Laboratório 1
- Assembly MIPS –

Marcelo Giordano Martins Costa de Oliveira, 12/0037301

[1]Dep. Ciência da Computação – Universidade de Brasília (UnB)
CiC 116394 - OAC - Turma A

Abstract. *This report corresponds to the Experiment 1 about Assembly MIPS.*

Resumo. *Este relatório corresponde ao Experimento 1 sobre Assembly MIPS.*

Introdução

Objetivos

- Familiarizar o aluno com o Simulador/Montador MARS;
- Desenvolver a capacidade de codificação de algoritmos em linguagem Assembly MIPS;
- Desenvolver a capacidade de análise de desempenho de algoritmos em Assembly;

Ferramentas

- MARS v.4.5 Custom 7
- Cross compiler MIPS GCC
- Inkscape e GIMP

Procedimentos

Simulador/Montador MARS

Essa parte do relatório foi realizada com o intuito de familiarizar os alunos ao Simulador/Montador MARS.

No item 1.2 do relatório, foram pedidos os gráficos relacionados aos valores do vetor fornecido e ao tempo de execução da subrotina Sort fornecida pelo professor. Temos então o grafico em Melhor caso 1 e Pior Caso 2 da rotina de ordenação Sort.

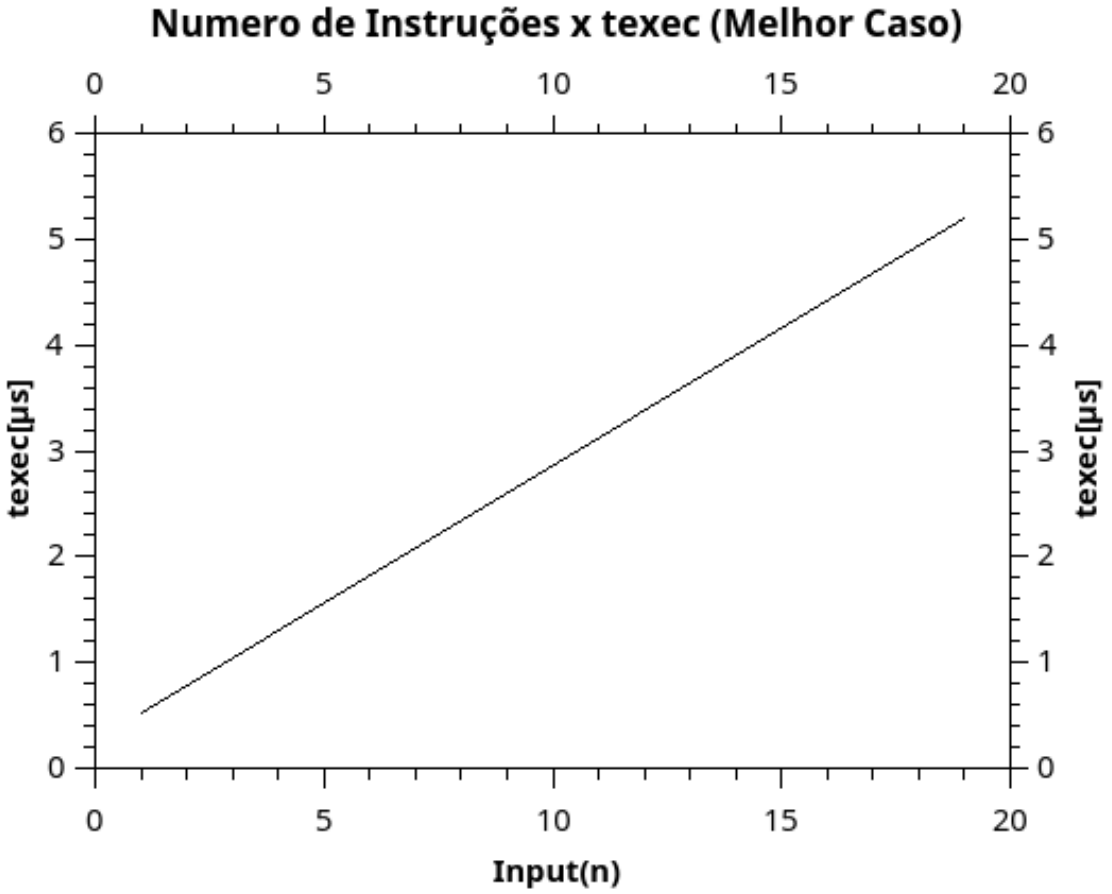


Figura 1. n x texec(Melhor Caso)

