

Gustavo P. Gouveia (6482819), Victor Lassance (6431325)

Relatório de Compiladores
Quinta Etapa
Tradução dos Comandos
Linguagem de programação CZAR

Texto apresentado à Escola Politécnica da Universidade de São Paulo como requisito para a aprovação na disciplina Linguagens e Compiladores no quinto módulo acadêmico do curso de graduação em Engenharia de Computação, junto ao Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais (PCS).

Universidade de São Paulo

Escola Politécnica

Engenharia de Computação - Curso Cooperativo

Professor: Ricardo Luis de Azevedo da Rocha

São Paulo

2013

Sumário

Sumário	2
1 Introdução	3
2 Tradução de estruturas de controle de fluxo	4
2.1 Estrutura de controle de fluxo: IF	4
2.2 Estrutura de controle de fluxo: IF-ELSE	4
2.3 Estrutura de controle de fluxo: WHILE	5
3 Tradução de comandos imperativos	6
3.1 Atribuição de valor	6
3.2 Comando de leitura	6
3.3 Comando de impressão	6
3.4 Definição e chamada de subrotinas	6
4 Cálculo de expressões aritméticas e booleanas	8
5 Exemplo de programa traduzido	10
5.1 Exemplo de programa fatorial na linguagem de alto nível	10
5.2 Tradução do programa fatorial para linguagem de máquina	10
5.3 Tradução do programa fatorial para linguagem de saída MVN	13
Apêndices	16
APÊNDICE A Biblioteca auxiliar <i>std</i>	17
APÊNDICE B Biblioteca auxiliar <i>stdio</i>	30

1 Introdução

Este projeto tem como objetivo a construção de um compilador de um só passo, dirigido por sintaxe, com analisador e reconhecedor sintático baseado em autômato de pilha estruturado.

Em um primeiro momento, foi definida uma linguagem de programação e identificados os tipos de átomos. Para cada átomo foi escrito uma gramática linear representativa da sua lei de formação e um reconhecedor para o átomo. Desse modo, as gramáticas assim escritas foram unidas e convertidas em um autômato finito, o qual foi transformado em um transdutor e implementado como sub-rotina, dando origem ao analisador léxico propriamente dito. Também foi criada uma função principal para chamar o analisador léxico e possibilitar o seu teste.

Durante a segunda etapa, a sintaxe da linguagem, denominada por nós de CZAR, foi definida formalmente a partir de uma definição informal e de exemplos de programas que criamos, misturando palavras-chave e conceitos de diferentes linguagens de programação. As três principais definições foram escritas na notação BNF¹, Wirth² e com diagramas de sintaxe.

Na terceira etapa, implementamos o módulo referente à parte sintática para a nossa linguagem. O analisador sintático construído obtém uma cadeia de *tokens* proveniente do analisador léxico, e verifica se a mesma pode ser gerada pela gramática da linguagem e, com isso, constrói a árvore sintática (??).

Para a quarta entrega, focamos no ambiente de execução. O compilador por nós criado terá como linguagem de saída um programa que será executado na máquina virtual conhecida como Máquina de von Neumann (MVN).

Para a entrega atual, buscamos completar a especificação do código gerado pelo compilador e das rotinas do ambiente de execução da nossa linguagem de alto nível, a CZAR.

Como material de consulta, além de sites sobre o assunto e das aulas ministradas, foi utilizado o livro indicado pelo professor no começo das aulas (??), para pesquisa de conceitos e possíveis implementações.

O documento apresenta a seguir o que foi solicitado na quinta etapa.

¹ Ver http://en.wikipedia.org/wiki/Backus_Naur_Form

² Ver http://en.wikipedia.org/wiki/Wirth_syntax_notation

2 Tradução de estruturas de controle de fluxo

Será apresentado nas próximas seções, as traduções das estruturas de controle de fluxo que constam na nossa linguagem e foram solicitadas para essa entrega, entre elas as estruturas if, if-else e while.

Cabe ressaltar que foram utilizadas simbologias nas traduções que serão substituídas pelo compilador no momento da geração de código. Uma dessas marcações é os dois pontos no começo de uma linha que significa que os comandos devem ser colocados no início do código gerado. Outra simbologia criada é da forma XN, onde X representa uma letra maiúscula qualquer e N é o índice da instância dentro do tipo de marcação X. As opções para X são as seguintes:

- {C0}, {C1}, ...: Conjunto de comandos
- {R0}, {R1}, ...: Referência
- {L0}, {L1}, ...: Label ou rótulo de uma instrução criados e exportados pelo código

Há também a marcação {N}, utilizada para denotar que a primeira instrução do código subsequente ao comando atual deve ser adicionada no lugar da marcação. Estamos considerando substituir sempre a marcação {N} por uma instrução simples que só sirva para simplificar, como por exemplo somar zero ao acumulador.

Conceitos da pilha aritmética são utilizados para o cálculo de expressões booleanas, no [chapter 4](#) explicações mais detalhadas são apresentadas.

2.1 Estrutura de controle de fluxo: IF

```

1      {C0}      # calculo da expressao booleana
2      SC POP_ARITH
3      JZ {L0} # se 0, entao pula para L0 (else)
4      {C1}      # codigo if, C pode ser nulo ou mais coisas
5 {L0}      {N}      # N executa somente a expansao

```

2.2 Estrutura de controle de fluxo: IF-ELSE

```

1      {C0}      # calculo da expressao booleana
2      SC POP_ARITH

```

```
3          JZ {L0} # se 0, entao pula para L0 (else)
4          {C0}    # codigo if, C pode ser nulo ou mais coisas
5          JP {L1} # codigo fim, pula para fim
6 {L0}      {C2}    # codigo else
7 {L1}      {N}     # N executa somente a expansao
```

2.3 Estrutura de controle de fluxo: WHILE

```
1 {L0} + ZERO    # STUB para facilitar criacao de codigo
2 {C0}           # calculo da expressao booleana
3 SC POP_ARITH
4 JZ {L0}
5 {C1}           # corpo do while
6 {L0} {N}
```

3 Tradução de comandos imperativos

Esse capítulo explica as traduções dos comandos imperativos que constam na nossa linguagem e foram solicitadas para essa entrega, entre os quais os comandos de atribuição de valor, leitura da entrada padrão, impressão na saída padrão e chamada de subrotinas, associado à definição de novas subrotinas. As mesmas definições das marcações explicadas no Capítulo 2 são válidas para as traduções a seguir.

