Universidade de São Paulo
Escola Politécnica

PCS3732 - Laboratório de Processadores
Prova prática - Relatório

Nome: Luiz Guilherme Budeu NUSP: 11821639

São Paulo, 15 de agosto de 2023

Projeto: Compilador de Expressões Aritméticas para ARMv7 Assembly

Introdução:

O projeto escolhido consiste em um compilador de expressões aritméticas para a linguagem de montagem ARMv7, implementado em Python. O objetivo deste projeto era criar uma ferramenta capaz de analisar expressões aritméticas, construir uma árvore de sintaxe abstrata (AST) correspondente e gerar código de montagem ARMv7 que executa as operações aritméticas especificadas nas expressões.

O compilador suporta as operações de adição,subtração, multiplicação e divisão de inteiros *signed*. Por se tratar de um desenvolvimento individual, não foi possível adicionar suporte para números de ponto fixo e racionais.

Para a interação e a execução do projeto, é necessário clonar o repositório https://github.com/LuizBudeu/LabProc. Realizado esse passo, basta digitar a expressão aritmética desejada em notação infixa (exemplo: 1 + 2 * 3 - (4/2)), rodar o arquivo “main.py” e obter o código *assembly* ARMv7 correspondente localizado em “out.s”. O resultado final da expressão estará localizado no registrador *r0*.

Solução:

A solução do projeto foi dividida em três partes principais: o analisador léxico (*Lexer*), o analisador sintático (*Parser*) e, por fim, o gerador de código de montagem ARMv7 (ARMCodeGenerator). Primeiro, é acionado o *Lexer*, transformando os caracteres da expressão aritmética em *tokens*. Em seguida, o *Parser* constrói uma Árvore de Sintaxe Abstrata (AST) utilizando os *tokens* fornecidos. E por fim, o gerador de código é responsável por atravessar a AST, seguindo as operações e números, simulando o funcionamento de registradores e imprimindo o código *assembly* equivalente.

Analisador Léxico (*Lexer*):

O analisador léxico é responsável por transformar a sequência de caracteres de entrada em uma sequência de *tokens* significativos para o analisador sintático. Isso é realizado por meio da identificação e classificação de palavras-chave, operadores e valores numéricos presentes na expressão. No caso deste projeto, os tipos de token incluem INTEGER, PLUS, MINUS, MULTIPLY, DIVIDE, LPAREN (parêntese esquerdo) e RPAREN (parêntese direito).

O lexer é implementado como uma classe Python chamada Lexer. Ela percorre a entrada caractere por caractere, construindo os tokens à medida que encontra padrões específicos. A classe fornece um método get_next_token() que retorna o próximo *token* da sequência de entrada, permitindo que o analisador sintático processe os tokens adequadamente, e eliminando espaços em branco desnecessários.

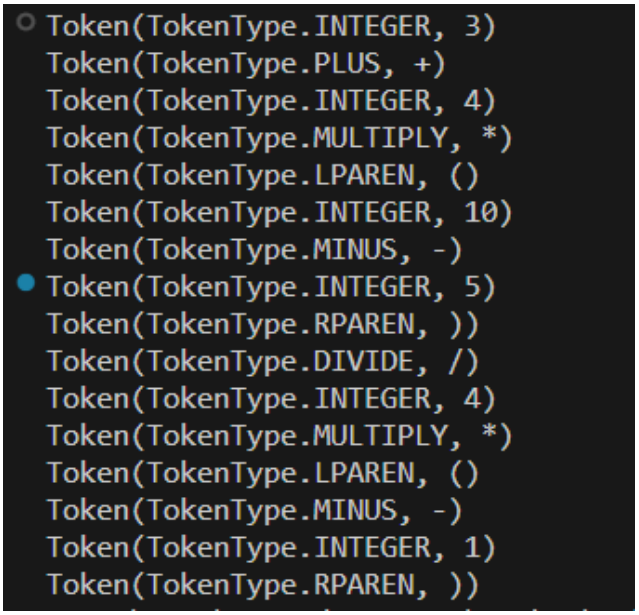


Figura 1: Exemplo de saída do *Lexer* para a expressão aritmética: 3 + 4 * (10 - 5) / 4 * (-1)

Analisador Sintático (*Parser*):

O analisador sintático é responsável por construir a Árvore de Sintaxe Abstrata (AST) a partir da sequência de tokens fornecida pelo *Lexer*. A AST representa a estrutura hierárquica da expressão, capturando as relações entre os operadores e operandos. Nesta etapa, os tokens são agrupados em nós que representam operações binárias (BinOp) e números (Num).