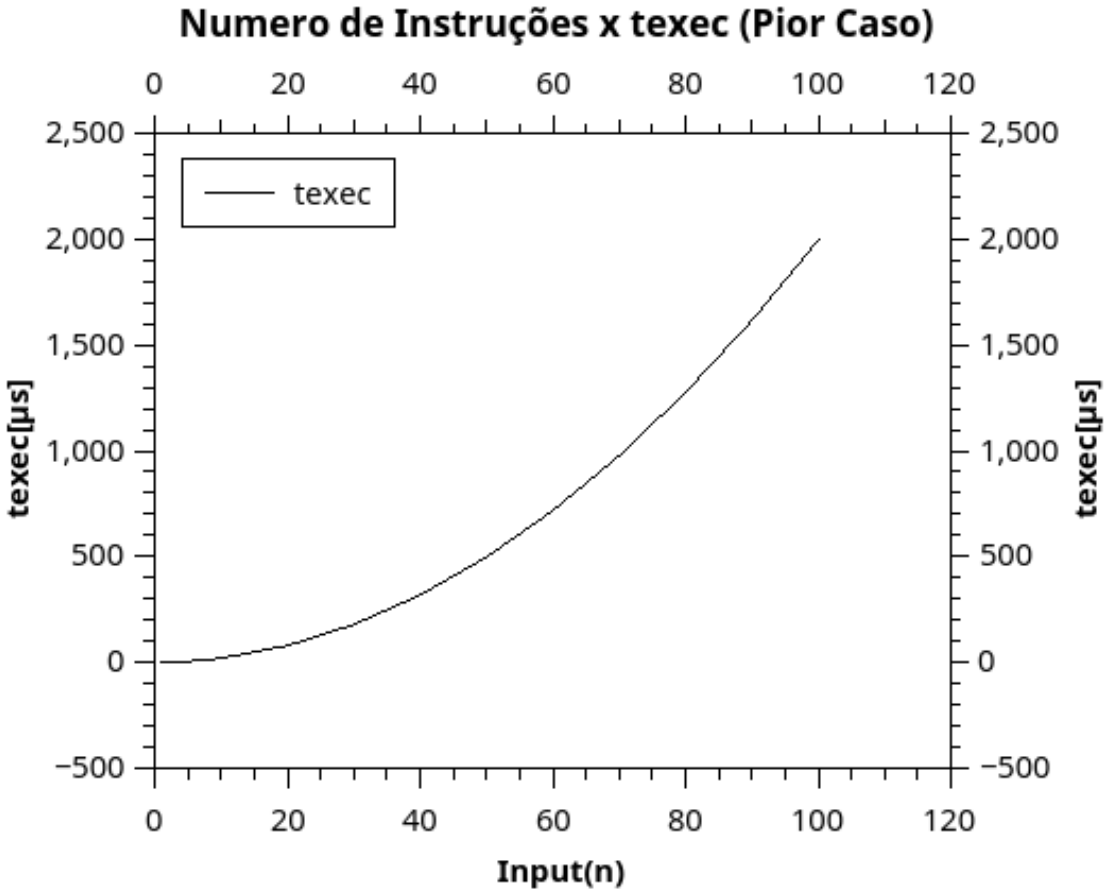


Figura 2. n x texec(Pior Caso)

Analisando somente os gráficos, percebemos que esse algoritmo tem tempo de execução Linear em seu Melhor caso e em Pior caso, sendo representado por um braço de parábola, tem tempo de execução limitado por O(n^2).

Compilador GCC

Para compilar código C em código Assembly foi utilizado o cross compiler [MIPS] GCC. Usando o comando $ mips-elf-gcc -I../include -S testeX.c (X $\in$ [0,8]) foi testado a convenção para geração do código Assembly.

Diretivas

Diretivas são apenas comandos ao montador e não fazem parte do conjunto de instruções dos processadores *x86*. Todas as diretivas começam com (.) (*ASCII 0x2E*). Elas permitem a alocação de espaço para a declaração de variáveis ”*.byte*, *.word* ”, definição de escopo ”*.glob1* ”, além de várias outras funções de gerenciamento como as listadas a seguir (as informações abaixo foram encontradas usando as fontes [ORACLE], [SourceWare c], [SourceWare a], [SourceWare b], [GNU], [MTU], [UAF] e [UNIBO]):