3.1 Atribuição de valor

```
1      LD {R0}
2      MM {R1}
```

3.2 Comando de leitura

```
1      :      < STORE_PTR_IO
2      :      < GETS
3      LV {R0}
4      MM STORE_PTR_IO
5      SC GETS
```

3.3 Comando de impressão

```
1      :      < STRING_PTR
2      :      < P_STRING
3      LV {R0}
4      MM STRING_PTR
5      SC P_STRING
```

3.4 Definição e chamada de subrotinas

No caso da definição de subrotinas, a tradução fica a seguinte:

```
1      :      <   PUSH_CALL
2      :      <   POP_CALL
3      :      <   LOAD_WORD_FROM_STACK
4      :      <   SAVE_WORD_ON_STACK
5      :      <   WORD_TO_BE_SAVED
6
```

```
7          {C0}          # dados da funcao
8          {C1}          # constante com o numero de dados da
9                      # funcao em nibbles
10 {L0}      JP /000      # label funcao
11          LV {L0}
12          SC PUSH_CALL
13          {C2}
14          LV {L0}
15          SC POP_CALL
16          RS {L0}
```

Vale salientar que as funcoes que tratam a pilha de registro de ativação foram modificadas completamente para integração mais transparente na implementacao da função.

Já quando é identificada a chamada de uma subrotina já declarada, a seguinte tradução é utilizada:

```
1      {C0}              # Copia dados para os argumentos
2                      # da funcao
3      SC {R0}
```

4 Cálculo de expressões aritméticas e booleanas

Além do que foi solicitado como obrigatório para essa entrega, pensamos ser importante definir a forma como fizemos a implementação do cálculo de expressões para a geração de código de saída.

Como o professor Ricardo Rocha nos explicou, a MVN não tem uma implementação real de pilha, porém consegue simular a existência de uma pilha com o uso de indirecionamentos que definem cada uma das operações da pilha, como *push* e *pop*. Baseado nesse conceito de código alinhado, definimos diversas funções auxiliares que realizam operações simples de forma independente. Essas funções nos permitiram realizar o cálculo de expressões de maneira mais clara e com menos erros.

Para explicar de forma mais detalhada o processo utilizado para calcular as expressões, vamos supor que lemos uma expressão $1 + 2 * 3$. A gramática que já implementamos nas etapas anteriores cria uma árvore que já considera a ordem de prioridade das operações, fazendo com que a multiplicação ocorra antes da soma. Para esse caso, o código de máquina deve primeiro empilhar o 1, em seguida o 2 e depois o 3. Ao notar que uma operação de multiplicação foi finalizada, ele retira da pilha dois operandos, no caso o 2 e o 3, realizando a multiplicação e retornando a pilha o resultado da operação, no caso o 6. Em seguida, é efetuada a operação de soma com os dois operandos que estão na pilha, o 1 e o 6, adicionando novamente o resultado, 7, na pilha.

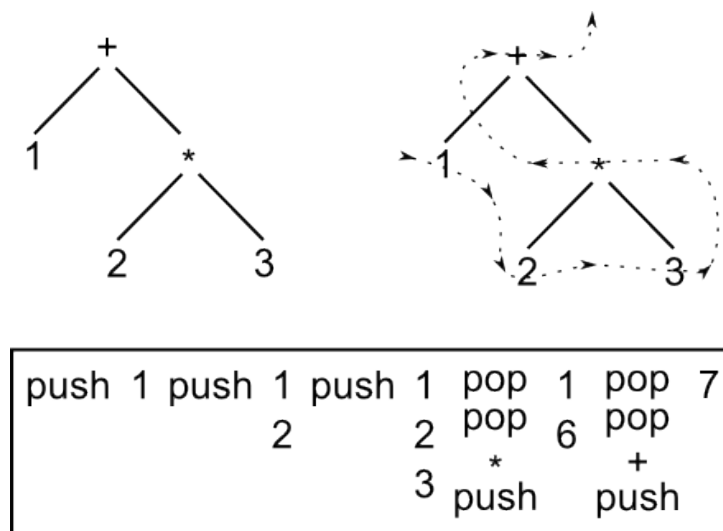


Figura 1 – Árvore da expressão e operações resultantes na pilha.

O mesmo tipo de lógica foi implementado também para operadores booleanos e

permite a geração de código de forma mais simples, visto que já desenvolvemos funções auxiliares para essas operações.

Apresentamos abaixo as operações principais da pilha aritmética. Todas as outras operações da pilha se encontram no arquivo `std.asm` no final do arquivo.

```

1  ;-----PUSH_ARITH-----
2  PUSH_ARITH      JP /000
3                  MM TMP_1
4                  LD ARIT_PTR_STACK
5                  +   TWO
6                  MM ARIT_PTR_STACK
7                  +   MOVE_CONST
8                  MM OP_PUSH_ARITH
9                  LD TMP_1
10 OP_PUSH_ARITH   JP /000
11                RS PUSH_ARITH
12 ;-----POP_ARITH-----
13 POP_ARITH       JP /000
14                LD ARIT_PTR_STACK
15                -   TWO
16                MM ARIT_PTR_STACK
17                +   TWO
18                +   LOAD_CONST
19                MM OP_POP_ARITH
20 OP_POP_ARITH    JP /000
21                RS POP_ARITH
22 ;-----SUM_ARITH-----
23 SUM_ARITH       JP /000
24                SC POP_ARITH
25                MM TMP_2
26                SC POP_ARITH
27                +   TMP_2
28                SC PUSH_ARITH
29                RS SUM_ARITH
30 ;-----MUL_ARITH-----
31 MUL_ARITH       JP /000
32                SC POP_ARITH
33                MM TMP_2
34                SC POP_ARITH
35                *   TMP_2
36                SC PUSH_ARITH
37                RS MUL_ARITH

```

5 Exemplo de programa traduzido

A fim de demonstrar tudo o que foi pensado como a maneira de traduzir os comandos de alto nível da nossa linguagem CZAR, nós traduzimos um programa simples de fatorial que permite visualizar e testar a nossa tradução.

