



## Projeto de Compiladores

2014/15– 2º semestre

Licenciatura em Engenharia Informática

UNIVERSIDADE DE COIMBRA  
FACULDADE DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA  
*Departamento de Engenharia Informática*

**Data de Entrega:** 1 de Junho 2015

**v2.0.1**

**Nota Importante:** Qualquer tentativa de fraude leva à reprovação à disciplina tanto do facilitador como do prevaricador.

### Compilador para a linguagem mili-Pascal (mPa)

Este projeto consiste no desenvolvimento de um compilador para a linguagem “mili-Pascal,” que é um pequeno subconjunto da linguagem Pascal Standard ISO 7185:1990 com extensões relativas à passagem de parâmetros através da linha de comandos.

Nesta linguagem procedimental, os programas podem incluir dados e operações sobre esses dados. É possível utilizar variáveis e literais dos tipos lógico, inteiro e real. Também é possível usar literais do tipo cadeia de caracteres (string), mas apenas para efeitos de impressão no ecrã. A linguagem implementa expressões aritméticas e lógicas e operações relacionais simples, instruções de atribuição, de controlo (if-then-else, while-do e repeat-until) e de saída (writeln).

É possível passar parâmetros, que deverão ser literais inteiros, a um programa em mili-Pascal através da linha de comandos. Os seus valores podem ser recuperados através da construção `val(paramstr(i), v)`, que atribui o valor do *i*-ésimo parâmetro à variável *v*. O número de parâmetros pode ser obtido através da função pré-definida `paramcount`. A construção `writeln(...)` permite imprimir valores inteiros, reais (por exemplo, `1.000000000E+00`), lógicos (TRUE e FALSE), e cadeias de caracteres (por exemplo, `'Bom dia!'`). Finalmente, é possível definir funções, mas não procedimentos. São aceites (e ignorados) comentários dos tipos `(*...*)` e `{...}` (e ainda `{...*}` e `(*...}`!).

O significado de um programa em mili-Pascal será o mesmo que o seu significado em Pascal ISO 7185:1990 com a pré-definição das funções `paramcount`, `paramstr` e do procedimento `val`. Por exemplo, o seguinte programa deverá imprimir o valor do primeiro argumento passado na linha de comandos:

```
program echo(output);  
var x: integer;  
begin  
    val(paramstr(1), x);  
    writeln(x)  
end.
```

## **Fases**

O projeto será estruturado como uma sequência de quatro metas com ponderação e datas de entrega próprias, a saber:

1. Análise lexical (10%) – até 23 de março de 2015
2. Análise sintática (30%) – até 13 de abril de 2015
3. Análise semântica (25%) – até 4 de maio de 2015
4. Geração de código (20%) + relatório (15%) – até 1 de junho de 2015

Em cada uma das metas, o trabalho será obrigatoriamente validado no mooshak usando um concurso criado especificamente para o efeito. Para além disso, a entrega final do projeto deverá ser feita no inforestudante até às **23h59** do dia **1 de junho**, e incluir:

- Todo o código fonte produzido no âmbito do projeto (*exatamente* os mesmos zip que tiverem sido submetidos atempadamente ao mooshak em cada meta, bem como os que, eventualmente, tiverem sido submetidos às pós-metas) e o login utilizado no mooshak.
- O relatório, que deverá descrever a estratégia de implementação adotada, detalhando aspetos como a especificação das categorias lexicais e da gramática concreta utilizada, a construção da árvore de sintaxe abstrata, o formato interno da tabela de símbolos, o tratamento de erros lexicais, sintáticos e semânticos, o acesso aos parâmetros de entrada, a geração de código, etc.

## **Defesa e grupos**

O trabalho será normalmente realizado por grupos de dois alunos, admitindo-se também que o seja a título individual. A **defesa oral** do trabalho será **individual** e terá lugar entre os dias **8 e 12 de junho de 2015**. A nota da defesa (entre 0 e 100%) multiplica pela média ponderada das pontuações obtidas no mooshak e no relatório à data de entrega de cada uma das metas. *Excecionalmente*, e por motivos justificados (como, por exemplo, falha técnica), poderão ser atribuídas notas superiores a 100% na defesa, mas a classificação final nunca poderá exceder a pontuação obtida no mooshak para as diversas fases à data da última entrega.

Aplicam-se mínimos de 47,5% à nota final após a defesa.