- .file *string* : Cria uma tabela de símbolos de entrada onde a *string* é o nome do símbolo e *STT_FILE* é o tipo deste símbolo, a *string* especifica o nome do arquivo fonte associado ao arquivo objeto.
- .section *section*, *attributes* : *Section* é montado como seção atual. *Attributes* é incluso se for a primeira vez que *.section* é especificado.
- .mdebug : Força a saída de depuração para entrar em uma seção .mdebug de estilo ECOFF em vez das seções padrão ELF .stabs.
- .previous : Troca esta seção pela que foi referenciada recentemente.
- .nan : Esta diretiva diz qual codificação *MIPS* será usada para ponto flutuante IEEE 754. A primeira, padrão *2008*, diz para o montador utilizar a codificação IEEE 754-2008, enquando a *legacy* utiliza a codificação original do *MIPS*.
- .gnu_attribute *tag*, *value* : Grava um atributo objeto *gnu* para este arquivo.
- .globl *symbol1, symbol2, ..., symbolN*: Torna global cada símbolo da lista. A diretiva torna o símbolo global no escopo mas não declara o símbolo.
- .data : Muda a seção atual para *.data* (dados estáticos do programa).
- .type *symbol[, symbol, ..., symbol], type[, visibility]*: Atribui tipo ao símbolo, podendo ser do tipo função, objeto, sem tipo e um objeto *TLS (Thread Local Storage)*.
- .size *symbol, expr*: Resolve expressão e atribui tamanho em bytes ao *symbol*.
- .word : Armazena o valor listado como palavras de 32 bits no limite.
- .rdata : Adiciona dados apenas de leitura.
- .align *integer* : Ajusta o contador de locação para um valor múltiplo de 2.
- .ascii "*string*": Aloca espaço para cadeias de caracteres sem o "$\backslash 0$".
- .text : Muda a seção atual para *.text* (instruções).
- .ent *name[,label]* : Marca o começo da função *name*.
- .frame : Descreve o quadro da pilha usada para chamar a função principal(*main*).
- .set *symbol, expression*: Resolve a expressão (*expression*) e atribui o valor ao símbolo (*symbol*).
- .mask *mask offset* : Configura uma máscara que indica quais registradores de uso geral foram salvos na rotina atual. Esses valores são usados pelo montador para gerar a seção *.reginfo* do arquivo objeto dos processadores *MIPS*.
- .fmask *mask offset* : Configura uma máscara informando os registradores de ponto flutuante que a rotina atual salvou. Esses valores são usados pelo montador para gerar a seção *.reginfo* do arquivo objeto dos processadores *MIPS*.

Assembly no MARS

Algumas diretivas listadas acima não são reconhecidas pelo *MARS (Mips Assembly and Runtime Simulator)*, como por exemplo *.section, .previous, . nan, etc*, assim como alguns elementos como *@object, @function, etc*. Logo, as seguintes instruções foram retiradas:

- @object
  - .type v, @object
- @function

  - .type show, @function
  - .type swap, @function
  - .type sort, @function
  - .type main, @function
- .section
  - .section .mdebug.abi32
- .previous
  - .previous
- .nan
  - .nan legacy
- .gnu_attribute
  - .gnu_attribute 4, 1
- .size
  - .size v, 40
  - .size show, .-show
  - .size swap, .-swap
  - .size sort, .-sort
  - .size main, .-main
- .rdata
  - .rdata
- .set
  - .set nomips16
  - .set nomicromips
  - .set noreorder
  - .set nomacro
  - .set reorder
  - .set macro
- .ent
  - .ent show
  - .ent swap
  - .ent sort
  - .ent main
- .frame
  - .frame $fp,24,$31 # vars= 0, regs= 2/0, args= 16, gp= 0
  - .frame $fp,32,$31 # vars= 8, regs= 2/0, args= 16, gp= 0
  - .frame $fp,16,$31 # vars= 8, regs= 1/0, args= 0, gp= 0
  - .frame $fp,32,$31 # vars= 8, regs= 2/0, args= 16, gp= 0

- .mask
  - .mask 0xc0000000,-4
- .fmask
  - .fmask 0x00000000,0
- .end
  - .end swap
  - .end sort
  - .end main
  - .end show
- .ident
  - .ident ”GCC: (GNU) 4.8.1”

Há também outras instruções que o simulador emitiu alertas, como por exemplo sobre o *.align* não poder estar dentro de um segmento de texto. Portanto todos *.align* dentro de subrotinas foram retirados.

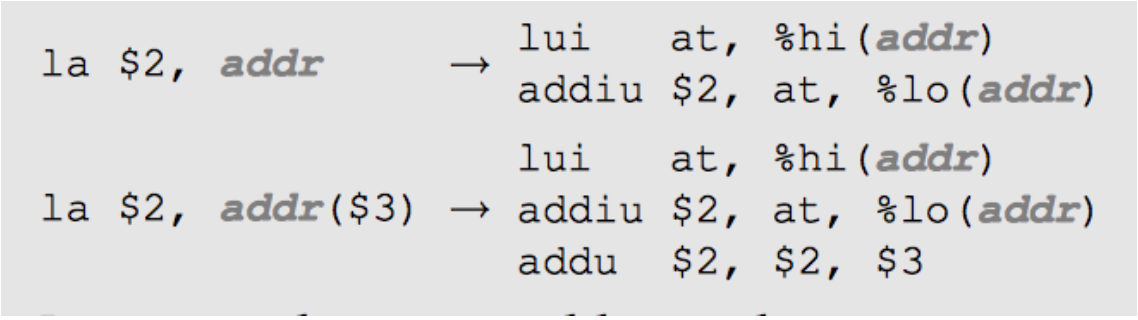


Figura 3. Instruções equivalentes dos construtores %hi() e %lo(). Imagem retirada do livro [Sweetman 2005].

Os construtores %hi() e %lo() também não estão presentes em todos montadores MIPS, podendo ser substituídos como mostra a Figura 19. Logo, as seguintes instruções foram trocadas :

- lui $v1,%hi($LC0) e addiu $a0,$v1,%lo($LC0) : la $a0, $LC0
- lui $v0,%hi(v) e addiu $a0,$v0,%lo(v) : la $a0, v

Outro problema encontrado foi na instrução *j $31, ou seja, j $ra*. A instrução *j* pula para um endereço alvo, e $ra é um registrador, portanto esta instrução foi substituída por *jr $ra*.