Para isso, apresentamos o exemplo de programa escrito em três diferentes linguagens: (i) na nossa linguagem de alto nível CZAR; (ii) tradução para linguagem de máquina, utilizando as bibliotecas complementares *std* e *stdio*; (iii) tradução para linguagem de saída MVN.

Adicionamos as bibliotecas *std* e *stdio* como apêndices (ver Apêndice A e B) desse documento para consulta sobre o que já foi efetivamente desenvolvido.

5.1 Exemplo de programa fatorial na linguagem de alto nível

```

1  const int fat_10_rec = 6;
2  decl int retorno;
3
4  meth
5
6  int fatorial_recursivo(int n) {
7      decl int retorno = 1;
8      if (n >= 1) {
9          set retorno = n * call fatorial_recursivo (n - 1);
10     }
11     return retorno;
12 }
13
14 main () {
15     set retorno = call fatorial_recursivo(fat_10_rec);
16     call io_print_int(retorno);
17 }
```

5.2 Tradução do programa fatorial para linguagem de máquina

```

1  P_STRING          <
2  STRING_PTR        <
3  P_INT_ZERO        <
4  TO_BE_PRINTED     <
5  P_LINE            <
6  PUSH_CALL         <
```

```

7 PRINT_STACK_ADDRS      <
8 POP_CALL               <
9 READ_INT               <
10 STORE_PTR             <
11 GETS                  <
12 STORE_PTR_IO          <
13 WORD_TO_BE_SAVED      <
14 SAVE_WORD_ON_STACK    <
15 LOAD_WORD_FROM_STACK  <
16 ORIGIN_PTR            <
17 POP_CALL_FCT          <
18 PUSH_ARITH            <
19 POP_ARITH              <
20 SUM_ARITH              <
21 SUB_ARITH              <
22 DIV_ARITH              <
23 MUL_ARITH              <
24 AND_ARITH              <
25 OR_ARITH               <
26 NOT_ARITH              <
27 GEQ_OPER_ARITH        <
28 LEQ_OPER_ARITH        <
29 DBG                    <
30 @ /0000
31 CZAR_INICIO_CODE      JP CZAR_INICIO
32 CZAR_STUB              K =1
33 ;;=====
34
35 CONST_VAR_0            K =6   ; const int fat_10_rec = 6;
36 GLOBAL_VAR_0           K =0   ; decl int retorno;
37 _CONST_NUM_1           K =0001
38
39 FUNCTION_0_RETURN       K =0   ; int
40 FUNCTION_0_ARG_0        K =0   ; int n
41 FUNCTION_0_TMP_0        K =0   ; function return
42 FUNCTION_0_LOCAL_VAR_0  K =0   ; decl int retorno = 1;
43                         K =4   ; int fatorial_recursivo(int n) {
44 FUNCTION_0              JP /000 ;
45                         LV FUNCTION_0
46                         SC PUSH_CALL
47
48                         LV =1                      ; retorno = 1;
49                         MM WORD_TO_BE_SAVED
50                         LV =3                      ; FUNCTION_0_LOCAL_VAR_0
51                         SC SAVE_WORD_ON_STACK
52                         ;; (n >= 1)
53                         LV =2                      ; FUNCTION_0_ARG_0

```

```

54      SC LOAD_WORD_FROM_STACK
55      SC PUSH_ARITH
56      LD _CONST_NUM_1
57      SC PUSH_ARITH
58      SC GEQ_OPER_ARITH
59      SC POP_ARITH
60      JZ FUNCTION_0_LABEL_0
61
62      LV =2
63      SC LOAD_WORD_FROM_STACK
64      SC PUSH_ARITH
65      LD _CONST_NUM_1
66      SC PUSH_ARITH
67      SC SUB_ARITH
68      SC POP_ARITH
69
70      MM FUNCTION_0_ARG_0
71      SC FUNCTION_0          ; call
          fatorial_recursivo (n - 1);
72      LD FUNCTION_0_RETURN
73      MM WORD_TO_BE_SAVED
74      LV =1
75      SC SAVE_WORD_ON_STACK
76
77      LV =2                      ; n * call
          fatorial_recursivo (n - 1);
78      SC LOAD_WORD_FROM_STACK
79      SC PUSH_ARITH
80      LV =1
81      SC LOAD_WORD_FROM_STACK
82      SC PUSH_ARITH
83      SC MUL_ARITH
84
85      SC POP_ARITH ; set retorno = *
86      MM WORD_TO_BE_SAVED
87      LV =3
88      SC SAVE_WORD_ON_STACK
89 FUNCTION_0_LABEL_0 * CZAR_STUB
90      LV =3
91      SC LOAD_WORD_FROM_STACK
92      SC PUSH_ARITH
93      SC POP_ARITH
94      MM FUNCTION_0_RETURN
95      LV FUNCTION_0
96      SC POP_CALL          ;; trickery!
97      RS FUNCTION_0      ;      return retorno;
98 ;; INIT PROG =====

```

```

99  CZAR_INICIO          * CZAR_STUB ;; stub instruction
100                      LD CONST_VAR_0
101                      MM FUNCTION_0_ARG_0
102                      SC FUNCTION_0          ;; depois chama..
103                      LD FUNCTION_0_RETURN
104                      MM GLOBAL_VAR_0
105                      LD GLOBAL_VAR_0
106                      MM TO_BE_PRINTED
107                      SC P_INT_ZERO
108  FIM                  HM /00
109  # CZAR_INICIO_CODE

