

UNIVERSIDADE TUIUTI DO PARANÁ

GABRIEL PINTO RIBEIRO DA FONSECA

**INTERPRETADOR DA LINGUAGEM D+ INTEGRADO A UMA
INTERFACE**

CURITIBA

2019

GABRIEL PINTO RIBEIRO DA FONSECA

**INTERPRETADOR DA LINGUAGEM D+ INTEGRADO A UMA
INTERFACE**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Bacharelado em Ciência da Computação da Faculdade de Ciências Exatas e de Tecnologia da Universidade Tuiuti do Paraná, como requisito à obtenção ao grau de Bacharel.

Orientador: Prof. Diógenes Cogo Furlan

CURITIBA

2019

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 – A programação antes dos compiladores.	7
FIGURA 2 – A programação com compiladores.	8
FIGURA 3 – Exemplo do Funcionamento de um Compilador.	8
FIGURA 4 – Comparação Compilador x Interpretador.	9
FIGURA 5 – Exemplo dos passos presentes em um compilador.	10
FIGURA 6 – Código de exemplo para Análise Léxica.	11
FIGURA 7 – Código de exemplo para Análise Sintática.	12
FIGURA 8 – Código de exemplo para Análise Semântica.	13
FIGURA 9 – Código de exemplo para Tabela de Símbolos.	14
FIGURA 10 – Regras de gramáticas D+.	15
FIGURA 11 – Interação Humano Computador.. . . .	16
FIGURA 12 – Interação Humano-computador Adaptada da Descrição do comitê SIGCHI 1992.	17
FIGURA 13 – Exemplo de fluxo com o código gerado.	18
FIGURA 14 – Árvore de símbolos.	20
FIGURA 15 – Interpretação da Arquitetura Python.	21
FIGURA 16 – Função do código de validação de caractere.	23
FIGURA 17 – Interface de código do Qt Creator.	24
FIGURA 18 – Interface de design do Qt Creator.	25
FIGURA 19 – Menu JFLAP.	25
FIGURA 20 – Janela de criação de autômatos.	26
FIGURA 21 – Autômatos na interface.	27
FIGURA 22 – Fluxo de sequência.	27
FIGURA 23 – Exemplo de iteração usando o comando while.	28
FIGURA 24 – Exemplo de seleção.	28
FIGURA 25 – Função state00.	29
FIGURA 26 – Função reservWorks.	30
FIGURA 27 – Saída da análise léxica.	31

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 – Comparação dos trabalhos relacionados.	22
QUADRO 2 – Funções criadas de acordo com as regras da gramática.	30

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	TEORIA DA COMPILAÇÃO	6
2.1	COMPILADORES	6
2.2	INTERPRETADORES	7
2.3	ANÁLISE LÉXICA	8
2.4	ANÁLISE SÍNTATICA	10
2.5	ANÁLISE SEMÂNTICA	12
2.6	TABELA DE SÍMBOLOS	13
2.7	GERAÇÃO DE CÓDIGO	14
2.8	LINGUAGEM D+	14
3	INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR(IHC)	16
4	TRABALHOS RELACIONADOS	18
4.1	AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO VISUAL BASEADO EM COMPONENTES	18
4.2	SCC: UM COMPILADOR C COMO FERRAMENTA DE ENSINO DE COM- PILADORES	19
4.3	COMPILER BASIC DESIGN AND CONSTRUCTION	19
4.4	INTERPRETADOR/COMPILADOR PYTHON	19
4.5	COMPILER CONSTRUCTION	21
5	METODOLOGIA	23
5.1	LINGUAGEM C++	23
5.2	QT CREATOR	23
5.3	JFLAP	24
5.4	AUTÔMATOS	26
5.5	ESTRUTURAS ADOTADAS NO DESENVOLVIMENTO	26
5.5.1	Programação Estruturada	26
5.5.2	Análise léxica	28
5.5.3	Análise sintática	29
	REFERÊNCIAS	32
	ANEXO A – QUESTIONÁRIO DE UTILIZAÇÃO DO INTERPRETADOR INTE- GRADO A UMA INTERFACE DA LINGUAGEM D+	33

1 INTRODUÇÃO

Dentro do curso de bacharelado em ciências da computação. A disciplina de compiladores é responsável por apresentar ao aluno a forma e o significado contidos na construção de um compilador. Um compilador, de forma convencional, apresenta fases de código fonte, e fases de síntese, oras quais o código fonte de alto nível é transformado em código máquina. A disciplina de compiladores apresenta uma considerável dificuldade no seu aprendizado, uma vez que é uma disciplina muito abrangente e muito profunda. Ele faz uma síntese de todo curso de bacharelado em ciências da computação, uma vez que exige conhecimentos em algoritmos, programação estruturada e orientado a objetos, estrutura de dados, métodos de autômatos, gramáticas e ainda conhecimento de assemble.

O presente projeto tem como objetivo o desenvolvimento de um interpretador da linguagem D+, para auxiliar os alunos na absorção do conteúdo, ajudando-os a fixar melhor os conceitos. O interpretador compila linha por linha e mostra visualmente em um terminal o programa já compilado. Neste software vai aplicar conteúdos visto em sala de aula na prática, proporcionando ao aluno entender como eles são elaborados dentro dos processos de análise léxica e sintática.

Para desenvolver este software, é utilizado um compilador D+, linguagem elaborada pelo mestre Diógenes Cogo Furlan. Este compilador terá modificações para se tornar um interpretador. Para o desenvolvimento da interfase, é utilizado o editor QT Creator com a linguagem C++, pelo fato de este editor junto desta linguagem, disponibilizam ferramentas que facilitariam sua criação.

Com este projeto, os alunos da disciplina de compiladores, terão ao seu alcance uma ferramenta (software) que o auxiliaram no aprendizado da matéria. Podendo criar códigos, e ver a transformação que passa pelo compilador, passando pela análise léxica, análise sintática e análise semântica. Os alunos que utilizarem este software, terão exemplos de árvores ascendentes e árvores descendentes no código escrito na interface em tempo real. Com toda esta possibilidade, o aprendizado dos alunos da disciplina compiladores terão um aprendizado melhor.

2 TEORIA DA COMPILAÇÃO

Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos envolvendo a compilação, técnicas encontradas nela, razão pelo qual foi criado, seu funcionamento e sua estrutura, como análise léxica, análise sintática e análise semântica, também explicando o funcionamento de um compilador e um interpretador, dando ênfase em suas diferenças.

Um processo de compilação designa o conjunto de tarefas que o compilador deve realizar para poder gerar uma descrição em uma linguagem a partir de outra (SANTOS, 2018). No começo da compilação, o compilador deve garantir que a tradução efetuada do código inserido seja correta, para que a execução dos comandos seja feita sem nenhum erro.

O motivo que influenciou o desenvolvimento dos compiladores se deve ao fato de se obter uma maior eficiência de programação. No princípio os computadores possuíam arquiteturas distintas entre eles, tornando assim a mesma instrução diferente para todas. Este mesmo problema era encontrado na representação de dados (RICARTE, 2008).

Na figura 1 é ilustrado uma situação em que se utiliza uma instrução de soma, nesta imagem pode se observar a complexidade que a comunicação atingia ao transmitir para outra máquina a instrução. Devido a este empecilho, era necessária uma intervenção humana, ocasionando em contratar um especialista para resolver este problema, para cada plataforma. Uma situação pouco eficiente e de alto custo para as empresas (RICARTE, 2008).

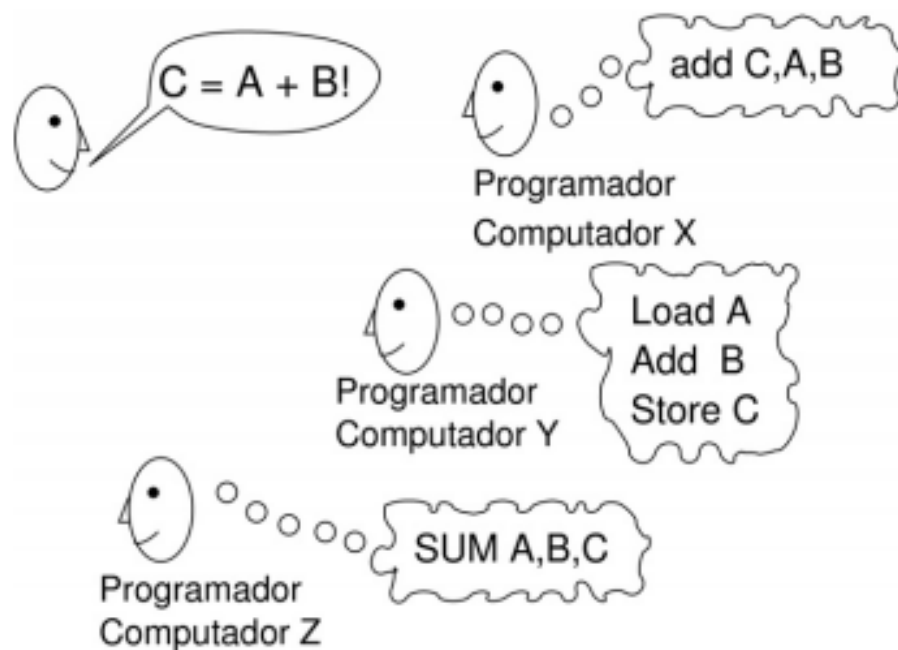
Para solucionar este problema, em busca de uma solução automática, procurando traduzir as especificações genéricas (RICARTE, 2008). Com este objetivo desenvolveu os compiladores.