O parser é implementado como uma classe Python chamada Parser. Ele usa o *Lexer* para obter os *tokens* e, em seguida, implementa regras gramaticais para construir o AST. O parser segue a técnica de análise descendente recursiva para construir o AST, percorrendo os tokens da entrada e construindo os nós do AST conforme necessário.

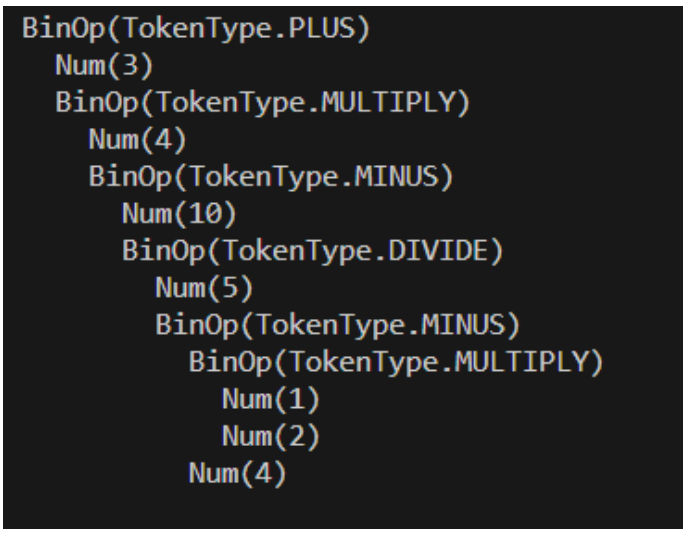


Figura 2: Exemplo de saída do *Parser* para a expressão aritmética: 3 + 4 * (10 - 5 / (1*2 - 4))

Gerador de Código de Montagem ARMv7 (ARMCodeGenerator):

O gerador de código de montagem ARMv7 (ARMCodeGenerator) é responsável por transformar o AST em código de montagem executável compatível com a arquitetura ARMv7. Ele percorre o AST e gera as instruções de montagem apropriadas para executar as operações matemáticas especificadas na expressão.

O ARMCodeGenerator é implementado como uma classe Python que percorre o AST usando uma abordagem de percurso em profundidade. Para cada nó do AST, o gerador de código gera as instruções de montagem apropriadas com base no tipo de nó e no valor associado. A classe mantém o controle do uso dos registradores ARM para evitar conflitos e garante a liberação adequada dos registradores após o uso.

Um registrador é representado por uma *dataclass* que contém dados como *id*, *content* (conteúdo do registrador), e *in_use* (indicando se ele está em uso naquele instante). O ARMCodeGenerator cria uma lista de registradores para simular um banco de registradores, sendo configurável o número máximo de registradores disponíveis.

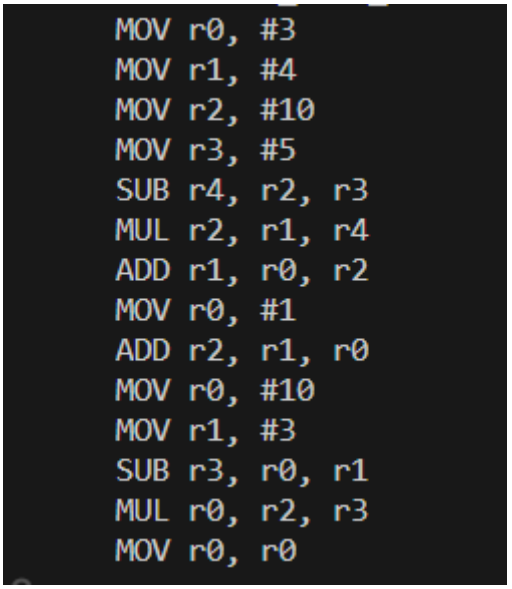


Figura 3: Exemplo do código de saída do ARMCodeGenerator para a expressão aritmética: (3 + 4 * (10 - 5) + 1) * (10 - 3)