```

5.3 Tradução do programa fatorial para linguagem de saída MVN

```

1  4000 0000 ; "P_STRING<"
2  4001 0000 ; "STRING_PTR<"
3  4002 0000 ; "P_INT_ZERO<"
4  4003 0000 ; "TO_BE_PRINTED<"
5  4004 0000 ; "P_LINE<"
6  4005 0000 ; "PUSH_CALL<"
7  4006 0000 ; "PRINT_STACK_ADDRS<"
8  4007 0000 ; "POP_CALL<"
9  4008 0000 ; "READ_INT<"
10 4009 0000 ; "STORE_PTR<"
11 4010 0000 ; "GETS<"
12 4011 0000 ; "STORE_PTR_IO<"
13 4012 0000 ; "WORD_TO_BE_SAVED<"
14 4013 0000 ; "SAVE_WORD_ON_STACK<"
15 4014 0000 ; "LOAD_WORD_FROM_STACK<"
16 4015 0000 ; "ORIGIN_PTR<"
17 4016 0000 ; "POP_CALL_FCT<"
18 4017 0000 ; "PUSH_ARITH<"
19 4018 0000 ; "POP_ARITH<"
20 4019 0000 ; "SUM_ARITH<"
21 4020 0000 ; "SUB_ARITH<"
22 4021 0000 ; "DIV_ARITH<"
23 4022 0000 ; "MUL_ARITH<"
24 4023 0000 ; "AND_ARITH<"
25 4024 0000 ; "OR_ARITH<"
26 4025 0000 ; "NOT_ARITH<"
27 4026 0000 ; "GEQ_OPER_ARITH<"
28 4027 0000 ; "LEQ_OPER_ARITH<"
29 4028 0000 ; "DBG<"
30 0000 0074
31 0002 0001
32 0004 0006

```

33	0006	0000
34	0008	0001
35	000a	0000
36	000c	0000
37	000e	0000
38	0010	0000
39	0012	0004
40	0014	0000
41	0016	3014
42	5018	a005
43	001a	3001
44	501c	9012
45	001e	3003
46	5020	a013
47	0022	3002
48	5024	a014
49	5026	a017
50	0028	8008
51	502a	a017
52	502c	a026
53	502e	a018
54	0030	1062
55	0032	3002
56	5034	a014
57	5036	a017
58	0038	8008
59	503a	a017
60	503c	a020
61	503e	a018
62	0040	900c
63	0042	a014
64	0044	800a
65	5046	9012
66	0048	3001
67	504a	a013
68	004c	3002
69	504e	a014
70	5050	a017
71	0052	3001
72	5054	a014
73	5056	a017
74	5058	a022
75	505a	a018
76	505c	9012
77	005e	3003
78	5060	a013
79	0062	6002

80	0064	3003
81	5066	a014
82	5068	a017
83	506a	a018
84	006c	900a
85	006e	3014
86	5070	a007
87	0072	b014
88	0074	6002
89	0076	8004
90	0078	900c
91	007a	3666
92	007c	a014
93	007e	800a
94	0080	9006
95	0082	8006
96	5084	9003
97	5086	a002
98	0088	c000

Apêndices

APÊNDICE A – Biblioteca auxiliar *std*

```

1 ; Biblioteca de ambiente
2 ; =====
3 ; exports
4 DBG >
5 PUSH_CALL >
6 POP_CALL >
7 SAVE_WORD_ON_STACK >
8 LOAD_WORD_FROM_STACK >
9 WORD_TO_SAVE >
10 ORIGIN_PTR >
11 GET_WORD_LOCAL_VAR >
12 WORD_TO_GET >
13 STORE_PTR >
14 PRINT_STACK_ADDRS >
15 POP_CALL_FCT >
16 WORD_TO_BE_SAVED >
17 ;; ARITH:
18 PUSH_ARITH >
19 POP_ARITH >
20 SUM_ARITH >
21 SUB_ARITH >
22 DIV_ARITH >
23 MUL_ARITH >
24 AND_ARITH >
25 OR_ARITH >
26 NOT_ARITH >
27 EQ_OPER_ARITH >
28 NEQ_OPER_ARITH >
29 LT_OPER_ARITH >
30 GEQ_OPER_ARITH >
31 GT_OPER_ARITH >
32 LEQ_OPER_ARITH >
33 ;; imports
34 READ_INT <
35 PONEASCII <
36 TO_BE_PRINTED <
37 P_STRING <
38 STRING_PTR <
39 P_INT_ZERO <
40 P_LINE <