A figura 2, ilustra o processo já incluindo os compiladores. Com essa automação na tradução do código, se obteve economia pelo fato de não ser necessário a contratação de um especialista para esta tarefa, e aumento de produtividade por ter retirado a intervenção humana em uma parte do processo.

2.1 COMPILADORES

Para se conceituar um compilador de forma simples, o compilador é um programa responsável por traduzir outro programa de uma linguagem fonte para outra linguagem alvo (AHO RAVI SETHI, 1995). Na figura 3 se demonstrando a forma do funcionamento dos compiladores como descrito acima.

FIGURA 1 – A programação antes dos compiladores.



FONTE: (RICARTE, 2008).

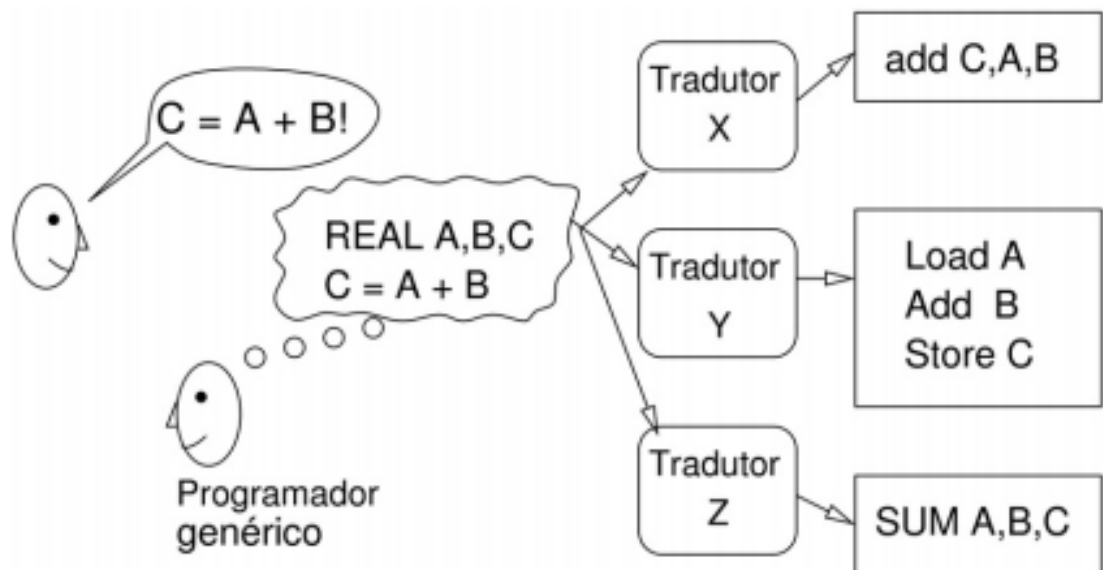
O compilador segue passos para a tradução correta do código fonte para o código de saída. Os passos de análises são: análise léxica (AL), análise sintática (AS) e análise semântica (ASE). Os passos de tradução, são a Geração de código intermediário, a otimização de código, a geração de código final e a otimização de código final. Na figura 4 é ilustrado os passos seguidos dentro de um compilador, quando um código entra em seu processo, e é finalizado como o código de máquina alvo.

2.2 INTERPRETADORES

O interpretador é programa que converte a linguagem atual para uma específica, mas ao contrário do compilador, ele não converte o código todo para linguagem de máquina de uma vez. Ele executa diretamente cada instrução, passo a passo. MATLAB, LISP, Perl e PHP são apontadas como interpretadas (VICTORIA, 2019). O interpretador efetua a tradução em operações especificadas, dependendo de como foi construído, podendo percorrer o código e ao decorrer desta análise, efetuar as operações necessárias.

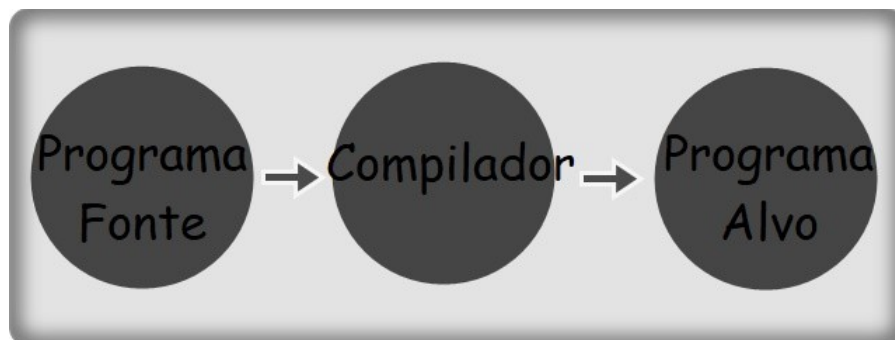
Na figura 4 é ilustrado um fluxo geral de como é convertido o código, comparando o compilador ao interpretador. O que difere entre ambos é em qual momento ocorre a inserção de dados, tempo de execução e a diferença na saída de arquivos após os processos, o compilador gera um arquivo com a linguagem alvo (neste caso linguagem

FIGURA 2 – A programação com compiladores.



FONTE: (RICARTE, 2008).

FIGURA 3 – Exemplo do Funcionamento de um Compilador.



FONTE: O próprio autor.

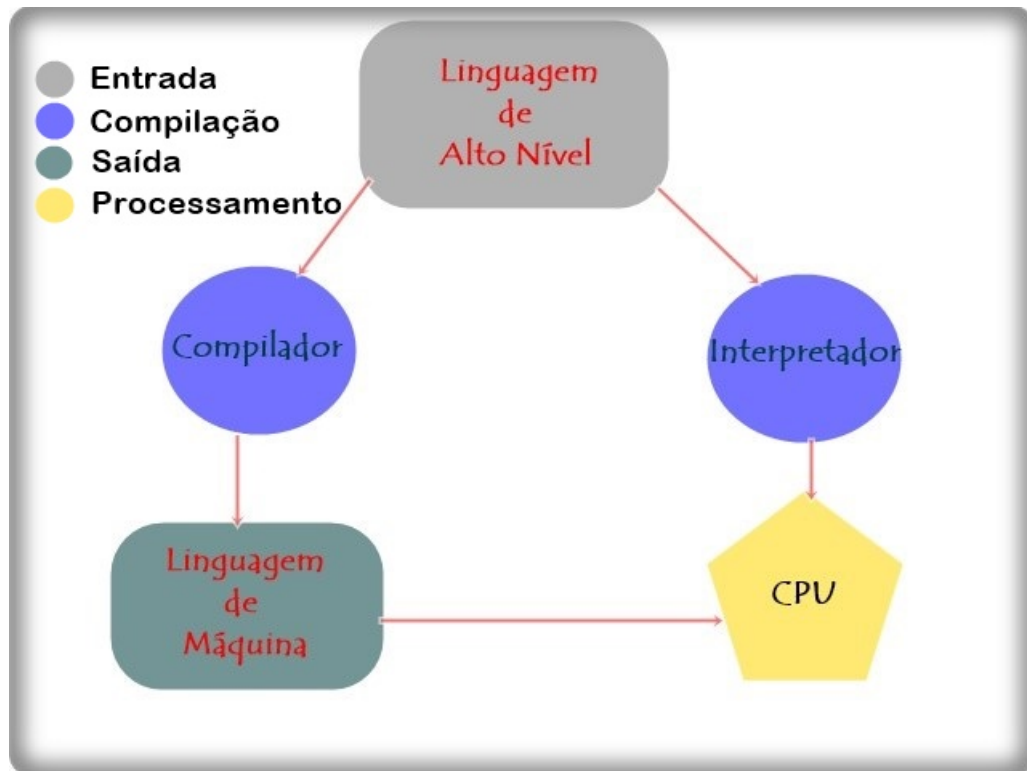
de máquina), e o interpretador executa diretamente a instrução, sem criar um arquivo fonte.