Algumas subrotinas como *printf e putchar* não são encontradas no assembly gerado mas são chamadas com a instrução *jal*, portanto estas também foram retiradas.

Por fim, mesmo após estas modificações básicas de sintaxe para que o código possa ser executado no MARS, ainda assim o código possui o fluxo um pouco confuso, já que após o primeiro *loop* ele já iria sair do processo com a instrução *li $a0, 10* que chama o serviço *exit (terminate execution)*. Portanto, algumas modificações foram realizadas para que o fluxo deste programa se inicie no *main*, chame as subrotinas *show* e *sort* e encerre no final da subrotina *main*.

Otimização do código Assembly

O arquivo *sortc.c* foi compilado novamente usando 5 diretivas de compilação, *-O0, -O1, -O2, -O3 e -Os*. Todos os arquivos gerados, *sortc0.s*, *sortc1.s*, *sortc2.s*, *sortc3.s* e *sortcs.s* foram alterados de acordo com a subseção anterior para que fosse possível executá-los no *MARS*.

Sprites

Na resolução do exercício, utilizamos as sprites do Ryu para conseguir realizar a atividade de colisão proposta.

A colisão acontece quando duas hitbox de personagens distintos encostam entre si.

Vídeo mostrando a interação de colisão. `https://www.youtube.com/watch?v=kbTLQQuw6RA`

Cálculo das raízes da equação de segundo grau:

```
.data
         abc: .float 0, 0, 0
        four: .float 4
         two: .float 2
   negativoF: .float -1
   negativoW: .word -1
       cplex: .asciiz "i"
        mais: .asciiz "+"
       menos: .asciiz "-"
  quebralinha: .asciiz "\n"
       raiz1: .asciiz "R(1) = "
       raiz2: .asciiz "R(2) = "
       space: .asciiz " "
       aviso: .asciiz "Digite ' 1 ' para calcular outra funcao, se nao digite ' 0 ' para encerrar."
        mesg: .asciiz "Digite o valor do coeficiente "
        coef: .asciiz "ABC"
.text

       main:

      continue:
               la, $t0, abc            # carrega o vetor abc vazio em t0
               li $t1, 0               # i = 0
               li $t2, 3               # flag = 3
               la $t4, coef            # char dos coeficientes
           ler:
               li $v0, 4               ###################
               la $a0, mesg            # mostra mesg na tela
               syscall                 ###################
```

Figura 4. Imagens dos codigos ja comentados relacionados ao exercicioo 4.

```
la $a0, mesg            # mostra mesg na tela
syscall                 ####################

lb $t5,($t4)            # carrega primeira posicao da string coef ( char dos coeficiente )

li $v0, 11              # codigo print de char
move $a0, $t5           # a0 = t5
syscall                 # print

addi $t4, $t4, 1        # coef++ , anda 1 byte no vetor de coeficientes

li $v0, 4               ###################
la $a0, quebralinha     ###################
syscall                 ###################

li $v0, 6               # ler float do teclado e armazena em f0
syscall                 ####################

swc1 $f0, ($t0)         # armazena o valor lido no vetor abc ( t0 )
addi $t0,$t0,4          # anda uma posicao (4bytes) em abc
addi $t1, $t1, 1        # i++

blt $t1, $t2, ler       # if ( i < flag ) go ler


li $v0, 4
la $a0, quebralinha
syscall
```

Figura 5. Imagens dos codigos ja comentados relacionados ao exercicioo 4.

```
syscall

jal baskara             # chama a funcao baskara
move $a0, $v0           # move o retorno em v0 para passagem de argumento em a0
jal show                # chama a funcao show passando o a0

li $v0, 4               ####################
la $a0, aviso           #       printa aviso
syscall                 ####################

li $v0, 4
la $a0, quebralinha
syscall

li $v0, 5               # ler opcao calcular novamente ou nao
syscall                 ####################
move $t3, $v0           ####################
beq $t3, 1, continue    # if ( t3 == 1 ) go continue, else o calculo termina

#jal baskara

#move $a0, $v0

#jal show


li $v0, 10              # return 0
syscall                 # return 0
```

Figura 6. Imagens dos codigos ja comentados relacionados ao exercicioo 4.

```
delta:
        la $t0, abc
        lwc1, $f1,0($t0)              # a
        lwc1, $f2,4($t0)              # b
        lwc1, $f3,8($t0)              # c

        mul.s $f2, $f2, $f2     # b^2
        la $t1, four            # 4
        lwc1 $f4, ($t1)
        mul.s $f1, $f4, $f1     # 4*a
        mul.s $f3, $f1, $f3     # (4*a) * c

        sub.s $f3, $f2, $f3     # b^2 - 4*a*c


        #la $t0, negativoF
        #lwc1 $f1, ($t0)
        #mul.s $f3, $f3, $f1


        mov.s $f0, $f3          # return delta (pelo f0)

        jr $ra

baskara:
        addi $sp, $sp, -4       # libera espaco para um word na pilha
```