```

[illegible]

```

88 ;; MISCELANEA ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
89 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
90 HIGH_V                JP /000
91 LOW_V                JP /000
92 ;; *** HIGH_LOW HIGH_V ***
93 HIGH_LOW             JP /000
94                     LD HIGH_V
95                     MM LOW_V
96                     LD LOW_V
97                     *  SHIFT_BYTE
98                     /  SHIFT_BYTE
99                     MM LOW_V
100                    LD HIGH_V
101                    /  SHIFT_BYTE
102                    MM HIGH_V
103
104                    LD LOW_V
105                    /  SHIFT_BYTE
106                    *  SHIFT_BYTE
107                    -  LOW_V
108                    MM LOW_V
109                    LD ZERO
110                    -  LOW_V
111                    MM LOW_V
112
113                    LD HIGH_V
114                    /  SHIFT_BYTE
115                    *  SHIFT_BYTE
116                    -  HIGH_V
117                    MM HIGH_V
118                    LD ZERO
119                    -  HIGH_V
120                    MM HIGH_V
121                    RS HIGH_LOW
122
123 ;;      Empilha um espaco de memoria
124 ;; para a pilha.
125
126 ;;  PUSH_CALL
127 ;;  CALLEE_FCT
128 ;;  POP_CALL
129 FUNCTION_BEING_CALLED      K  /000
130 SIZE_OF_CONTEXT           K  /000
131 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
132 ;; PUSH_CALL ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
133 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
134 ;; Use:                      this must be here -|      ;;
```

```

135 ;;                                [CONTEXT HERE]                                |                                ;;
136 ;;                                K  =<size of context> <-|                                ;;
137 ;; FUNCTION_EX                    JP /000                                ;;
138 ;;                                LV FUNCTION_EX                                ;;
139 ;;                                SC PUSH_CALL                                ;;
140 ;;                                ...                                ;;
141 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
142 PUSH_CALL                        JP /000
143                                MM FUNCTION_BEING_CALLED
144                                - TWO
145                                + LOAD_CONST
146                                MM LOAD_SIZE_OF_CONTEXT
147 LOAD_SIZE_OF_CONTEXT            JP /000
148                                MM SIZE_OF_CONTEXT
149                                LD FUNCTION_BEING_CALLED ;; Will copy
150                                the
151                                ;; return
152                                address
153                                + LOAD_CONST ;; TODO VERIFY THIS
154                                THING RIGHT HERE
155                                MM LOAD_PUSH_CALL ;; WE MAY NEED TO SUM
156                                UP 2 IN ORDER TO JUMP
157                                ;; OVER SOME INSTR
158                                LD STACK_PTR
159                                - TWO
160                                + MOVE_CONST
161                                MM MOVE_PUSH_CALL
162                                JP /000
163                                JP /000
164                                LD STACK_PTR
165                                - TWO
166                                - TWO
167                                - SIZE_OF_CONTEXT
168                                - SIZE_OF_CONTEXT
169                                MM TMP_1
170                                LD TMP_1
171                                + MOVE_CONST
172                                MM MRKR_PC_SAVE_HEAD
173                                LD STACK_PTR
174                                JP /000
175                                LD TMP_1
176                                MM STACK_PTR
177                                LD SIZE_OF_CONTEXT
178                                * TWO
179                                MM SIZE_OF_CONTEXT

```

```

178 ITER_AND_COPY_CONTEXT      LD SIZE_OF_CONTEXT
179                             JZ NO_MORE_CONTEXT_COPIES
180                             LD FUNCTION_BEING_CALLED
181                             - TWO
182                             - SIZE_OF_CONTEXT
183                             + LOAD_CONST
184                             MM LOAD_VAR_PUSH_CALL
185                             LD STACK_PTR
186                             ;+ TWO
187                             + SIZE_OF_CONTEXT
188                             + MOVE_CONST
189                             MM MOVE_VAR_PUSH_CALL
190 LOAD_VAR_PUSH_CALL          JP /000
191 MOVE_VAR_PUSH_CALL          JP /000
192                             LD SIZE_OF_CONTEXT
193                             - TWO
194                             MM SIZE_OF_CONTEXT
195
196                             JP ITER_AND_COPY_CONTEXT
197 NO_MORE_CONTEXT_COPIES      * ONE
198                             RS PUSH_CALL
199
200 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
201 ;; POP_CALL ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
202 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
203 ;; Use: ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
204 ;; ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
205 ;; LV FCT_EXAMPLE ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
206 ;; SC POP_CALL ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
207 ;; RS FCT_EXAMPLE ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
208 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
209 POP_CALL_FCT                K /0000
210 POP_CALL                    JP /000 ; retorno
211                             MM POP_CALL_FCT
212                             LD STACK_PTR
213                             + LOAD_CONST
214                             MM MRKR_PC_LOAD_HEAD
215 MRKR_PC_LOAD_HEAD          JP /000
216                             MM STACK_PTR
217                             LD STACK_PTR
218                             - TWO
219                             + LOAD_CONST
220                             MM LOAD_RETURN_ADDRS_2
221                             LD POP_CALL_FCT
222                             + MOVE_CONST
223                             MM MOVE_RETURN_ADDRS_2
224 LOAD_RETURN_ADDRS_2        JP /000

```

[illegible]

```

270                                     + LOAD_CONST    ;;
271                                     MM LOAD_WORD_LOCAL_VAR
272 LOAD_WORD_LOCAL_VAR                JP /000    ;; 8FROMPTR
273                                     RS LOAD_WORD_FROM_STACK
274
275
276 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
277 ;; PRINT_STACK_ADDRS ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
278 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
279 ;; Use:                                     ;;
280 ;;                                     ...                ;;
281 ;;                                     SC PRINT_STACK_ADDRS    ;;
282 ;;                                     ...                ;;
283 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
284
285 STACK_WAS_STR K /5374
286                K /6163
287                K /6b20
288                K /0077
289                K /6173
290                K /3a20
291                K /0000
292
293 PRINT_STACK_ADDRS JP /000
294                LV STACK_WAS_STR    ; carrega o ponteiro da string
295                MM STRING_PTR    ; copia o ponteiro para o parametro
296                SC P_STRING    ; roda p_string
297                LD STACK_PTR
298                MM TO_BE_PRINTED
299                SC P_INT_ZERO
300                SC P_LINE
301                RS PRINT_STACK_ADDRS
302
303 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
304 ;; PILHA ARITIMETICA ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
305 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
306
307 ARIT_STACK_ZERO K /0000    ;; 0
308                K /0000    ;; 1
309                K /0000    ;; 2
310                K /0000    ;; 3
311                K /0000    ;; 4
312                K /0000    ;; 5
313                K /0000    ;; 6
314                K /0000    ;; 7
315                K /0000    ;; 8
316                K /0000    ;; 9