Na figura de exemplo acima, é possível observar que o resultado da expressão aritmética é igual a 168. Colocando o código *assembly* gerado no *CPUlator* (https://cpulator.01xz.net/?sys=arm), nota-se que o resultado final das operações é colocado em *r0*, correspondendo ao valor hexadecimal “A8”, que é igual a 168 em decimal:

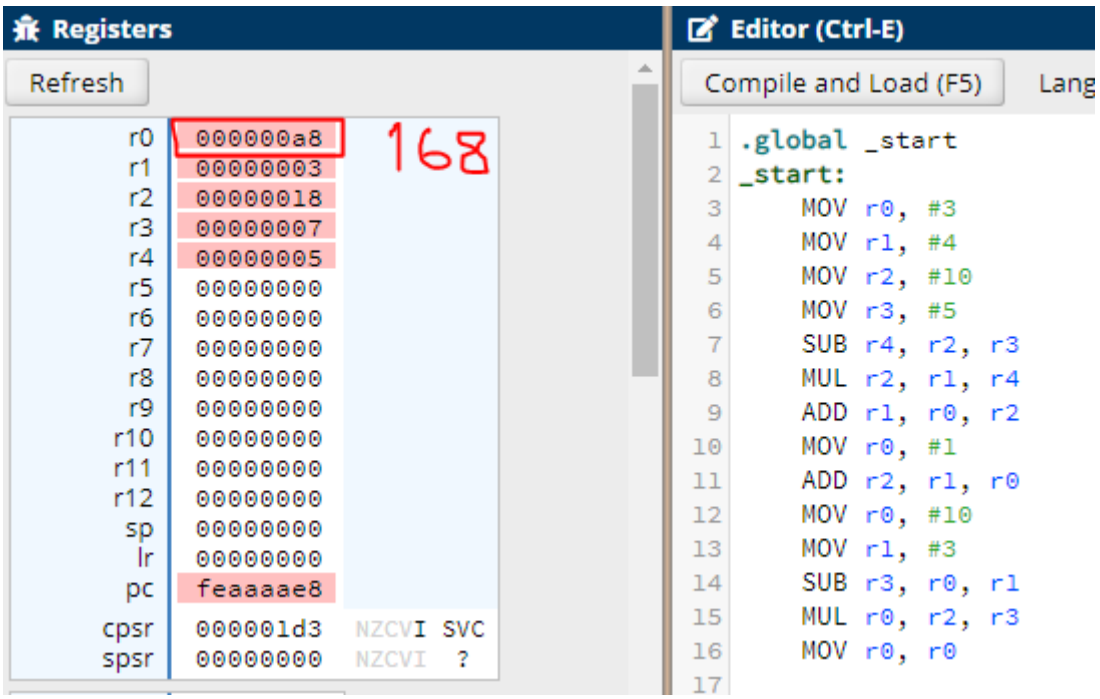


Figura 4: Saída do código *assembly* executado no CPUlator

Observações adicionais:

Uma observação adicional importante a se fazer é que não existe no conjunto de instruções ARMv7 uma instrução própria de divisão. Por causa disto, foi utilizada a implementação de uma subrotina de divisão inteira realizada em sala de aula, disponível no fórum (https://www.wise-ware.com.br/pcs3732/d/68-divisao-binaria-bis/2):

```
;@ r0 - Divisor
;@ r1 - Dividendo
;@ r2 - Resto
;@ r3 - Resultado
;@ r4 - Contador de shifts
_divide:
        cmp r0, #0
        beq _end_divisao    ;@ Retorna se divisor for zero
        mov r3, #0          ;@ Zera quosciente
        mov r2, #0          ;@ Zera parcela
        clz r4, r1          ;@ r4 recebe o número de zeros a esquerda do dividendo e será o ocntador
de deslocamento
        movs r1, r1, lsl r4 ;@ Desloca dividendo para remover zeros a esquerda
_desloca:
        cmp r4, #32
        beq _end_divisao
        mov r2, r2, lsl #1  ;@ Desloca parcela
        mov r3, r3, lsl #1  ;@ Desloca quociente
        movs r1, r1, lsl #1 ;@ Desloca dividendo
        add r4, r4, #1
        bcc _carry_zero
        add r2, r2, #1      ;@ Soma 1 a parcela quando o carry eh 1
_carry_zero:
```

```
        cmp r2, r0
        bge _subtracao      ;@ Parcela maior ou igual ao divisor, subtrai o valor do divisor dele
        b _desloca
_subtracao:
        sub r2, r2, r0
        add r3, r3, #1
        b _desloca
_end_divisao:
        mov pc, lr          ;@ Retorno
```

Dessa maneira, para as expressões aritméticas que contêm operações de divisão, é inserido a subrotina de divisão ao começo do programa, e realizando um *branch-link* (*bl*) para a subrotina. Para acomodar essa solução, caso haja operações de divisão na expressão aritmética, alguns dos registradores são reservados para realizar a execução da subrotina corretamente, sendo estes *r0-r4*.

Outra observação importante é que o valor do resultado da execução do código *assembly* é *signed*. Isso significa que é possível representar os resultados de expressões que dão negativo. Toma-se o exemplo: **(1 - 4 * 2) - 10 * 2 = -27**