Caso o código seja executado uma segunda vez, ocorrerá uma nova tradução, pois a tradução ocorrida anteriormente não fica armazenada para futuras execuções. Compiladores e interpretadores utilizam nas análises léxica, análise sintática e análise semântica.

2.3 ANÁLISE LÉXICA

A análise Léxica, também chamada de análise scanning, é responsável por analisar os caracteres no programa da esquerda para a direita, e agrupá-los para a formação de tokens. Tokens são sequências de caracteres que possuem um significado

FIGURA 4 – Comparação Compilador x Interpretador.



FONTE: O próprio autor..

coletivo (AHO RAVI SETHI, 1995).

Um exemplo que pode ser dado, é analisando um programa na linguagem C como ilustrado na figura 5.

A figura 5 expõe os passos internos de um compilador, e o que é gerado em cada passo, como os tokens na análise léxica, árvore sintática na análise sintática e a tabela de símbolos.

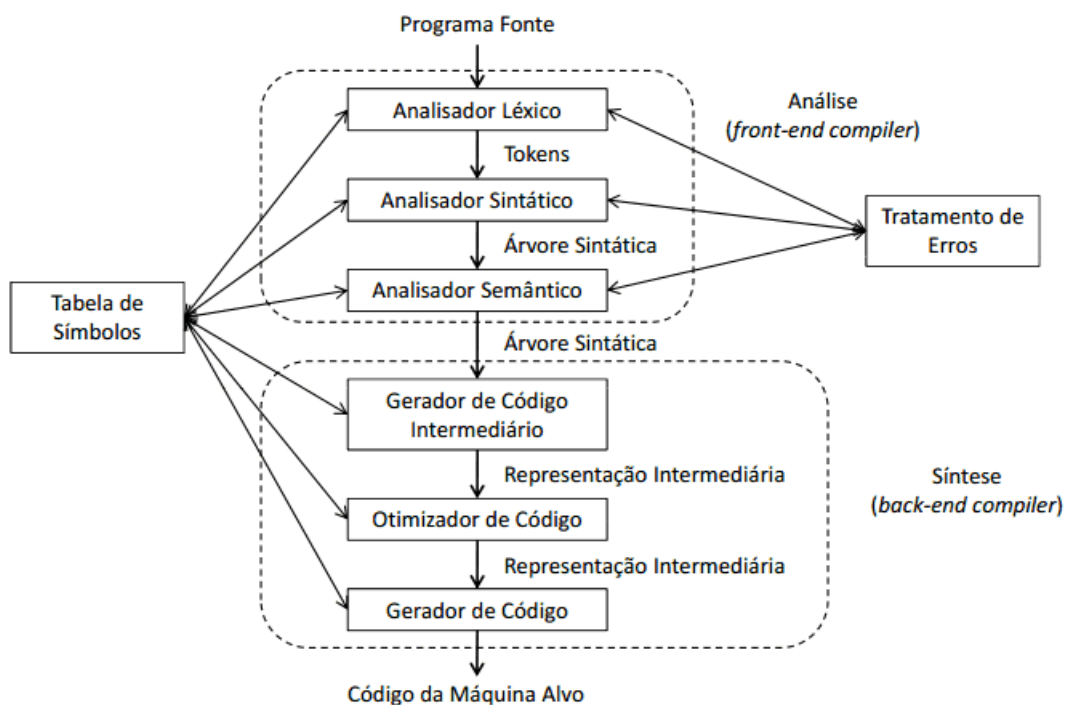
Efetuada uma análise léxica no código na linguagem C++ presente na figura 5, é possível apontar os tokens criados e os erros encontrados neste passo.

Começamos descrevendo as linhas corretas e os tokens retirados dela.

- a) Identificador X
- b) Atribuição =
- c) Número 6
- d) Identificador Y

Estes tokens citados acima, são os gerados na análise léxica, atribuídos e guardados para a próxima análise. Porém o código da figura 5 contém erros, impedindo de avançar para o próximo etapa.

FIGURA 5 – Exemplo dos passos presentes em um compilador.



FONTE: (MARANGON, 2015).

Os erros encontrados na análise léxica são:

- Linha 8, o analisador léxico não conhece o caractere () como algo válido.
- Linha 8, o analisador léxico não conhece o caractere) como algo válido.
- Linha 10, a variável é declarada do tipo string (texto), mas na atribuição não é fechada as (") para delimitar o fim do texto.
- Linha 11, é iniciado um comando de bloco de comentário (/*), mas não é fechado com (*/).

Na figura 5 ocorrem erros de análise sintática, que é o passo que abordaremos em seguida.

2.4 ANÁLISE SÍNTATICA

A análise Sintática é chamada também de análise hierárquica ou análise gramatical. Este passo utiliza dos tokens criados pela análise léxica, para criar um significado coletivo, obtendo uma ordem sequencial (AHO RAVI SETHI, 1995).

O analisador sintático, é responsável por avaliar se os tokens obtidos pelo passo anterior são válidos para a linguagem de programação em que ele é empregado,

FIGURA 6 – Código de exemplo para Análise Léxica.

```

1  #include <iostream>
2  #include <string>
3
4  using namespace std;
5
6  int main(){
7      int x, y = 6;
8      x = 10 * y; #
9      int i = 15x;
10     string nome("Fulano");
11     /*
12  }
```

FONTE: O próprio autor.

validando expressões, funções e métodos. A análise sintática geralmente utiliza de gramática livre de contexto para especificar a sintaxe de uma linguagem de programação (MARANGON, 2015).

Na figura 7, é apresentado um código na linguagem C++ com alguns erros encontrados na análise sintática, estes erros estão descritos abaixo da figura.

- a) Na linha 7, função main não fecha o “(“.
- b) Na linha 8, não foi acrescentado o ; no final da linha, com isso o analisador não consegue distinguir o final da instrução e o começo de outra.
- c) Na linha 9, o operador de divisão /, não consegue montar uma expressão de divisão por faltar o operador da esquerda.
- d) Na linha 13, o tipo da função int int, confunde o analisador por espera o nome do método após declara o seu tipo inteiro(int).
- e) Na linha 15, a função soma, não fecha o .

Após passar pela análise sintática, e verificado se o código faz sentido para linguagem que foi escrita, este passo é tratado a seguir.

FIGURA 7 – Código de exemplo para Análise Sintática.

```

1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  int soma(int aux);
6
7  int main({
8      int x = 10
9      int y = / 5;
10     int char = soma(x);
11 }
12
13 int int soma(int aux){
14     return aux++;
15

```

FONTE: O próprio autor.

2.5 ANÁLISE SEMÂNTICA

Até o momento vimos as etapas de análise léxica, que quebra o programa fonte em tokens e a análise sintática, que valida as regras a sintaxe da linguagem de programação. Não é possível representar com expressões regulares ou com uma gramática livre de contexto regras como: todo identificador deve ser declarado antes de ser usado. Muitas verificações devem ser realizadas com meta-informações e com elementos que estão presentes em vários pontos do código fonte, distantes uns dos outros. O analisador semântico utiliza a árvore sintática e a tabela de símbolos para fazer a análise semântica.

A análise semântica é responsável por verificar aspectos relacionados ao significado das instruções, essa é a terceira etapa do processo de compilação e nesse momento ocorre a validação de uma série de regras que não podem ser verificadas nas etapas anteriores (MARANGON, 2015).

Na figura 8, é ilustrado um código na linguagem C++ com alguns erros detectados na análise semântica.

Lista dos erros:

- a) Linha 8, variável j sendo atribuída igual ao valor da variável y, porém a

variável `j` não foi declarada.

b) Linha 5 e 11, duas funções `main` declaradas.

c) Linha 19, uma classe não pode herdar dela mesma.

FIGURA 8 – Código de exemplo para Análise Semântica.

```

1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  int main(){
6      int y = 10;
7      cout << "Primeiro main" << endl;
8      j = y;
9  }
10
11 int main(){
12     cout << "Segundo main" << endl;
13 }
14
15 class veiculo {
16     bool rodas = true;
17 };
18
19 class carro : public carro{
20 };

```

FONTE: O próprio autor.

2.6 TABELA DE SÍMBOLOS

A tabela de símbolos é uma estrutura auxiliar que tem como função apoiar a análise semântica nas atividades do código (RICARTE, 2008). Este recurso é responsável por armazenar informações de identificadores, como variáveis, tipos de dados, funções e constantes. A estrutura da tabela de símbolos pode ser de uma árvore ou tabela hash.