```

```

317          K /0000    ;; 10
318          K /0000    ;; 11
319          K /0000    ;; 12
320          K /0000    ;; 13
321          K /0000    ;; 14
322          K /0000    ;; 15
323          K /0000    ;; 16
324          K /0000    ;; 17
325          K /0000    ;; 18
326          K /0000    ;; 19
327          K /0000    ;; 20
328          K /0000    ;; 31
329          K /0000    ;; 32
330          K /0000    ;; 33
331          K /0000    ;; 34
332          K /0000    ;; 35
333          K /0000    ;; 36
334          K /0000    ;; 37
335          K /0000    ;; 38
336          K /0000    ;; 39
337          K /0000    ;; 30
338 ARIT_PTR_STACK K ARIT_STACK_ZERO
339
340 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
341 ;; ARITHMETIC CALLS ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
342 ;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;;
343
344 ;-----PUSH_ARITH-----
345 PUSH_ARITH      JP /000
346                MM TMP_1
347                LD ARIT_PTR_STACK
348                + TWO
349                MM ARIT_PTR_STACK
350                + MOVE_CONST
351                MM OP_PUSH_ARITH
352                LD TMP_1
353 OP_PUSH_ARITH   JP /000
354                RS PUSH_ARITH
355 ;-----POP_ARITH-----
356 POP_ARITH       JP /000
357                LD ARIT_PTR_STACK
358                - TWO
359                MM ARIT_PTR_STACK
360                + TWO
361                + LOAD_CONST
362                MM OP_POP_ARITH
363 OP_POP_ARITH    JP /000

```



```

364          RS POP_ARITH
365 ;-----FLIP_ARITH-----
366 FLIP_ARITH    JP /000
367             MM TMP_4
368             SC POP_ARITH
369             MM TMP_2
370             SC POP_ARITH
371             MM TMP_3
372             LD TMP_2
373             SC PUSH_ARITH
374             LD TMP_3
375             SC PUSH_ARITH
376             LD TMP_4
377             RS FLIP_ARITH
378 ;-----SUM_ARITH-----
379 SUM_ARITH     JP /000
380             SC POP_ARITH
381             MM TMP_2
382             SC POP_ARITH
383             +  TMP_2
384             SC PUSH_ARITH
385             RS SUM_ARITH
386 ;-----SUB_ARITH-----
387 SUB_ARITH     JP /000
388             SC POP_ARITH
389             MM TMP_2
390             SC POP_ARITH
391             -  TMP_2
392
393             SC PUSH_ARITH
394             RS SUB_ARITH
395
396 ;-----DIV_ARITH-----
397 DIV_ARITH     JP /000
398             SC POP_ARITH
399             MM TMP_2
400             SC POP_ARITH
401             /  TMP_2
402             SC PUSH_ARITH
403             RS DIV_ARITH
404
405 ;-----MUL_ARITH-----
406 MUL_ARITH     JP /000
407             SC POP_ARITH
408             MM TMP_2
409             SC POP_ARITH
410             *  TMP_2

```

```

411          SC PUSH_ARITH
412          RS MUL_ARITH
413
414 ;-----AND_ARITH-----
415 AND_ARITH      JP /000
416              SC POP_ARITH
417              MM TMP_2
418              SC POP_ARITH
419              JZ PUSH_ZERO_AND_ARITH
420              LD TMP_2
421              JZ PUSH_ZERO_AND_ARITH
422              LV /001
423              SC PUSH_ARITH
424              RS AND_ARITH
425 PUSH_ZERO_AND_ARITH  LV /000
426              SC PUSH_ARITH
427              RS AND_ARITH
428
429 ;-----OR_ARITH-----
430 OR_ARITH       JP /000
431              SC POP_ARITH
432              MM TMP_2
433              SC POP_ARITH
434              JZ ONE_ZERO_OR_ARITH
435              LV /001
436              SC PUSH_ARITH
437              RS OR_ARITH
438 ONE_ZERO_OR_ARITH  LD TMP_2
439              JZ PUSH_ZERO_OR_ARITH
440              LV /001
441              SC PUSH_ARITH
442              RS OR_ARITH
443 PUSH_ZERO_OR_ARITH  LV /000
444              SC PUSH_ARITH
445              RS OR_ARITH
446
447 ;-----EQ_OPER_ARITH-----
448 EQ_OPER_ARITH   JP /000
449              SC SUB_ARITH
450              SC POP_ARITH
451              JZ EQ_OPER_ARITH_EQUAL
452              LD ZERO
453              SC PUSH_ARITH
454              RS EQ_OPER_ARITH
455 EQ_OPER_ARITH_EQUAL  LD ONE
456              SC PUSH_ARITH
457              RS EQ_OPER_ARITH

```

```

458
459 ;-----NEQ_OPER_ARITH-----
460 NEQ_OPER_ARITH      JP /000
461                      SC EQ_OPER_ARITH
462                      SC NOT_ARITH
463                      RS NEQ_OPER_ARITH
464
465 ;-----LT_OPER_ARITH-----
466 LT_OPER_ARITH        JP /000          ;; a1 < a2
467                      SC SUB_ARITH
468                      SC POP_ARITH
469                      JN LT_OPER_ARITH_RET_ONE
470                      LD ZERO
471                      SC PUSH_ARITH
472                      RS LT_OPER_ARITH
473 LT_OPER_ARITH_RET_ONE LD ONE
474                      SC PUSH_ARITH
475                      RS LT_OPER_ARITH
476
477 ;-----GEQ_OPER_ARITH-----
478 GEQ_OPER_ARITH        JP /000          ;; a1 >= a2
479                      SC LT_OPER_ARITH
480                      SC NOT_ARITH
481                      RS GEQ_OPER_ARITH
482
483 ;-----GT_OPER_ARITH-----
484 GT_OPER_ARITH        JP /000          ;; a1 > a2
485                      SC FLIP_ARITH
486                      SC LT_OPER_ARITH
487                      RS GT_OPER_ARITH
488
489
490 ;-----LEQ_OPER_ARITH-----
491 LEQ_OPER_ARITH        JP /000          ;; a1 <= a2
492                      SC GT_OPER_ARITH
493                      SC NOT_ARITH
494                      RS LEQ_OPER_ARITH
495
496 ;-----NOT_ARITH-----
497 NOT_ARITH            JP /000
498
499                      SC POP_ARITH
500                      JZ PUSH_ONE_NOT_ARITH
501                      LV =0
502                      SC PUSH_ARITH
503                      RS NOT_ARITH
504 PUSH_ONE_NOT_ARITH    LV =1