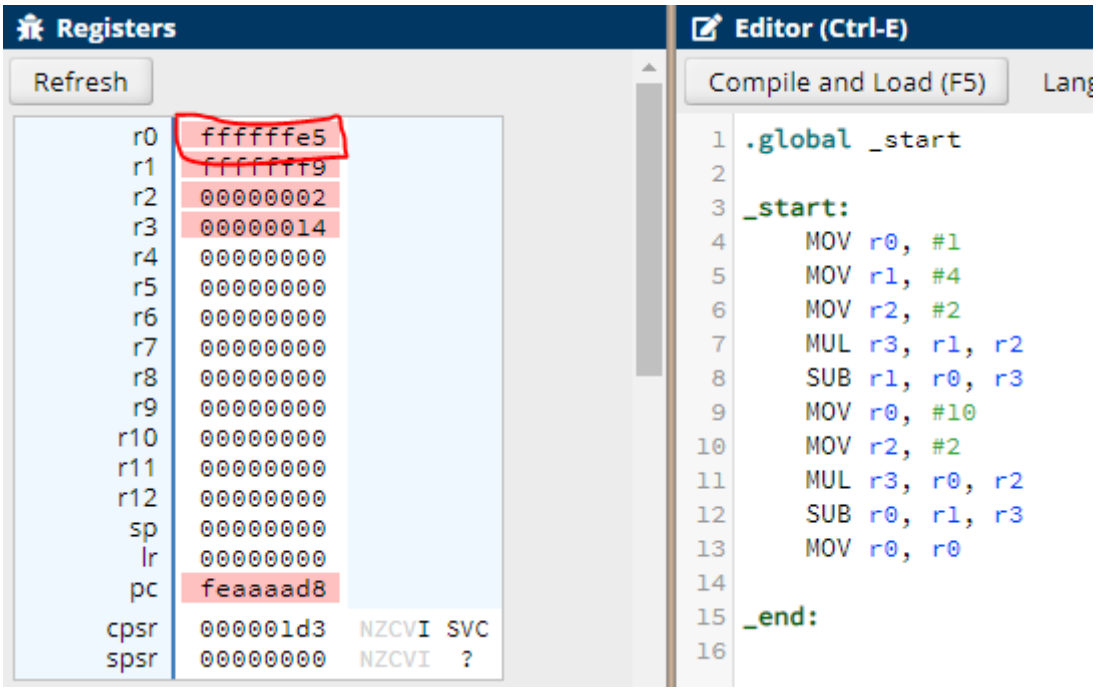


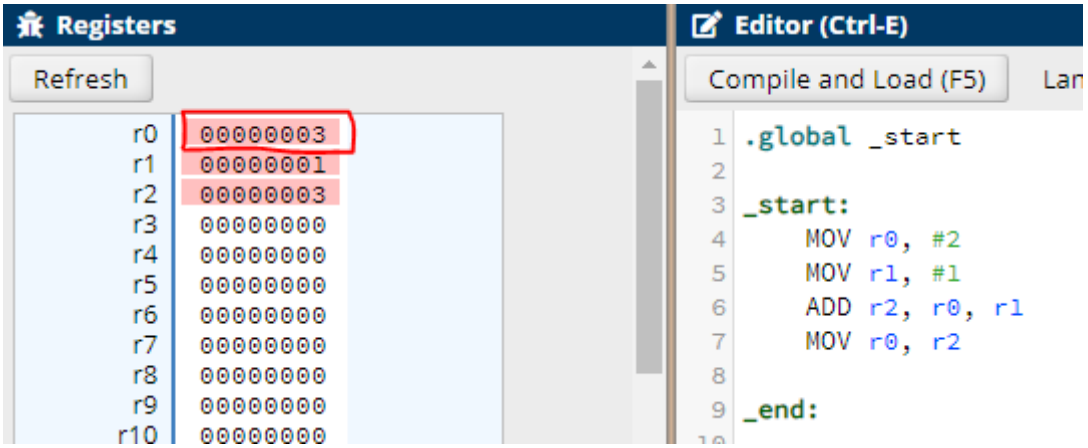
Figura 5: Saída do código *assembly* no CPUlator

É possível notar que o resultado da execução do programa foi "**FFFFFFE5**", valor hexadecimal equivalente ao valor binário "**11100101**", o que, em