A seguir temos um código como exemplo para a explicação da tabela de símbolos.

FIGURA 9 – Código de exemplo para Tabela de Símbolos.

```
1  #include <iostream>
2
3  using namespace std;
4
5  int soma(int x, int y);
6
7  int main(){
8      int a = 5, b = 6;
9      cout << soma( a , b ) << endl;
10     return 0;
11 }
12
13 int soma( int x , int y ){
14     return ( x + y );
15 }
```

FONTE: O próprio autor.

2.7 GERAÇÃO DE CÓDIGO

2.8 LINGUAGEM D+

A linguagem a ser utilizada neste trabalho é a D++, criada pelo professor Diógenes Furlan, para que os alunos que integram a disciplina de compiladores, por ele ministrada, utilizem como base para a criação de um compilador. Algumas regras presentes nesta linguagem são apresentadas na figura 10.

FIGURA 10 – Regras de gramáticas D+.

Declarações

1. programa \rightarrow lista-decl
2. lista-decl \rightarrow decl lista-decl | decl
3. decl \rightarrow decl-var | decl-main
4. decl-var \rightarrow VAR espec-tipo var ;
5. decl-main \rightarrow MAIN () bloco END
6. espec-tipo \rightarrow INT | REAL | CHAR

Comandos

7. bloco \rightarrow lista-com
8. lista-com \rightarrow comando lista-com | ϵ
9. comando \rightarrow decl-var | com-atrib | com-selecao | com-repeticao | com-leitura | com-escrita
10. com-atrib \rightarrow var = exp ;
11. com-leitura \rightarrow SCAN (var) ; | SCANLN (var) ;
12. com-escrita \rightarrow PRINT (exp) ; | PRINTLN (exp) ;
13. com-selecao \rightarrow IF exp THEN bloco END-IF | IF exp THEN bloco ELSE bloco END-IF
14. com-repeticao \rightarrow WHILE exp DO bloco LOOP

Expressões

15. exp \rightarrow exp-mult op-soma exp | exp-mult
16. op-soma \rightarrow + | -
17. exp-mult \rightarrow exp-simples op-mult exp-mult | exp-simples
18. op-mult \rightarrow * | / | DIV | MOD
19. exp-simples \rightarrow (exp) | var | literal
20. literal \rightarrow NUMINT | NUMREAL | CARACTERE | STRING
21. var \rightarrow ID

FONTE: (FURLAN, 2018).

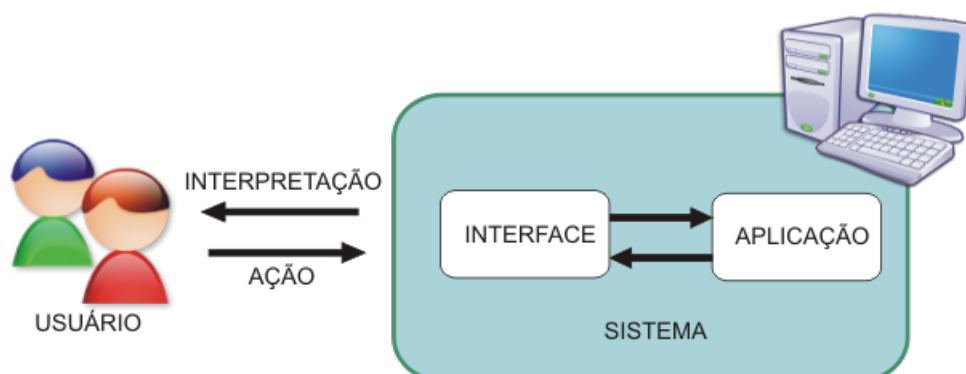
3 INTERAÇÃO HUMANO-COMPUTADOR(IHC)

Este capítulo tem como objetivo apresentar os conceitos primordiais da interface, os objetivos dela, história e os ganhos ofertados ao elaborá-la.

O surgimento do conceito da interface no princípio, era compreendido como o hardware e o software com que o homem poderia se comunicar (ROCHA, 2003). Toda a comunicação que teria entre um ser humano e uma máquina, abrangia este conceito, desde uma atividade mais simples como uma leitura em uma tela, a atividades mais complexas como desenvolvimento de um software. A evolução deste conceito levou a inclusão dos aspectos cognitivos e emocionais do usuário durante a comunicação (ROCHA, 2003).

Na figura 11, é ilustrado a comunicação entre uma pessoa e a máquina. O humano é representado pelo usuário, e a ação de comunicação são representadas pelas setas de interpretação e ação, a interface recebe as comunicações dos usuários e se comunica com a parte logica do software, aplicação.

FIGURA 11 – Interação Humano Computador..



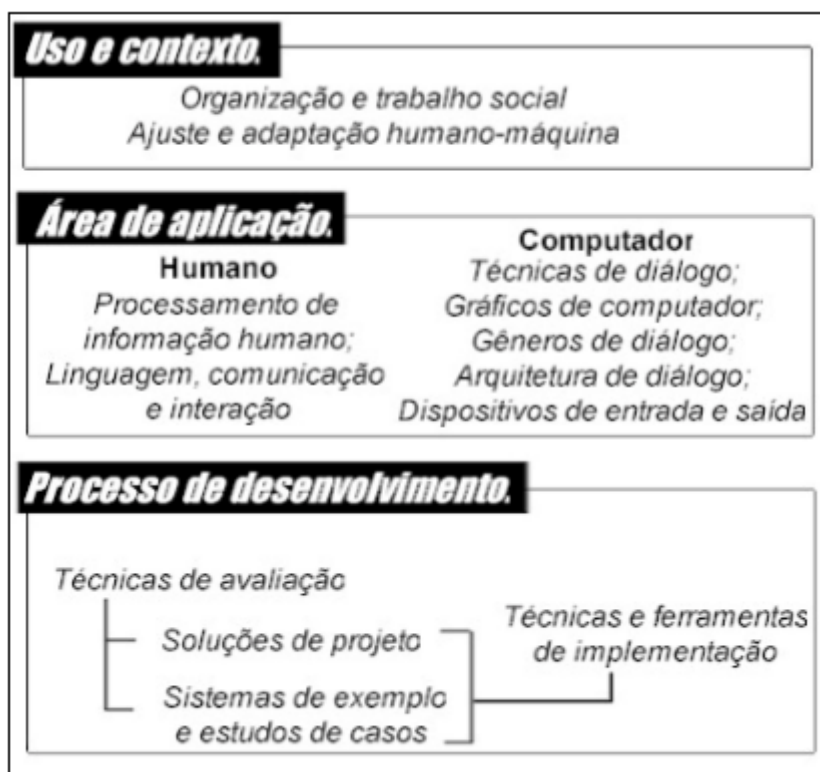
FONTE: (SANTOS., 2012).

A interface pode ser visualizada como um lugar onde ocorre o contato entre duas entidades, homem e máquina, um exemplo, a tela de um computador (ROCHA, 2003). Com este exemplo, pode-se estender a varias situações, como, maçanetas de porta, botões de elevadores.

Uma definição que englobaria estes casos, seria, que a interface é uma superfície de contato que possui propriedade que alteram o que é visto, ou sentido, e alterando o controle da interação (Laurel, 1993).

IHC não possui uma definição estabelecida, mas a que mais a representa é, uma disciplina preocupada com o design, avaliação e implementação de sistemas computacionais interativos para uso humano e com o estudo dos principais fenômenos ao redor deles (ROCHA, 2003). Na figura 12, é ilustrado esta definição.

FIGURA 12 – Interação Humano-computador Adaptada da Descrição do comitê SIG-CHI 1992.



FONTE: (ROCHA, 2003).