```

```

505          SC PUSH_ARITH
506          RS NOT_ARITH
507
508 ; -----DBG_ARITH-----
509 DBG_ARITH      JP /000
510               MM TMP_3
511               SC POP_ARITH
512               MM TMP_4
513               MM TO_BE_PRINTED
514               SC P_INT_ZERO
515               SC P_LINE
516               LD TMP_4
517               SC PUSH_ARITH
518               LD ARIT_PTR_STACK
519               MM TO_BE_PRINTED
520               SC P_INT_ZERO
521               SC P_LINE
522               SC P_LINE
523               LD TMP_3
524               RS DBG_ARITH
525
526 # START_STD_LIB_PADDING
527
528
529
530
531
532
533
534
535
536
537
538
539
540
541 CTR          K =0
542 _KEEP_ALIVE_DBG      K =0
543 DBG          MM _KEEP_ALIVE_DBG
544               LV /003C
545               PD /100
546               LD CTR
547               MM TO_BE_PRINTED
548               SC P_INT_ZERO
549               LV /003E
550               PD /100
551               LV /000A

```

552	PD /100
553	LV =1
554	+ CTR
555	MM CTR
556	SC PRINT_STACK_ADDRS
557	LD _KEEP_ALIVE_DBG
558	RS DBG

APÊNDICE B – Biblioteca auxiliar *stdio*

```

1  PONEASCII          >
2  TO_BE_PRINTED      >
3  P_STRING           >
4  STRING_PTR         >
5  P_INT_ZERO         >
6  P_LINE             >
7  STORE_PTR_IO       >
8  READ_INT           >
9  GETS               >
10
11
12
13  & /0000
14  START_STD_LIB_PADDING K /0000
15
16  SHIFT_BYTE         K /0100
17  TO_BE_PRINTED      K /0000
18  TO_BE_PRINTED_TMP  K /0000
19  LOAD_CONST         K /8000    ; instruction to load
20  LOADV_CONST        K /3000    ; instruction to load
21  MOVE_CONST         K /9000    ; instruction to move to memory
22  ZERO               K /0000
23  TWO                K /0002
24  ONE                K /0001
25  TEN                K =10
26  STRING_PTR         K /0000    ; ponteiro para o comeco da string
27  TMP_1              K /0000
28  TMP_2              K /0000
29  TMP_3              K /0000
30  TMP_4              K /0000
31
32
33  ; MISCELANEA:
34  ;; *** HIGH_LOW HIGH_V ***
35  HIGH_V              JP /000
36  LOW_V               JP /000
37  HIGH_LOW            JP /000
38                      LD HIGH_V
39                      MM LOW_V
40                      LD LOW_V

```

```

41          *  SHIFT_BYTE
42          /  SHIFT_BYTE
43          MM LOW_V
44          LD HIGH_V
45          /  SHIFT_BYTE
46          MM HIGH_V
47
48          LD LOW_V
49          /  SHIFT_BYTE
50          *  SHIFT_BYTE
51          -  LOW_V
52          MM LOW_V
53          LD ZERO
54          -  LOW_V
55          MM LOW_V
56
57          LD HIGH_V
58          /  SHIFT_BYTE
59          *  SHIFT_BYTE
60          -  HIGH_V
61          MM HIGH_V
62          LD ZERO
63          -  HIGH_V
64          MM HIGH_V
65
66          RS HIGH_LOW
67 ;;*** P_LINE***
68 ;; imprime uma linha nova
69          K  /6665
70 P_LINE          JP /000          ; alocando para o endereo de
        retorno
71          LV /00A  ; carregar a variavel
72          PD /100          ; imprimir na tela
73          RS P_LINE          ; retornar a rotina
74
75 ; inicio da rotina
76 PONEASCII          JP /000          ; alocando para o endereo de
        retorno
77 PONEASCII_INIT          LD TO_BE_PRINTED  ; carregar a variavel
78          PD /100          ; imprimir na tela
79          RS PONEASCII          ; retornar a rotina
80
81 ;; **** P_STRING &STRING_PTR ****
82 ;;   Imprime a string apontada por STRING_PTR ate
83 ;;   o caractere /000
84
85 P_STRING          JP /000          ; endereco de retorno

```

```

86 PSTRINGINIT      LD STRING_PTR
87                  MM TO_BE_PRINTED_TMP
88 LOAD_TO_BE_PRINTED LD TO_BE_PRINTED_TMP
89                  + LOAD_CONST
90                  MM LABELLOAD
91 LABELLOAD         K /0000
92                  JZ P_STRING_END ; se zero vamos para o final!
93                  PD /100
94                  LD TO_BE_PRINTED_TMP
95                  + TWO
96                  MM TO_BE_PRINTED_TMP
97                  JP LOAD_TO_BE_PRINTED
98 P_STRING_END      RS P_STRING
99
100 ;; *** READ_INT STORE_PTR_IO ***
101 ;; doesnt care about buffers, should have a trailing char at the end of
    the
102 ;; stream otherwise it will just discard it..
103 STORE_PTR_IO      JP /000
104 ZERO_M_ONE        K /002F
105 NINE_P_ONE        K /0039
106
107 LOW               K /0000
108 HIGH              K /0000
109 GO_IF_NUMBER      K /0000
110 TO_BE_TRIMMED     K /0000
111 TBT_TMP           K /0000
112
113 TRIM_INT          JP /000
114                  LD TO_BE_TRIMMED
115                  / SHIFT_BYTE
116                  * SHIFT_BYTE
117                  MM TBT_TMP
118                  LD TO_BE_TRIMMED
119                  - TBT_TMP
120                  MM TO_BE_TRIMMED
121                  RS TRIM_INT
122
123 READ_INT_WORD     JP /000
124                  GD /000
125                  MM TMP_3
126                  LD TMP_3
127                  / SHIFT_BYTE
128                  MM TO_BE_TRIMMED
129                  SC TRIM_INT
130                  LD TO_BE_TRIMMED
131                  MM HIGH

