"

def p_Linha_Ciclo(p):
    "Linha : Ciclo"
    p[0] = p[1]

def p_ciclo(p):
    "Ciclo : WHILE cond DO Cod end WHILE '.'"
```

```
    p[0] = f'comeco{p.parser.labels}: \n{p[2]}\nJZ terminar{p.parser.labels}\n{p[4]}JUMP
    ↪  comeco{p.parser.labels}\nterminar{p.parser.labels}: \n'
    p.parser.labels += 1

def p_atr(p):
    "atr : ID '=' expr '.'"
    p[0] = f'{p[3]}storeg {parser.table[p[1]]}\n'

def p_bool_true(p):
    "bool : TRUE"
    p[0] = f'PUSHI 1'

def p_bool_false(p):
    "bool : FALSE"
    p[0] = f'PUSHI 0'

def p_cond_bool(p):
    "cond : bool"
    p[0] = f'{p[1]}'

def p_cond_expr(p):
    "cond : expr"
    p[0] = f'{p[1]}pushi 0\nsup'

def p_oprelacao_inf(p):
    "oprelacao : INF"
    p[0] = 'inf'

def p_oprelacao_EQUALS(p):
    "oprelacao : EQUAL"
    p[0] = 'EQUAL\n'

def p_oprelacao_DIFF(p):
    "oprelacao : DIFF"
    p[0] = 'EQUAL\nNOT\n'

def p_oprelacao_infeq(p):
    "oprelacao : INFEQ"
    p[0] = 'infeq'

def p_oprelacao_sup(p):
    "oprelacao : SUP"
    p[0] = 'sup'

def p_oprelacao_supeq(p):
    "oprelacao : SUPEQ"
    p[0] = 'supeq'

def p_cond_oprelacao(p):
    "cond : expr oprelacao expr"
    p[0] = f'{p[1]}{p[3]}{p[2]}'

def p_cond_e(p):
    "cond : cond E cond"
    p[0] = f'{p[1]}\n{p[3]}\nadd\npushi 2\nequal'

def p_cond_ou(p):
    "cond : cond OU cond"
    p[0] = f'{p[1]}\n{p[3]}\nadd\npushi 0\nsup'
```

```
def p_expr_add(p):
    "expr : expr '+' termo"
    p[0] = p[1] + p[3] + "ADD\n"

def p_expr_sub(p):
    "expr : expr '-' termo"
    p[0] = p[1] + p[3] + "SUB\n"

def p_expr_termo(p):
    "expr : termo"
    p[0] = p[1]

def p_termo_mul(p):
    "termo : termo '*' fator"
    p[0] = p[1] + p[3] + "MUL\n"

def p_termo_div(p):
    "termo : termo '/' fator"
    p[0] = p[1] + p[3] + "DIV\n"

def p_termo_mod(p):
    "termo : termo '%' fator"
    p[0] = p[1] + p[3] + "MOD\n"

def p_termo_fator(p):
    "termo : fator"
    p[0] = p[1]

def p_fator_NUM(p):
    "fator : NUM"
    p[0] = f"PUSHI {p[1]}\n"

def p_fator_func(p):
    "fator : ID '(' ')' "
    p[0] = f"pusha {p[1]}\nCALL"

def p_fator_ID(p):
    "fator : ID"
    p[0] = f'PUSHG {parser.table[p[1]]}\n'


def p_fator_expr(p):
    "fator : '(' expr ')'"
    p[0] = p[2]

def p_error(p):
    print("Syntax error:", p)
    parser.sucesso = False

#inicio do Parser e do Processamento
parser = yacc.yacc()
parser.table = {}
parser.pc = 0

parser.sucesso = True
parser.assembly = ""
parser.labels = 0
```

```
fonte = ""
for linha in sys.stdin:
    fonte += linha

parser.parse(fonte)

print(parser.table)
print(parser.assembly)
```