4 TRABALHOS RELACIONADOS

4.1 AMBIENTE DE PROGRAMAÇÃO VISUAL BASEADO EM COMPONENTES

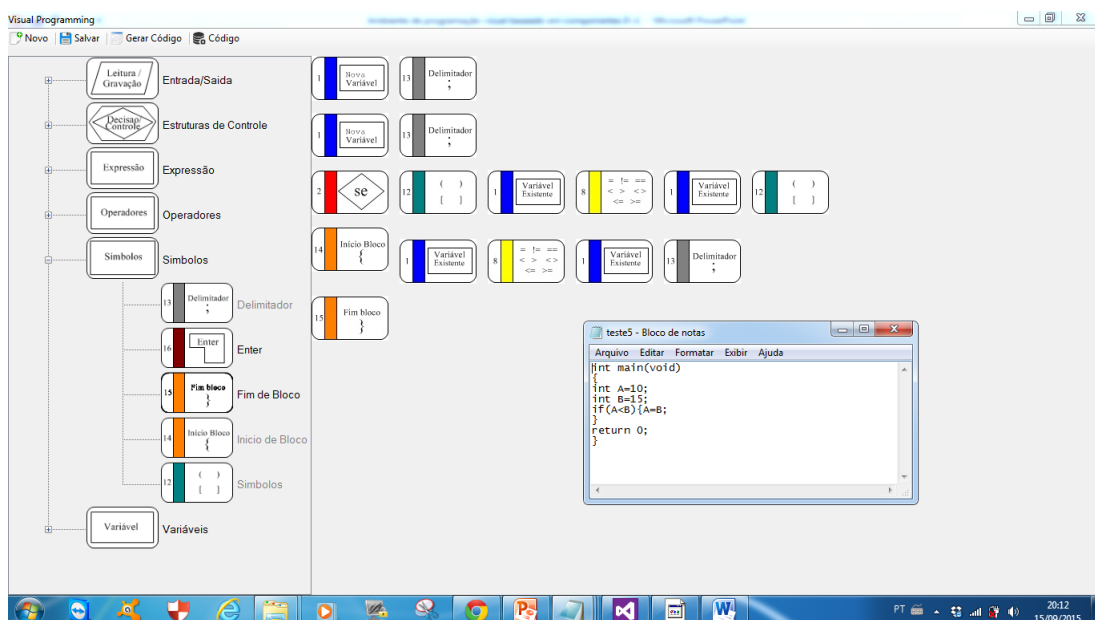
(BURIGO, 2015) apresenta um trabalho sobre a criação de um ambiente de desenvolvimento utilizando componentes vindos de fluxogramas, e transformando-os em código da linguagem C, para que auxilie pessoas que estão iniciando na área de programação, e também pessoas que já tem familiaridade na área, mas que não possuem conhecimento da linguagem ao qual o fluxo é convertido.

Neste trabalho foi utilizada a linguagem C#, fluxogramas e o banco de dados SQL Server. A linguagem C#, foi escolhida devido a sua facilidade em criar um ambiente gráfico e de sua administração com imagens como fluxograma.

A utilização de componentes baseados em fluxogramas auxilia no desenvolvimento de um ambiente de programação visual, possibilitando o usuário criar código através destes componentes.

A figura 13 ilustra a interface criada pelo trabalho, tendo o menu esquerdo as funções possíveis de utilização, e a aba da direita sendo o resultado dos conjuntos escolhidos.

FIGURA 13 – Exemplo de fluxo com o código gerado.



FONTE: (BURIGO, 2015).

SQL Server é um gerenciador de dados. Nele foram armazenados os fluxogramas para facilitar o processo de alocação, controle e manipulação, armazenando no final o código de saída do fluxograma montado. (BURIGO, 2015).

Foram realizados experimentos com 50 alunos, porém apenas 20% responderam

o questionário proposto, e suas respostas informavam que o software chama a atenção para seu uso, porém não era mais simples o seu entendimento, obrigando o usuário a ter um conhecimento de lógica de programação maior do que o desejado, assim não atingindo seu objetivo.

4.2 SCC: UM COMPILADOR C COMO FERRAMENTA DE ENSINO DE COMPILADORES

(FOLEISS GUILHERME P. ASSUNÇÃO, 2009) apresenta um trabalho do desenvolvimento de um compilador que permite criar programas na linguagem C e serem executados com supervisão em tempo real. Estas supervisões funcionam com uma execução detalhada, passo a passo. Com este recurso tem-se um auxílio no aprendizado de compiladores, e suas etapas da geração do código.

Foram utilizadas a linguagem C e Assembly juntamente com a ferramenta SASM, que é um software que gera códigos objetos compatíveis com a arquitetura IA-32.

A maior parte do trabalho foi desenvolvido na linguagem C, porém algumas das rotinas básicas foram desenvolvidas em Assembly para melhorar o desempenho. Utilizando também o SASM, para testar a compatibilidade do compilador com esta ferramenta.

A figura 14 ilustra uma árvore de símbolos como saída de um código escrito para este compilador.

4.3 COMPILER BASIC DESIGN AND CONSTRUCTION

(JAIN NIDHI SEHRAWAT, 2014) apresenta um trabalho com sistema de compilação adaptativa, com o objetivo de fornecer uma documentação sobre o projeto e desenvolvimento do compilador, para auxiliar na compreensão do tema e criar técnicas eficazes para desenvolver.

Neste trabalho foi utilizada a linguagem Scheme para a implementação do compilador, e código de montagem (Assembly) como linguagem alvo. As técnicas implementadas foram análise léxica e análise sintática. A análise léxica tem como objetivo verificar a parte gramática de acordo com as regras da linguagem criada ou utilizada, validando o que está correto ou não. A análise sintática, é responsável por verificar a ordem dos símbolos e sentido.

4.4 INTERPRETADOR/COMPILADOR PYTHON

(BASTOS, 2010) apresenta um trabalho sobre o funcionamento da arquitetura do Python, analisando os processos de análise léxica, sintática e a geração de código.

FIGURA 14 – Árvore de símbolos.

-----ÁRVORE DE SÍMBOLOS-----

```
-----
Escopo = global
  Símbolo: main
    Tipo: INT
    Flags: FUNÇÃO
  Símbolo: pot
    Tipo: INT
    Flags: FUNÇÃO
-----
```

```
Escopo = pot
  Símbolo: exp
    Tipo: INT
    Flags: PARÂMETRO
  Símbolo: base
    Tipo: INT
    Flags: PARÂMETRO
-----
```

```
Escopo = main
  Símbolo: a
    Tipo: INT
    Flags: VARIÁVEL
  Símbolo: b
    Tipo: INT
    Flags: VARIÁVEL
  Símbolo: argc
    Tipo: INT
    Flags: PARÂMETRO
  Símbolo: argv
    Tipo: VOID
    Flags: PARÂMETRO PONTEIRO(Prof = 2)
```

FONTE: (FOLEISS GUILHERME P. ASSUNÇÃO, 2009).

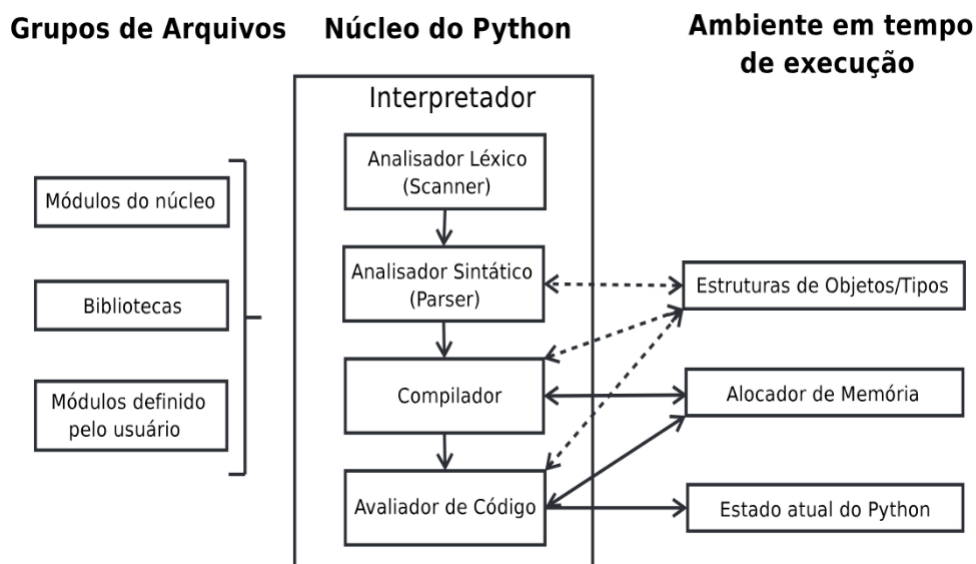
Este artigo realiza uma abordagem sobre a estrutura da arquitetura, do interpretador, a gramática da linguagem e as características.

Neste artigo foi utilizada a linguagem Python, uma linguagem de programação interpretada interativa e orientada a objetos, junto com o seu interpretador.

Após os estudos foi verificado que o interpretador obteve uma implementação diferenciada dos demais nos processos de análise léxica e análise sintática. Foi observado também que o Python utiliza máquina virtual para executar os códigos intermediários(bytecodes).

A figura 15 ilustra a arquitetura Python, tendo no centro o interpretador, e nele os passos seguidos para a compilação do código.

FIGURA 15 – Interpretação da Arquitetura Python.



FONTE: (BASTOS, 2010).

4.5 COMPILER CONSTRUCTION

(SINGH SONAM SINHA, 2013) apresenta um artigo informando técnicas e exemplos, que facilite a implementação de um compilador.