Figura 7. Imagens dos codigos ja comentados relacionados ao exercicioo 4.

```
        jr $ra

baskara:
        addi $sp, $sp, -4       # libera espaco para um word na pilha
        sw $ra, 4($sp)          # salva o endereco de retorno $ra na pilha
        jal delta               # chama a funcao que calcula o delta
        # f0 = delta
        lw $ra, 4($sp)          # devolve o endereco de retorno da funcao atual
        addi $sp, $sp, 4        # libera o espaco alocado pela pilha

        li $t1, 0               # 0 em inteiro
        mtc1 $t1, $f9           # movo 0 para o coproc 1
        cvt.s.w $f9, $f9        # converto 0 de int para float
        add.s $f8, $f9, $f0     # faco uma copia do delta em f0 para f8, COPIA
                                # f0 = delta(float)
                                # f8 = delta(float)


        cvt.w.s $f1, $f8        # converte delta de float para word
        mfc1 $t3, $f1           # movo delta do coproc 1 para os registradores de int
                                # t3 = delta(int)

        bgtz $t3, next          # if (t3 > 0) go next, else multiplica por (-1)

        la $t1, negativoF
        lwc1 $f4, ($t1)                 # f4 = -1
        mul.s $f0, $f0, $f4             # delta = f0 * (-1)

        next:
```

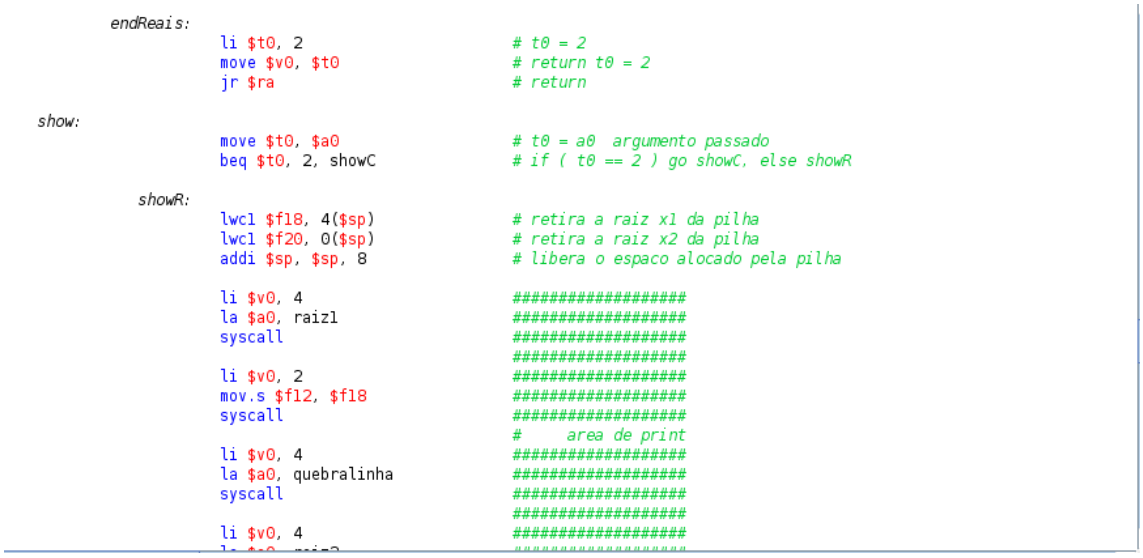
Figura 8. Imagens dos codigos ja comentados relacionados ao exercicioo 4.

```
    next:

    la $t5, negativoW       # carrengo o (-1) int
    lw $t6,($t5)            # t6 = -1


    la, $t0, abc
    lwc1, $f1,0($t0)              # a
    lwc1, $f2,4($t0)              # b
    lwc1, $f3,8($t0)              # c

    la $t1, negativoF
    lwc1 $f4, ($t1)               # f4 = -1
    mul.s $f2, $f4, $f2           # (-1)*b
    sqrt.s $f5, $f0               # f5 = raiz(f0) = raiz(delta)
    la $t2, two
    lwc1 $f6, ($t2)               # f6 = 2
    mul.s $f1, $f6, $f1           # 2 * a

    slt $t4, $t3, $zero     # if ( t3 < 0 ) t4 = 1 , else t4 = 0


    beqz $t4, reais


complexas:
            # f18 = x1
            # f20 = x2
```

Figura 9. Imagens dos codigos ja comentados relacionados ao exercicioo 4.