## Fase I – Analisador lexical

O analisador lexical deve ser implementado em C utilizando a ferramenta `lex`. Os tokens da linguagem são apresentados de seguida.

NOTA: Em Pascal, não é feita qualquer distinção entre letras maiúsculas e minúsculas, salvo quando estas ocorrem no interior de cadeias de caracteres. Onde a seguir se usam letras minúsculas, também se devem considerar as correspondentes maiúsculas.

### ***Tokens da linguagem mili-Pascal***

ID : sequências alfanuméricas começadas por uma letra.

INTLIT : sequências de dígitos decimais.

REALLIT : sequências de dígitos decimais interrompidas por um único ponto e opcionalmente seguidas de um expoente, *ou* sequências de dígitos decimais seguidas de um expoente. O expoente consiste na letra “e”, opcionalmente seguida de um sinal de + ou de - , seguida de uma sequência de dígitos decimais.

STRING : Sequências de caracteres (excluindo mudanças de linha) iniciadas por uma aspa simples ( ' ) e terminadas pela primeira ocorrência de uma aspa simples que não seja seguida imediatamente por outra aspa simples. Por exemplo, “ ' abc ' ” e “ ' texto entre ' ' aspas ' ' ”.

ASSIGN = " :="

BEGIN = "begin"

COLON = " :"

COMMA = " ,"

DO = "do"

DOT = " ."

ELSE = "else"

END = "end"

FORWARD = "forward"

FUNCTION = "function"

IF = "if"

LBRAC = "("

NOT = "not"

OUTPUT = "output"

PARAMSTR = "paramstr"

PROGRAM = "program"

RBRAC = ")"

REPEAT = "repeat"

SEMIC = " ;"

THEN = "then"

UNTIL = "until"

VAL = "val"

VAR = "var"

WHILE = "while"

WRITELN = "writeln"

OP1 = "and" | "or"

OP2 = "<" | ">" | "=" | "<=" | ">="

OP3 = "+" | "-"

OP4 = "\*" | "/" | "mod" | "div"

RESERVED : palavras reservadas e identificadores requeridos do Pascal standard não usados. NOTA: os identificadores requeridos `boolean`, `false`, `integer`, `real` e `true` serão usados em fases posteriores do projeto, e não deverão ser RESERVED.

## **Implementação**

O analisador deverá chamar-se `mpascanner`, ler o ficheiro a processar através do `stdin`, e emitir o resultado da análise para o `stdout`. Caso o ficheiro `echo.mpa` contenha o programa de exemplo dado anteriormente, a invocação:

```
./mpascanner < echo.mpa
```

deverá imprimir a correspondente sequência de tokens no ecrã. Neste caso:

```
PROGRAM
ID(echo)
LBRAC
OUTPUT
RBRAC
SEMIC
VAR
ID(x)
COLON
ID(integer)
SEMIC
BEGIN
VAL
LBRAC
PARAMSTR
LBRAC
INTLIT(1)
RBRAC
COMMA
ID(x)
RBRAC
SEMIC
WRITELN
LBRAC
ID(x)
RBRAC
END
DOT
```

O analisador deve aceitar (e ignorar) como separador de tokens espaço em branco (espaços, tabs e mudanças de linha), bem como comentários iniciados por `(*` ou `{` e terminados pela primeira ocorrência de `*)` ou `}`. Deve ainda detetar a existência de quaisquer erros lexicais no ficheiro de entrada. Sempre que um token possa admitir mais do que um valor semântico, o valor encontrado deve ser impresso entre parêntesis logo a seguir ao nome do token, como se exemplificou acima para `ID` e `INTLIT`.

## **Tratamento de erros**

Caso o ficheiro de entrada contenha erros lexicais, o programa deverá imprimir uma das seguintes mensagens no `stdout`, conforme o caso:

- "Line <num linha>, col <num coluna>: illegal character ('<c>')\n"
- "Line <num linha>, col <num coluna>: unterminated string\n"
- "Line <num linha>, col <num coluna>: unterminated comment\n"

onde <c>, <num linha> e <num coluna> devem ser substituídos pelos valores correspondentes ao *início* do token que originou o erro. O analisador deve recuperar da ocorrência de erros lexicais a partir do *fim* desse token.