Neste artigo é apresentado exemplos das técnicas de análise léxica e análise semântica, também mostrando trechos de códigos para melhor compreensão.

Foi utilizado a linguagem Scheme para a construção do compilador, e a linguagem de montagem, código de máquina (Uma linguagem composta apenas de números na base binária), como linguagem alvo. Schema é uma linguagem que suporta programação funcional e procedural, facilitando assim a elaboração do compilador. O compilador criado utilizou de um gerenciamento de armazenamento do tipo pilha, essa estrutura tem a característica o maneja mento como, o último elemento a entrar nela, é o primeiro a sair.

QUADRO 1 – Comparação dos trabalhos relacionados.

Trabalho	Método	Gera uma saída	Ferramentas utilizaas	Linguagens utilizadas
Trabalho 1	Componentes de fluxogramas; Administração de Imagens.	Código na linguagem C.	SQL Server; Fluxogramas.	C#; SQL
Trabalho 2	Análise sintática recursiva descendente	Árvore sintática; Árvore de Símbolos.	SASM.	C; Assembly
Trabalho 3	Análise Léxica; Análise Sintática.	Código de Montagem (Assembly).	-	Scheme; Assembly.
Trabalho 4	Análise Léxica; Análise Sintática.	-	Interpretador Python.	Python.
Trabalho 5	Análise Léxica; Análise Sintática.	Código de Máquina.	-	Scheme.

FONTE: próprio autor.

5 METODOLOGIA

Neste capítulo é informado quais os métodos e ferramentas foram utilizados para desenvolver o interpretador e a interface, a forma de abordagem para a coleta de dados, o cenário e os indivíduos participantes.

A metodologia seguida para se obter dados sobre a utilização e a funcionalidades para os alunos e para o professor da matéria de compiladores, é a utilização de um questionário elaborado para ser respondido após o uso do software, este questionário está no apêndice. As tecnologias utilizadas para o desenvolvimento do interpretador, são: linguagem de programação C++, QT Creator, JFLAP, e as metodologias de criação de um compilador, Análise Léxica, Análise Sintática e Análise Semântica.

5.1 LINGUAGEM C++

A linguagem utilizada para o desenvolvimento deste software é C++, que é a predominante no programa QT Creator, e por se diferenciar pouco da linguagem C, a base no ensino no curso de ciências da computação. Esta linguagem também possui bibliotecas que auxiliam no desenvolvimento, como o regex, que é utilizado neste trabalho para tratar expressões regulares e assim tornar o código melhor escrito sem necessidade de repetição de regra.

Na figura 16 é ilustrado a função descrita acima, nela é chamada a função `regex_match`, esta função verifica se a letra passada, a variável `line[aux]`, faz parte da gramática enviada junto, `regex("[a-zA-Z_]")`.

FIGURA 16 – Função do código de validação de caractere.

```
625  bool caracterValidationFirst() {
626      return (regex_match(string(1, line[aux]), regex("[a-zA-Z_]")));
627  }
```

FONTE: O próprio autor.

5.2 QT CREATOR

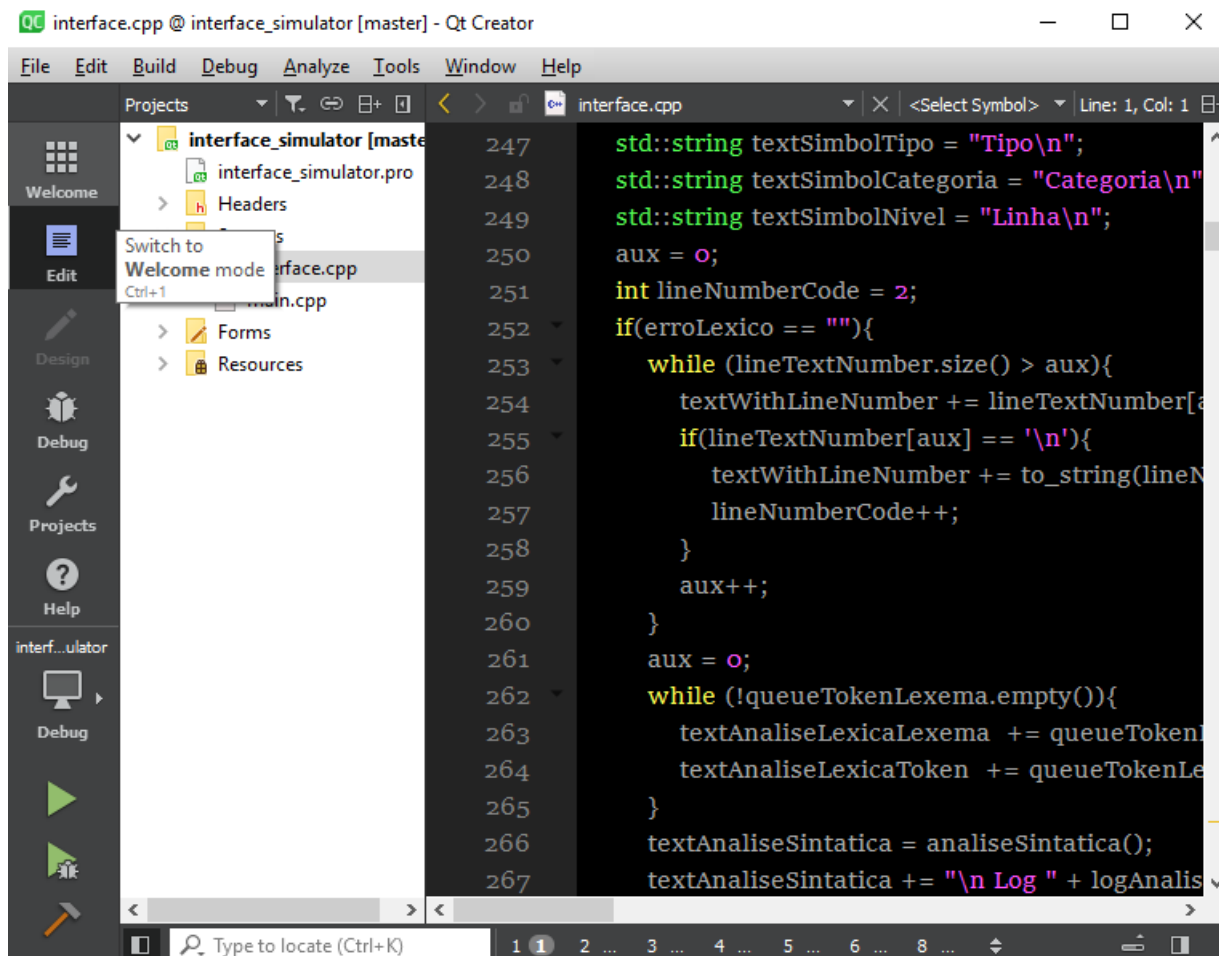
QT Creator é um ambiente de desenvolvimento integrado (IDE), criado por uma empresa norueguesa Trolltech, que visa facilitar e ajudar no desenvolvimento de softwares, permitindo criar sistemas para plataformas múltiplas. A versão utilizada é a 5.13.1, com o compilador MinGW 7.3.0 32 bits.

A principal razão da escolha desta IDE foi a facilidade de desenvolvimento, devido a possuir um compilador integrado, uma depuração excelente que possibilita

que o desenvolvedor encontre o erro no código produzido, e o corrija rapidamente, além de ter familiaridade com está framework por já utilizá-la em trabalhos da universidade.

Na figura 17 é ilustrado a interface do Qt Creator, e as opções de funcionalidades no lado esquerdo, sendo o ícone de triângulo deitado verde a função de compilação e o ícone de triângulo verde junto a um inseto o de depuração.

FIGURA 17 – Interface de código do Qt Creator.



FONTE: O próprio autor.

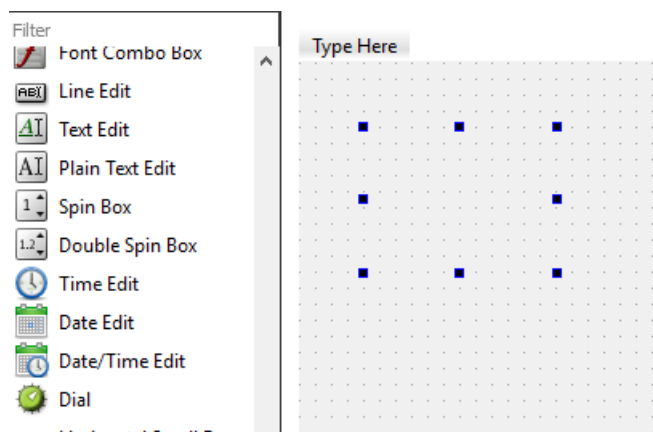
Este software dá a possibilidade de elaborar a interface, com componentes básicos prontos necessitando apenas configurá-los, assim centralizando tanto a Back-End (parte lógica do software) como o Front-End (interface).