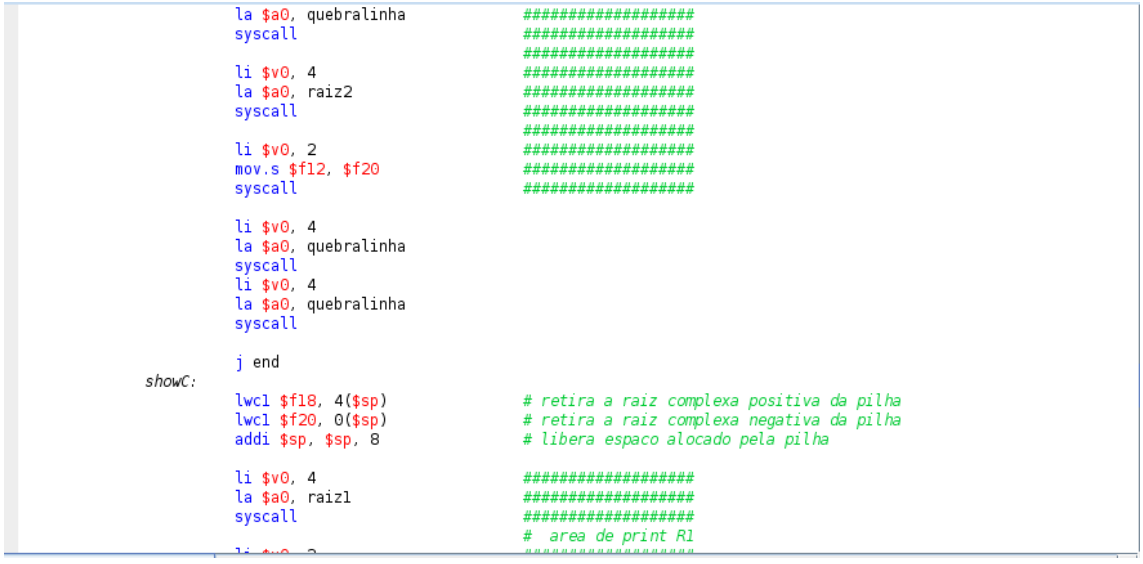
```
complexas:
            # f18 = x1
            # f20 = x2

            div.s $f18, $f2, $f1          # -b / 2 * a
            div.s $f20, $f5, $f1          # raiz(delta) / 2 * a
            addi $sp, $sp, -8             # aloca 2 espacos na pilha
            swc1 $f18, 4($sp)             # armazena a raiz na pilha
            swc1 $f20, 0($sp)             # armazena a raiz na pilha

            j endReais                    # salta para o fim da funcao para retorno complexo
    reais:
            # f18 = x1
            # f20 = x2
            add.s $f7, $f2, $f5           # f7 = -b + raiz(delta)
            div.s $f18, $f7, $f1          # f7 / 2 * a

            sub.s $f7, $f2, $f5           # f7 = -b - raiz(delta)
            div.s $f20, $f7, $f1          # f7 / 2 * a

            addi $sp, $sp, -8             # libera 2 espacos na pilha
            swc1 $f18, 4($sp)             # armazena a raiz na pilha
            swc1 $f20, 0($sp)             # armazena a raiz na pilha

            li $t0, 1                     # t0 = 1
            move $v0, $t0                 # return t0 = 1
            jr $ra                        # return
```

Figura 10. Imagens dos codigos ja comentados relacionados ao exercicioo 4.



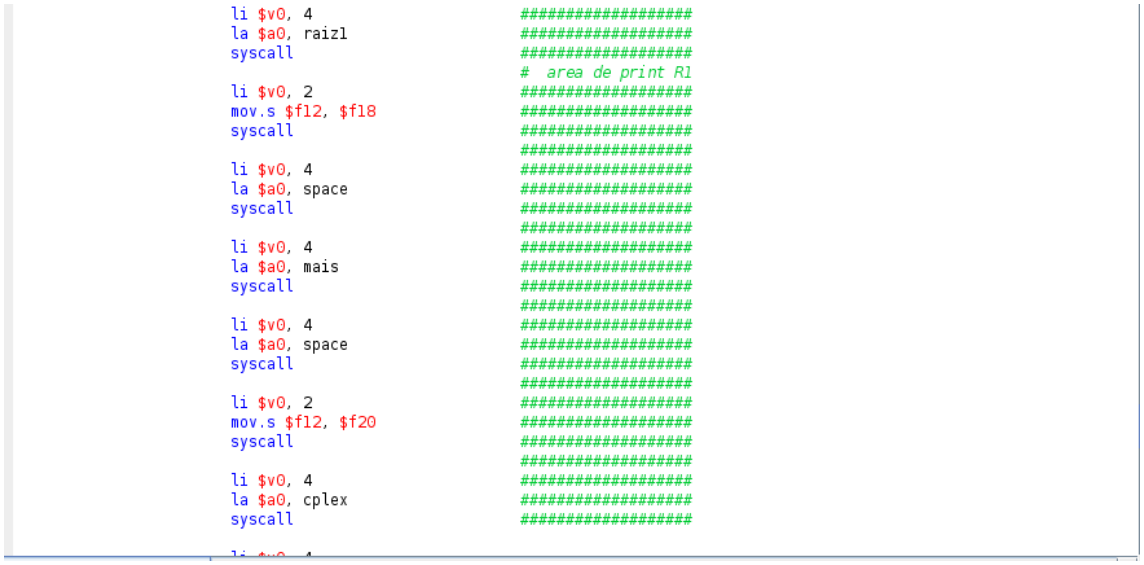
```
endReais:
                li $t0, 2                       # t0 = 2
                move $v0, $t0                   # return t0 = 2
                jr $ra                          # return

show:
                move $t0, $a0                   # t0 = a0  argumento passado
                beq $t0, 2, showC               # if ( t0 == 2 ) go showC, else showR

        showR:
                lwc1 $f18, 4($sp)               # retira a raiz x1 da pilha
                lwc1 $f20, 0($sp)               # retira a raiz x2 da pilha
                addi $sp, $sp, 8                # libera o espaco alocado pela pilha

                li $v0, 4                       ####################
                la $a0, raiz1                   ####################
                syscall                         ####################
                                                ####################
                li $v0, 2                       ####################
                mov.s $f12, $f18                ####################
                syscall                         ####################
                                                #     area de print
                li $v0, 4                       ####################
                la $a0, quebralinha             ####################
                syscall                         ####################
                                                ####################
                li $v0, 4                       ####################
```