## **Submissão**

O trabalho deverá ser validado no mooshak, usando o concurso criado especificamente para o efeito em <http://mooshak2.dei.uc.pt/~comp2015>. Será tida em conta apenas a última submissão ao problema A desse concurso. Os restantes problemas destinam-se a ajudar na validação do analisador. No entanto, o mooshak não deve ser utilizado como ferramenta de debug!

O ficheiro lex a submeter deve chamar-se `mpascanner.l` e ser colocado num ficheiro zip com o nome `mpascanner.zip`. O ficheiro zip não deve conter quaisquer diretórios.

## Fase II – Analisador sintático

O analisador sintático deve ser implementado em C utilizando as ferramentas `lex` e `yacc`. A gramática seguinte define a sintaxe da linguagem `miliPascal`.

### ***Gramática inicial em notação EBNF***

Prog → ProgHeading SEMIC ProgBlock DOT  
ProgHeading → PROGRAM ID LBRAC OUTPUT RBRAC  
ProgBlock → VarPart FuncPart StatPart  
VarPart → [ VAR VarDeclaration SEMIC { VarDeclaration SEMIC } ]  
VarDeclaration → IDList COLON ID  
IDList → ID { COMMA ID }  
FuncPart → { FuncDeclaration SEMIC }  
FuncDeclaration → FuncHeading SEMIC FORWARD  
FuncDeclaration → FuncIdent SEMIC FuncBlock  
FuncDeclaration → FuncHeading SEMIC FuncBlock  
FuncHeading → FUNCTION ID [ FormalParamList ] COLON ID  
FuncIdent → FUNCTION ID  
FormalParamList → LBRAC FormalParams { SEMIC FormalParams } RBRAC  
FormalParams → [ VAR ] IDList COLON ID  
FuncBlock → VarPart StatPart  
StatPart → CompStat  
CompStat → BEGIN StatList END  
StatList → Stat { SEMIC Stat }  
Stat → CompStat  
Stat → IF Expr THEN Stat [ ELSE Stat ]  
Stat → WHILE Expr DO Stat  
Stat → REPEAT StatList UNTIL Expr  
Stat → VAL LBRAC PARAMSTR LBRAC Expr RBRAC COMMA ID RBRAC  
Stat → [ ID ASSIGN Expr ]  
Stat → WRITELN [ WritelnPList ]  
WritelnPList → LBRAC ( Expr | STRING ) { COMMA ( Expr | STRING ) } RBRAC  
Expr → Expr ( OP1 | OP2 | OP3 | OP4 ) Expr  
Expr → ( OP3 | NOT ) Expr  
Expr → LBRAC Expr RBRAC  
Expr → INTLIT | REALLIT  
Expr → ID [ ParamList ]  
ParamList → LBRAC Expr { COMMA Expr } RBRAC

Uma vez que a gramática dada é ambígua e é apresentada em notação EBNF, onde [...] representa “opcional” e {...} representa “zero ou mais repetições,” esta deverá ser modificada para permitir a análise sintática ascendente com o `yacc`. Será necessário ter em conta a precedência e as regras de associação dos operadores, entre outros aspetos, de modo a garantir a compatibilidade entre as linguagens `miliPascal` e `Pascal`.

O analisador deverá chamar-se `mpaparser`, ler o ficheiro a processar através do `stdin`, e detetar a existência de quaisquer erros lexicais ou de sintaxe no ficheiro de entrada.

## **Tratamento de erros**

Caso o ficheiro de entrada contenha erros lexicais, o programa deverá imprimir no `stdout` as mensagens definidas na Fase I, e continuar. Caso seja encontrado um erro de sintaxe, o analisador deve imprimir uma mensagem de erro e parar. A mensagem a imprimir será

- "Line <num linha>, col <num coluna>: syntax error: <token>\n"

onde <num linha>, <num coluna> e <token> devem ser substituídos pelos números de linha e de coluna, e pelo valor semântico do token que dá origem ao erro. Isto pode ser conseguido definindo a função:

```
void yyerror (char *s) {  
    printf ("Line %d, col %d: %s: %s\n", <num linha>, <num  
coluna>, s, yytext);  
}
```

## **Árvore de sintaxe abstrata**

Caso o ficheiro `gcd.mpa` contenha o programa:

```
program gcd(output);  
var a, b: integer;  
begin  
    val(paramstr(1), a);  
    val(paramstr(2), b);  
    if a = 0 then  
        writeln(b)  
    else  
        begin  
            while b > 0 do  
                if a > b then  
                    a := a - b  
                else  
                    b := b - a;  
                writeln(a)  
            end  
        end  
end.
```

a invocação

```
./mpaparser -t < gcd.mpa
```

deverá gerar a árvore de sintaxe abstrata correspondente, imprimi-la no `stdout` conforme a seguir se explica, e terminar. A árvore de sintaxe abstrata só deverá ser impressa se não houver erros de sintaxe. Caso haja erros lexicais que não causem também erros de sintaxe, a árvore deverá ser impressa imediatamente a seguir às correspondentes mensagens de erro.