Na figura 18 é ilustrado a interface do Qt Creator para a criação de interfaces, no lado esquerdo se encontra componentes já criados, sendo necessários apenas selecioná-los e configurá-los.

5.3 JFLAP

JFLAP é um software gratuito educacional desenvolvido na linguagem JAVA por Susan H. Rodger, o principal uso deste framework é na criação de autômatos finitos

FIGURA 18 – Interface de design do Qt Creator.



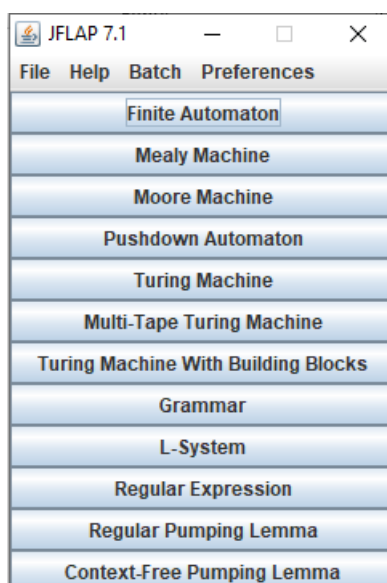
FONTE: O próprio autor.

não determinísticos, máquinas de Turing e vários tipos de gramática (RODGER, 2005).

Este software foi utilizado para criar todos os autômatos da linguagem D+, utilizados para ilustrar na interface do interpretador por onde o código passou. Na figura 16 é ilustrado um autômato criado no JFLAP, ele é apresentado na interface desenvolvida quando aquele caminho de autômato é acessado pela análise léxica. Na figura 17 é ilustrado um autômato que não foi acessado na análise léxica).

Na figura 19 é ilustrado as opções que o software oferta para o usuário, desde autômato finito, gramáticas, máquina de Turing entre outros. Neste trabalho foi utilizado apenas a funcionalidade de autômato finito.

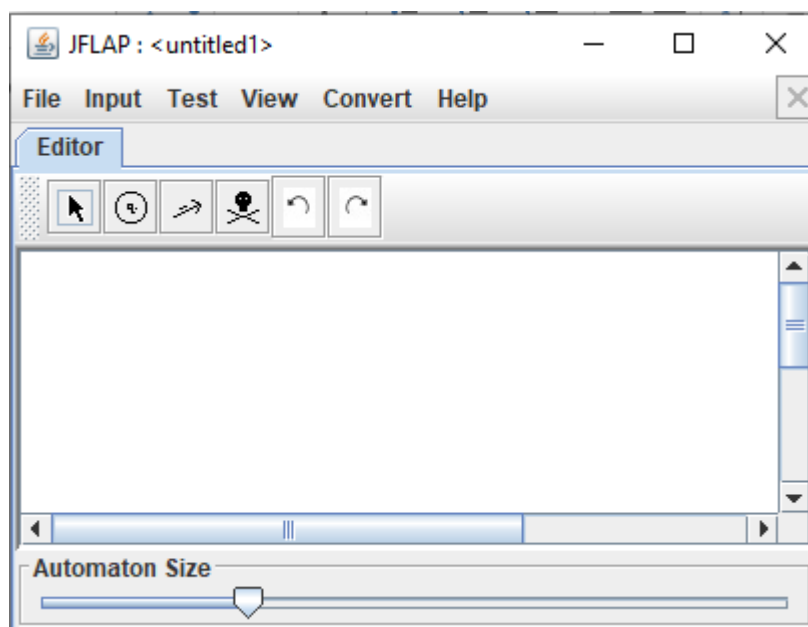
FIGURA 19 – Menu JFLAP.



FONTE: O próprio autor.

Na figura 20 é ilustrado o quadro que a framework abre para a criação dos autômatos.

FIGURA 20 – Janela de criação de autômatos.



FONTE: O próprio autor.

5.4 AUTÔMATOS

A criação dos autômatos da linguagem d+ foram criados para facilitar no desenvolvimento da análise léxica e posteriormente para a ilustração do percurso do código escrito. Foi desenvolvido uma função para cada estado do autômato.

Foram criado um total de 20 autômatos, exportados como png para utilizá-los na interface, e assim ilustrar para quem estiver utilizando o interpretador.

Na figura 21 é ilustrado um autômato criado na ferramenta JFLAP. Ele demonstra o caminho de validação de um identificador ou palavra reservada, onde sua gramática permite letras de A à Z tanto minúsculas ou maiúscula.

5.5 ESTRUTURAS ADOTADAS NO DESENVOLVIMENTO

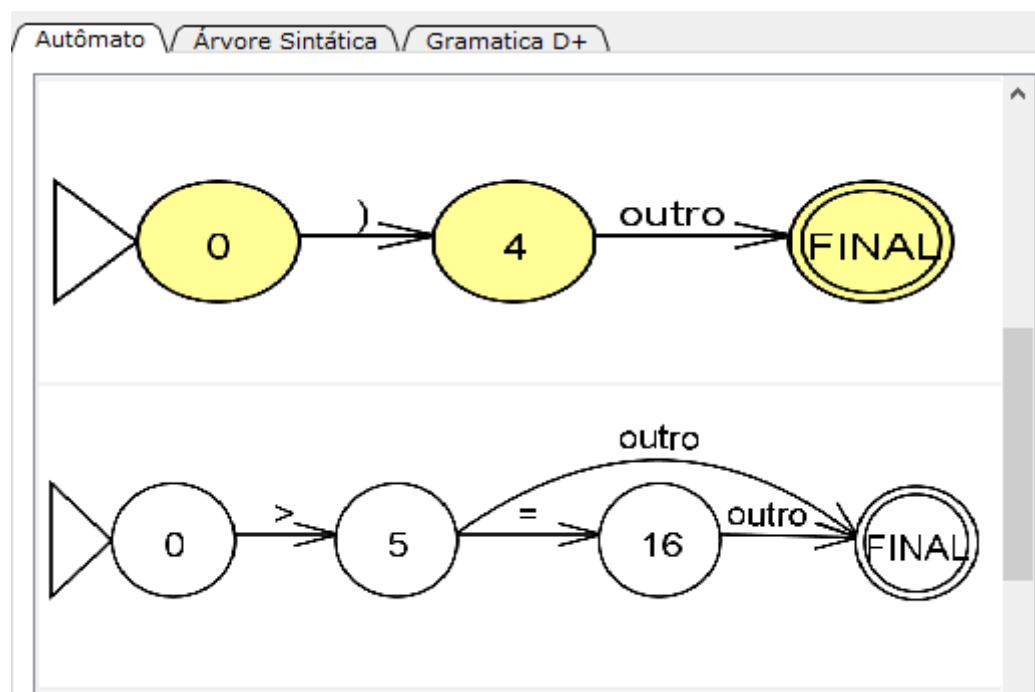
Neste capítulo são tratadas as estruturas utilizadas para o desenvolvimento da lógica da compilação, programação estruturada, Análise léxica, Análise Sintática, e Análise semântica.

5.5.1 Programação Estruturada

A estrutura de programação estruturada foi a escolhida no desenvolvimento do software, por conta de ser a base ensinada no curso de ciências da computação, e com isso ter maior familiaridade com esta estrutura.

A programação estruturada tem como base três mecanismos em que os blocos

FIGURA 21 – Autômatos na interface.

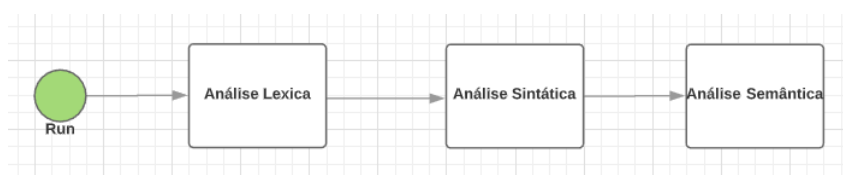


FONTE: O próprio autor.

de códigos se interligam, os mecanismos são: sequência, seleção e iteração(RICARTE, 2003).

A sequência é o fluxo que o código toma de acordo com a ação(RICARTE, 2003), um exemplo é o fluxo que o interpretador desenvolvido toma quando é clicado no botão de Run, ele carrega o código inserido, efetua a análise léxica em seguida a análise sintática e por fim a análise semântica. Na figura 22 é ilustrado um exemplo de sequência.