Figura 11. Imagens dos codigos ja comentados relacionados ao exercicioo 4.



```
                la $a0, quebralinha             ####################
                syscall                         ####################
                                                ####################
                li $v0, 4                       ####################
                la $a0, raiz2                   ####################
                syscall                         ####################
                                                ####################
                li $v0, 2                       ####################
                mov.s $f12, $f20                ####################
                syscall                         ####################

                li $v0, 4
                la $a0, quebralinha
                syscall
                li $v0, 4
                la $a0, quebralinha
                syscall

                j end
        showC:
                lwc1 $f18, 4($sp)               # retira a raiz complexa positiva da pilha
                lwc1 $f20, 0($sp)               # retira a raiz complexa negativa da pilha
                addi $sp, $sp, 8                # libera espaco alocado pela pilha

                li $v0, 4                       ####################
                la $a0, raiz1                   ####################
                syscall                         ####################
                                                #  area de print R1
```

Figura 12. Imagens dos codigos ja comentados relacionados ao exercicioo 4.

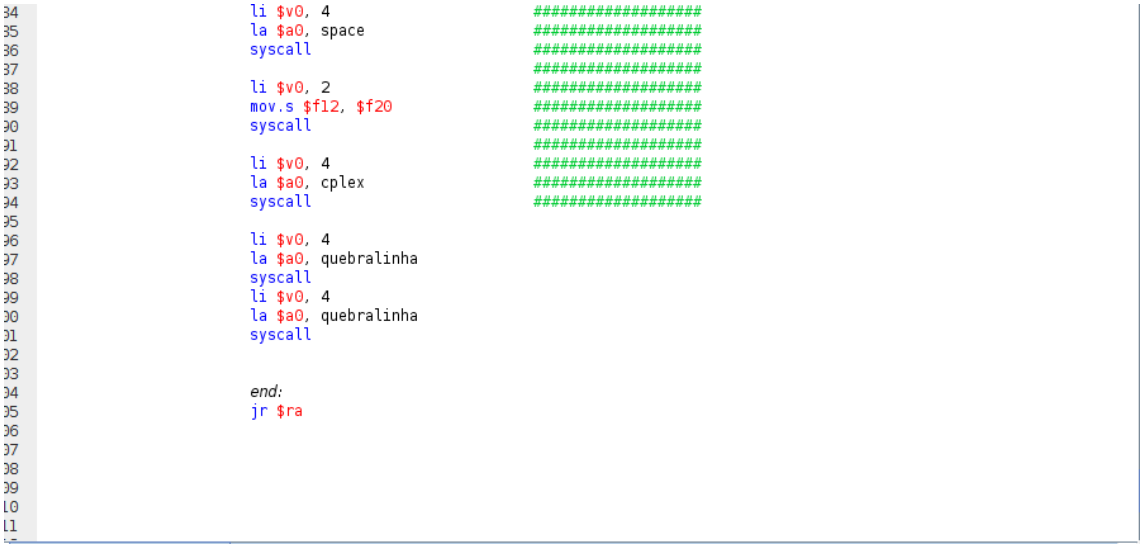


```
li $v0, 4                       ###################
la $a0, raiz1                   ###################
syscall                         ###################
                                #  area de print R1
li $v0, 2                       ###################
mov.s $f12, $f18                ###################
syscall                         ###################
                                ###################
li $v0, 4                       ###################
la $a0, space                   ###################
syscall                         ###################
                                ###################
li $v0, 4                       ###################
la $a0, mais                    ###################
syscall                         ###################
                                ###################
li $v0, 4                       ###################
la $a0, space                   ###################
syscall                         ###################
                                ###################
li $v0, 2                       ###################
mov.s $f12, $f20                ###################
syscall                         ###################
                                ###################
li $v0, 4                       ###################
la $a0, cplex                   ###################
syscall                         ###################
```