As árvores de sintaxe abstrata geradas durante a análise sintática devem incluir apenas nós dos tipos indicados abaixo. Entre parêntesis à frente de cada nó indica-se o número de filhos desse nó e, onde necessário, também o tipo de filhos.

## Programa

```
Program(4)          ( Id VarPart FuncPart <statement> )
VarPart(>=0)        ( { VarDecl } )
FuncPart(>=0)        ( { FuncDecl | FuncDef | FuncDef2 } )
```

## Declaração de variáveis

```
VarDecl(>=2)        ( Id {Id} Id )      /* último Id é o tipo */
```

## Declaração de funções

```
FuncDecl(3)          ( Id FuncParams Id )
FuncDef(5)            ( Id FuncParams Id VarPart <statement> )
FuncDef2(3)           ( Id VarPart <statement> )
FuncParams(>=0)       ( { Params | VarParams } )
Params(>=2)           ( Id {Id} Id )
VarParams(>=2)        ( Id {Id} Id )
```

## Statements

```
Assign(2) IfElse(3) Repeat(2) StatList(>=0) ValParam(2)
While(2) WriteLn(>=0)
```

## Operações

```
Add(2) And(2) Call(>=2) Div(2) Eq(2) Geq(2) Gt(2) Leq(2) Lt(2)
Minus(1) Mod(2) Mul(2) Neq(2) Not(1) Or(2) Plus(1) RealDiv(2) Sub(2)
```

## Terminais

```
Id IntLit RealLit String
```

**Nota:** não deverão ser gerados nós supérfluos, nomeadamente StatList com menos de dois *statements* no seu interior, salvo quando um *statement* requerido por algum nó for o *statement* vazio.

No caso do programa dado, o resultado deve ser:

```
Program
..Id(gcd)
..VarPart
....VarDecl
.....Id(a)
.....Id(b)
.....Id(integer)
..FuncPart
..StatList
....ValParam
.....IntLit(1)
.....Id(a)
....ValParam
.....IntLit(2)
.....Id(b)
....IfElse
.....Eq
.....Id(a)
.....IntLit(0)
.....WriteLn
.....Id(b)
```



```

.....StatList
.....While
.....Gt
.....Id(b)
.....IntLit(0)
.....IfElse
.....Gt
.....Id(a)
.....Id(b)
.....Assign
.....Id(a)
.....Sub
.....Id(a)
.....Id(b)
.....Assign
.....Id(b)
.....Sub
.....Id(b)
.....Id(a)
.....WriteLn
.....Id(a)

```

## ***Desenvolvimento do analisador***

Sugere-se que o desenvolvimento do analisador seja efetuado em duas fases. A primeira deverá visar a tradução da gramática para o `yacc` de modo a permitir detetar e reportar eventuais erros de sintaxe. A segunda deverá incidir sobre a construção da árvore de sintaxe abstrata e sua impressão na saída.

## ***Submissão***

O trabalho deverá ser validado no mooshak, usando o concurso criado especificamente para o efeito em <http://mooshak2.dei.uc.pt/~comp2015>. Como na fase anterior, será tida em conta apenas a última submissão ao problema A desse concurso. Os restantes problemas destinam-se a ajudar na validação do analisador, nomeadamente no que respeita à deteção de erros de sintaxe e à construção da árvore de sintaxe abstrata, de acordo com a estratégia de desenvolvimento proposta.

Os ficheiros `lex` e `yacc` a submeter devem chamar-se `mpaparser.l` e `mpaparser.y` e ser colocados juntamente com quaisquer ficheiros adicionais necessários à compilação do analisador num único ficheiro zip com o nome `mpaparser.zip`. O ficheiro zip não deve conter quaisquer diretórios.