complemento de 2, converte para o valor **-27** decimal, mostrando o correto funcionamento do código.

Testes e verificação:

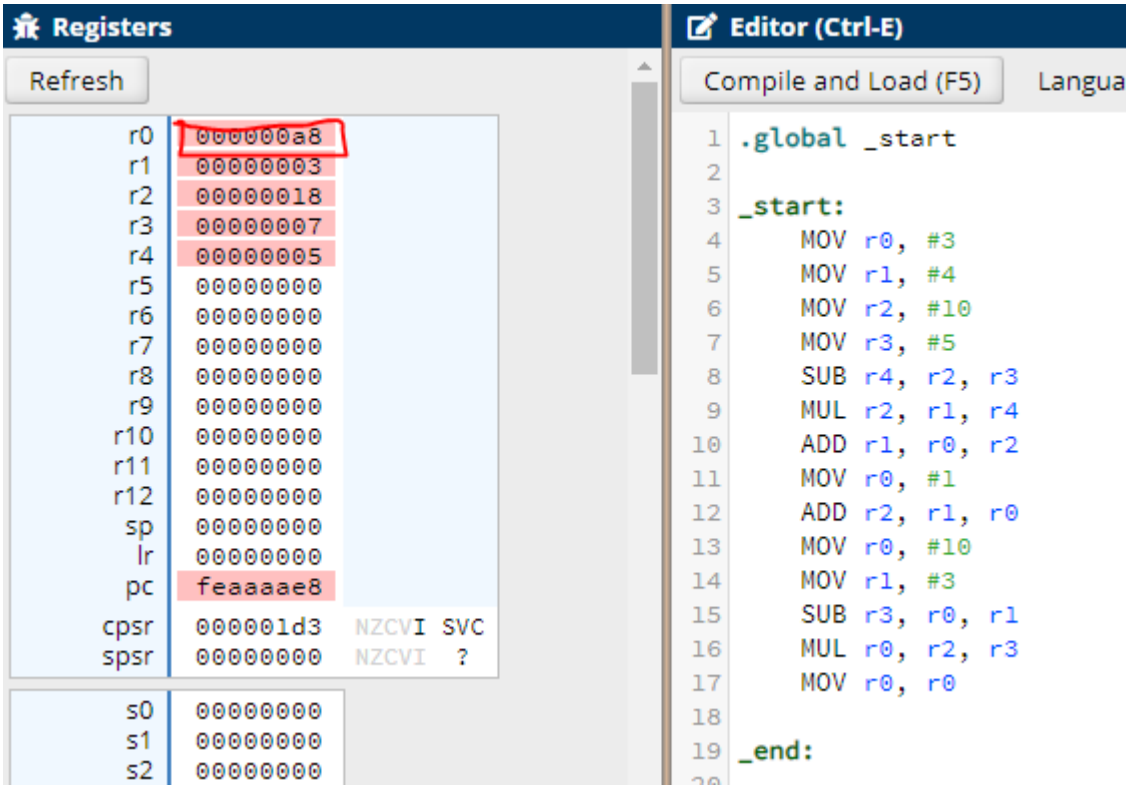
A seguir, alguns testes, variando de mais simples para mais complexos, a fim de demonstrar o correto funcionamento do programa:

1) 2 + 1 = 3



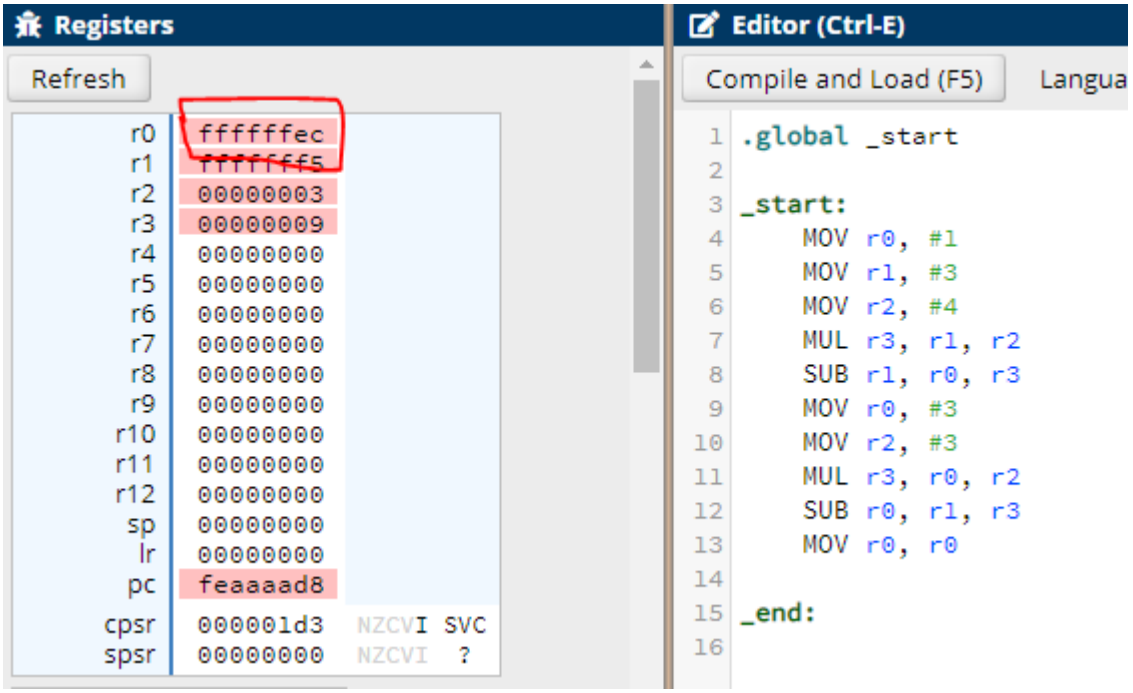
Saída: hex: 3, decimal: 3

2) (3 + 4 * (10 - 5) + 1) * (10 - 3) = 168



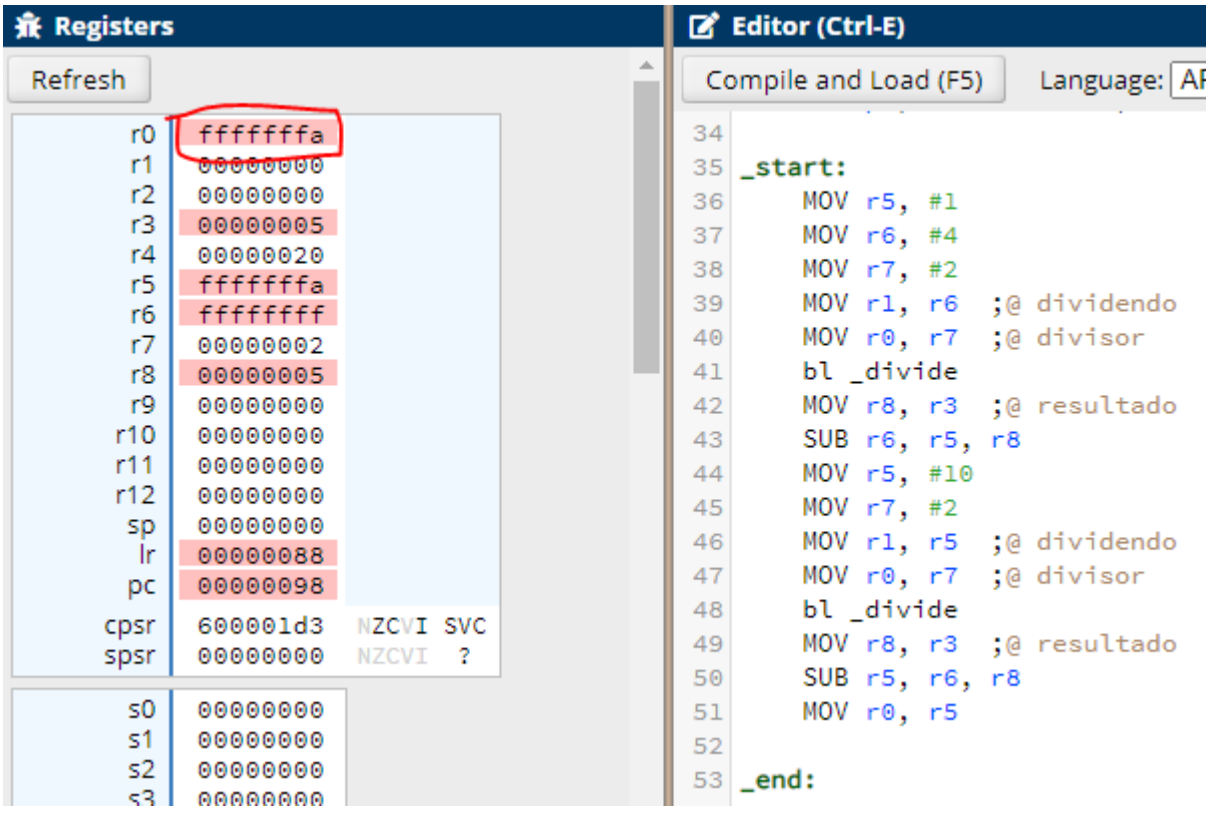
Saída: hex: A8, decimal: 168

3) 1 - 3*4 - (3*3) = -20



Saída: hex: FFFFFEC, decimal (complemento de dois): -20

4) (1 - 4 / 2) - 10 / 2 = -6



Saída: hex: FFFFFFFA, decimal (complemento de dois): -6

Conclusão:

Em conclusão, o desenvolvimento deste projeto resultou em um compilador de expressões aritméticas para a linguagem de montagem ARMv7, destacando as etapas fundamentais do processo de compilação, desde a análise léxica até a geração de código de montagem. A implementação bem-sucedida do lexer, parser e gerador de código de montagem permitiu a criação de uma ferramenta versátil capaz de interpretar e executar expressões matemáticas complexas.