```



```

132
133             LD TMP_3
134             MM TO_BE_TRIMMED
135             SC TRIM_INT
136             LD TO_BE_TRIMMED
137             MM LOW
138             RS READ_INT_WORD
139
140 READ_INT     JP /000
141             LV =0
142             MM TMP_4
143 READ_INT_LOOP SC READ_INT_WORD
144             LD HIGH
145             MM TMP_3
146             LV CONT1
147             MM GO_IF_NUMBER
148             JP IF_NUMBER_CONTINUE
149 CONT1        LD LOW
150             MM TMP_3
151             LV READ_INT_LOOP
152             MM GO_IF_NUMBER
153             JP IF_NUMBER_CONTINUE
154 NOT_NUMBER   LD STORE_PTR_IO
155             + MOVE_CONST
156             MM MOVE_READ_INT
157             LD TMP_4
158 MOVE_READ_INT JP /000
159             RS READ_INT
160
161 IF_NUMBER_CONTINUE LD TMP_3
162             - ZERO_M_ONE
163             JN NOT_NUMBER
164             LD NINE_P_ONE
165             - TMP_3
166             JN NOT_NUMBER
167
168             LD TMP_4
169             * TEN
170             MM TMP_4
171
172
173             LD TMP_3
174             - ZERO_M_ONE
175             - ONE
176             + TMP_4
177             MM TMP_4
178

```

```

179             LD GO_IF_NUMBER
180             MM END_READ_INT
181 END_READ_INT JP /000
182
183 ;; *** GETS STORE_PTR_IO ***
184 ;; Existe um problema de buffer aqui... nao vamos
185 ;; trata-lo
186 LAST_CONTROL_CHAR_P_ONE K /0021
187 ARRAY_POS_BYTE JP /000
188 GETS JP /000
189 LD STORE_PTR_IO
190 MM ARRAY_POS_BYTE
191 GETS_LOOP GD /000
192 MM HIGH_V
193 SC HIGH_LOW
194 LD HIGH_V
195 - LAST_CONTROL_CHAR_P_ONE
196 JN RETURN_GETS
197 LD ARRAY_POS_BYTE
198 + MOVE_CONST
199 MM MOVE_HIGH_V
200 LD HIGH_V
201 MOVE_HIGH_V JP /000
202
203 LD ARRAY_POS_BYTE
204 + TWO
205 MM ARRAY_POS_BYTE
206
207 LD LOW_V
208 - LAST_CONTROL_CHAR_P_ONE
209 JN RETURN_GETS
210 LD ARRAY_POS_BYTE
211 + MOVE_CONST
212 MM MOVE_LOW_V
213 LD LOW_V
214 MOVE_LOW_V JP /000
215
216 LD ARRAY_POS_BYTE
217 + TWO
218 MM ARRAY_POS_BYTE
219
220 JP GETS_LOOP
221
222 RETURN_GETS LD ARRAY_POS_BYTE
223 + MOVE_CONST
224 MM MOVE_ZERO
225 LV =000

```

```

226 MOVE_ZERO          JP /000
227
228                 LD ARRAY_POS_BYTE
229                 + TWO
230                 MM ARRAY_POS_BYTE
231                 RS GETS
232
233
234 ;; *** P_INT_ZERO TO_BE_PRINTED ***
235 ;;  Imprime um inteiro (com zeros a esquerda)
236 ;;  ex:
237 ;;  INT_2 K  =345
238 ;;          LD INT_2
239 ;;          MM TO_BE_PRINTED
240 ;;          SC P_INT_ZERO
241 ;;  imprime 00345
242 ;;
243 ;;
244 ;;  Esta funcao esta com o loop inline
245 ;;  sendo simples e robusta
246
247 P_INT_ZERO          JP /000
248 P_INT_INIT          JP P_INT_REAL_INIT
249 ZERO_BASE           K /30
250 ;; bases para a conversao:
251 INT_POT_1           K =10000
252 INT_POT_2           K =1000
253 INT_POT_3           K =100
254 INT_POT_4           K =10
255 INT_POT_5           K =1
256 P_INT_REAL_INIT     LD TO_BE_PRINTED          ;; PRIMEIRO CHAR
257                   MM TMP_1
258                   / INT_POT_1
259                   + ZERO_BASE
260                   PD /100                      ;; imprime
261                   LD TMP_1
262                   / INT_POT_1
263                   * INT_POT_1
264                   MM TMP_2
265                   LD TMP_1
266                   - TMP_2
267                   MM TMP_1
268                   / INT_POT_2                  ;; segundo char
269                   + ZERO_BASE
270                   PD /100                      ;; imprime
271                   LD TMP_1
272                   / INT_POT_2

```

```
273      * INT_POT_2
274      MM TMP_2
275      LD TMP_1
276      - TMP_2
277      MM TMP_1
278      / INT_POT_3      ;; terceiro char
279      + ZERO_BASE
280      PD /100          ;; imprime
281      LD TMP_1
282      / INT_POT_3
283      * INT_POT_3
284      MM TMP_2
285      LD TMP_1
286      - TMP_2
287      MM TMP_1
288      / INT_POT_4      ;; quarto char
289      + ZERO_BASE
290      PD /100          ;; imprime
291      LD TMP_1
292      / INT_POT_4
293      * INT_POT_4
294      MM TMP_2
295      LD TMP_1
296      - TMP_2
297      MM TMP_1
298      / INT_POT_5      ;; quinto char
299      + ZERO_BASE
300      PD /100          ;; imprime
301      LD TMP_1
302      / INT_POT_5
303      * INT_POT_5
304      MM TMP_2
305      LD TMP_1
306      - TMP_2
307      MM TMP_1
308      RS P_INT_ZERO
309
310 # START_STD_LIB_PADDING
```