Figura 13. Imagens dos codigos ja comentados relacionados ao exercicioo 4.

```
li $v0, 4
la $a0, quebralinha
syscall

li $v0, 4                       ###################
la $a0, raiz2                   ###################
syscall                         ###################
                                #  area de print R2
li $v0, 2                       ###################
mov.s $f12, $f18                ###################
syscall                         ###################
                                ###################
li $v0, 4                       ###################
la $a0, space                   ###################
syscall                         ###################
                                ###################
li $v0, 4                       ###################
la $a0, menos                   ###################
syscall                         ###################
                                ###################
li $v0, 4                       ###################
la $a0, space                   ###################
syscall                         ###################
                                ###################
li $v0, 2                       ###################
mov.s $f12, $f20                ###################
syscall                         ###################
```

Figura 14. Imagens dos codigos ja comentados relacionados ao exercicioo 4.



```
                li $v0, 4                   ###################
                la $a0, space               ###################
                syscall                     ###################
                                            ###################
                li $v0, 2                   ###################
                mov.s $f12, $f20            ###################
                syscall                     ###################
                                            ###################
                li $v0, 4                   ###################
                la $a0, cplex               ###################
                syscall                     ###################

                li $v0, 4
                la $a0, quebralinha
                syscall
                li $v0, 4
                la $a0, quebralinha
                syscall


                end:
                jr $ra
```

Figura 15. Imagens dos codigos ja comentados relacionados ao exercicioo 4.

Teste de raizes reais e complexas

Criamos o procedimento bhaskara expecificado na figura 6, e chamamos delta cujo o codigo esta comentado na figura 5 para fazer o calcula e retornar o resultado e dependendo se ele era positivo (resultados reais) ou negativo (resultados imaginarios) e retornariamos 1 ou 2 respectivamente.

Show

Utilizamos a função show figura 8, que por sua vez dependendo se a mesma recebeu 2 ou 1 chama showC (função pra printar as raizes complexas), ou deixa prosseguir para showR (cujo o procedimento é printar as raizes reais) respectivamente. comentado e apresentados nas figuras 9,10,11,12.

Main

Inicializamos o codigo printando uma mensagem pedindo os coeficientes que utilizaremos na equação de segundo grau(usando os comandos de syscall e os respectivos registradores), após o recebimento das mesmas chamamos a instrução bhaskara que por sua vez chama delta e assim subsequentemente chamando show, no final imprimos os resultados e perguntamos ao usuario se ele continuara utilizando o programa e caso sim chamasse continue que retorna ao começo do arquivo. mostrados respectivamente com seus processos em todas as figuras desde a 2.

Respostas da questão 4.4

Nessa parte, precisamos calcular o texec para vários valores, como nosso codigo não tem nenhum loop as Instruções FR e FI são utilizadas em um número constante de

vezes, já os outros tipos podem sofrer pequenas diferenças na quantidade de instruções. Foi fornecido que o codigo rodaria em um processador MIPS de 1GHZ. Utilizamos $texec = C * T$ e chegamos aos resultados:

a) $[1, 0, -9.86960440]$
$texec = 211\mu s$
b) $[1, 0, 0]$
$texec = 222\mu s$
c) $[1, 99, 2459]$
$texec = 219\mu s$
d) $[1, -2468, 33762440]$
$texec = 219\mu s$
e) $[0, 10, 100]$
$texec = 211\mu s$

Análise dos Resultados

Conclusão

Referências

[GNU] GNU, G. Emulated tls. https://gcc.gnu.org/onlinedocs/gccint/Emulated-TLS.html. [Online; acessado 18-Setembro-2017].

[MIPS] MIPS. https://aur.archlinux.org/packages/cross-mips-elf-gcc/. [Online; acessado 15-Setembro-2017].

[MTU] MTU, M. T. U. Mips assembler directives of gnu assembler. http://pages.mtu.edu/~mmkoksal/blog/?x=entry:entry120116-130646. [Online; acessado 18-Setembro-2017].

[ORACLE] ORACLE. Assembler directives. https://docs.oracle.com/cd/E26502_01/html/E28388/eoiyg.html. [Online; acessado 18-Setembro-2017].

[SourceWare a] SourceWare. Gnu attribute. https://sourceware.org/binutils/docs-2.26/as/Gnu_005fattribute.html#Gnu_005fattribute. [Online; acessado 18-Setembro-2017].

[SourceWare b] SourceWare. Microblaze directives. https://sourceware.org/binutils/docs/as/MicroBlaze-Directives.html. [Online; acessado 18-Setembro-2017].

[SourceWare c] SourceWare. Mips nan encodings. https://sourceware.org/binutils/docs-2.27/as/MIPS-NaN-Encodings.html. [Online; acessado 18-Setembro-2017].

[Sweetman 2005] Sweetman, D. (2005). *See MIPS Run*. Morgan Kaufmann Publishers Inc., San Francisco, CA, USA, 2 edition.

[UAF] UAF, U. o. A. F. C compiler. https://www.cs.uaf.edu/2000/fall/cs301/notes/notes/node97.html. [Online; acessado 18-Setembro-2017].

[UNIBO] UNIBO, U. o. B. Mips assembly language programmer's guide asm-01-doc. http://www.cs.unibo.it/~solmi/teaching/arch_2002-2003/AssemblyLanguageProgDoc.pdf. [Online; acessado 18-Setembro-2017].