FIGURA 22 – Fluxo de sequência.



FONTE: O próprio autor.

A seleção é a verificação do caminho que será tomado com uma verificação do comando IF(RICARTE, 2003), um exemplo encontrado no código, é uma verificação que se faz antes de iniciar a análise sintática, caso haja um erro na análise léxica, ele não prossegue para a análise sintática. Na figura 23 é ilustrado o exemplo de seleção.

A iteração é o mecanismo de repetição, enquanto uma condição for atendida ela é executada(RICARTE, 2003), um exemplo encontrado no código é na função state01, nesta função existe uma estrutura de repetição, while, em que é verificado se a letra

FIGURA 23 – Exemplo de iteração usando o comando while.

```

252   if(erroLexico == ""){
253       while (lineTextNumber.size() > aux){
254           textWithLineNumber += lineTextNumber[aux];
255           if(lineTextNumber[aux] == '\n'){
256               textWithLineNumber += to_string(lineNumberCode) + ". ";
257               lineNumberCode++;
258           }
259           aux++;
260       }
261       aux = 0;
262       while (!queueTokenLexema.empty()){
263           textAnaliseLexicaLexema += queueTokenLexema.dequeue() + "\n";
264           textAnaliseLexicaToken += queueTokenLexema.dequeue() + "\n";
265       }

```

FONTE: O próprio autor.

de uma variável satisfaz a uma regra, caso sim, refaz os passos contidos dentro desta estrutura, ao contrário segue o código abaixo dela. Na figura 24 é ilustrado um exemplo de iteração.

FIGURA 24 – Exemplo de seleção.

```

765   void state01(){
766       while(caracterValidation()){
767           lexema += line[aux];
768           nextChar();
769       }
770       if(automato1 == false) automato1 = true;
771       reservWorks();
772       queueValue();
773       clear();
774       state = 0;
775   }

```

FONTE: O próprio autor.

5.5.2 Análise léxica

Para o desenvolvimento da análise léxica, foram utilizados os autômatos criados, em apêndice, como guias, o autômato do estado 0 é o que seleciona o caminho que aquele caractere ira percorrer, o mesmo é feito na função state00, ao encontrar o caminho é atribuído um valor para a variável state sendo o valor o número do próximo estado, e assim prossegue para o estado subsequente.

Na figura 25 é ilustrado um trecho da função state00, nela é verificado a letra que o programa está analisando, caso faça parte da gramática, é direcionada para o caminho correto, do contrário é retornado erro.

FIGURA 25 – Função state00.

```

693   if (line[aux] == '\0' || line[aux] == ' '){
694       nextChar();
695       clear();
696       return;
697   }
698   switch (line[aux]) {
699       case '(':
700         state = 3;
701         break;
702       case ')':
703         state = 4;
704         break;
705       case '>':
706         state = 5;
707         break;

```

FONTE: O próprio autor.

A função reservWorks contém a lógica para verificar se aquele lexema formado é uma palavra reservada, a função possui um laço de repetição, for, em que percorre uma matriz criada que contém todas as palavras reservadas da linguagem D+, caso seja igual a alguma delas, é atribuído o token da palavra reservada, do contrário o token é atribuído como identificador. Na figura 26 é ilustrado a função reservWorks.

Após a análise obter os valores de lexema e token, é chamada a função queueValue, que atribui os valores do lexema e token em uma estrutura de fila, esta fila é utilizada para passar estes valores para uma string que é utilizada para ilustrar em um campo text na interface do software, na figura 27 é ilustrada a saída deste string na aba Análise léxica.

5.5.3 Análise sintática

FIGURA 26 – Função reservWorks.

```

607 void reservWorks () {
608     lexemaMaiusculo();
609     int i = 0;
610     for (i = 0; i < 45; i++) {
611         if (lexema == tableReservWorks[i][0]) {
612             token = tableReservWorks[i][1];
613             return;
614         }
615     }
616     token = "IDENTIFICADOR";
617 }

```

FONTE: O próprio autor.

QUADRO 2 – Funções criadas de acordo com as regras da gramática.

Regra	Função
programa lista-decl	-> P()

FONTE: próprio autor.

FIGURA 27 – Saída da análise léxica.

Análise Léxica			Análise Sintática			Tabela de Símbolos		
Lexema			Token					
ID_VARIABLE			VAR					
ID_INTEGER			INT					
IDENTIFICADOR			A					
SIGNAL_COMMA			,					
IDENTIFICADOR			B					
SIGNAL_SEMICOLON			;					
ID_CONST			CONST					
IDENTIFICADOR			C					
OPERATOR_ATRIBUT			=					
NUMREAL			93.5					
SIGNAL_SEMICOLON			;					
ID_SUB			SUB					
ID_FLOAT			FLOAT					
IDENTIFICADOR			SOMA					
ID_BRACKETRIGHT			(
ID_BRACKETLEFT)					
IDENTIFICADOR			A					
OPERATOR_ATRIBUT			=					
NUMINT			5					
OPERATOR_PLUS			+					
NUMINT			6					
SIGNAL_SEMICOLON			;					
ID_ENDSUB			END-SUB					
ID_FUNCTION			FUNCTION					
ID_BOOLEAN			BOOL					
IDENTIFICADOR			TESTE					
ID_BRACKETRIGHT			(
ID_BRACKETLEFT)					
ID_RETURN			RETURN					

FONTE: O próprio autor.

REFERÊNCIAS

- AHO RAVI SETHI, J. D. U. A. V. *Compiladores Princípios, Técnicas e Ferramentas*. 1. ed. Rio de Janeiro: Santuário, 1995. Acesso em: 10 mar 2019.
- BASTOS, J. F. E. *Interpretador/Compilador Python*. 1. ed. Rio Grande do Sul: Universidade Católica de Pelotas, 2010. Acesso em: 21 mar 2018.
- BURIGO, J. M. *Ambiente de programação visual baseado em componentes*. 1. ed. Curitiba: UTP - Universidade Tuiuti do Paraná, 2015. Acesso em: 10 mar 2018.
- FOLEISS GUILHERME P. ASSUNÇÃO, E. H. M. d. C. J. H. *SCC: Um Compilador C como Ferramenta de Ensino de Compiladores*. 1. ed. Maringá: Universidade Estadual de Maringá, 2009. Acesso em: 5 mar 2018.
- FURLAN, D. C. *Regras de gramática D+*. [S.l.]: UTP, 2018.
- JAIN NIDHI SEHRAWAT, N. M. M. *Compiler Basic Design and Construction*. 1. ed. India: Maharshi Dayanand University, 2014. Acesso em: 20 mar 2018.
- MARANGON, J. D. *Compiladores para Humanos*. 2015. GitBook. Disponível em: <<https://johnidm.gitbooks.io/compiladores-para-humanos/content/>>. Acesso em: 14 jul 2019.
- RICARTE, I. *Introdução a Compilação*. 1. ed. Rio de Janeiro: Elsevier - Campus, 2008. Acesso em: 20 mar 2019.
- RICARTE, I. L. M. *Programação estruturada*. 2003. Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação FEEC - UNICAMP. Disponível em: <<http://www.dca.fee.unicamp.br/cursos/EA876/apostila/HTML/node7.html>>. Acesso em: 10 nov 2019.
- ROCHA, M. C. B. Heloísa Vieira da. *Design e Avaliação de Interfaces Humano-Computador*. 1. ed. Rio de Janeiro: Unicamp, 2003. Acesso em: 9 ago 2019.
- RODGER, S. H. *JFLAP Version 7.1*. 2005. Jflap. Disponível em: <<http://www.jflap.org/>>. Acesso em: 30 oct 2019.
- SANTOS., A. P. *A Importância da Interação Humano-Computador*. 2012. TIQx. Disponível em: <<http://tiqx.blogspot.com/2012/02/compreenda-importancia-da-interacao.html>>. Acesso em: 8 ago 2019.
- SANTOS, T. L. P. R. *Compiladores da teoria a pratica*. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2018. Acesso em: 26 jul 2019.
- SINGH SONAM SINHA, A. P. A. *Compiler Construction*. 1. ed. Gorakhpur: Institute of Technology e Management, GIDA Gorakhpur, 2013. Acesso em: 28 mar 2018.
- VICTORIA, P. *Métodos de tradução: interpretador x compilador*. 2019. Imasters. Disponível em: <<https://imasters.com.br/desenvolvimento/metodos-de-traducao-interpretador-x-compilador>>. Acesso em: 20 mar 2019.

**ANEXO A – QUESTIONÁRIO DE UTILIZAÇÃO DO INTERPRETADOR
INTEGRADO A UMA INTERFACE DA LINGUAGEM D+**