

AVALIAÇÃO DO USO DE CONCEITOS DE LINGUAGENS FORMAIS E AUTÔMATOS EM UM CURSO DE ENGENHARIA DA COMPUTAÇÃO

Ivone Penque Matsuno ^{1,2} - ivone.matsuno@poli.usp.br

Thiago Carvalho Pedrazzi ¹ - thiago.pedrazzi@poli.usp.br

Ricardo Luis de Azevedo da Rocha ¹ - luis.rocha@poli.usp.br

¹Departamento de Engenharia de Computação e Sistemas Digitais – PCS
Escola Politécnica da Universidade de São Paulo
Av. Prof. Luciano Gualberto, trav.3, n.º.158
05508-900 – São Paulo – SP

² Departamento de Engenharia de Computação e Ciência da Computação
Faculdades Associadas de São Paulo – FASP
Rua José Antonio Coelho, n.º 879 – Paraíso
04011-062 – São Paulo – SP

Resumo: *Considerando as dificuldades enfrentadas por alunos de cursos de Engenharia da Computação em compreender e utilizar os conceitos desenvolvidos em disciplinas de Linguagens Formais e Autômatos e que os alunos têm demonstrado maior facilidade em compreender um formalismo operacional como autômatos finitos, baseados em diagramas de estados e transições do que, por exemplo, um formalismo axiomático como gramáticas, ou mesmo um formalismo denotacional, como expressões regulares, este trabalho teve como objetivos verificar como os alunos aprendem e quais as dificuldades manifestas na utilização desses formalismos. Para isso, foi desenvolvido um estudo empírico com alunos de um curso de Engenharia da Computação em uma instituição privada em São Paulo para parametrizar a percepção do aluno neste aspecto. Um dos resultados obtidos foi a confirmação da preferência e facilidade dos alunos na utilização de formalismos operacionais. Explorar essas facilidades para introduzir os conceitos da disciplina em questão são inspiradores para novas propostas de ensino. Outros aspectos complementares são apresentados neste trabalho para uma melhor compreensão dos resultados obtidos.*

Palavras-chaves: *Linguagens formais, Metodologia de ensino, Autômatos finitos*

1. INTRODUÇÃO

Considerando as dificuldades enfrentadas por alunos de cursos de Engenharia da Computação em compreender e utilizar os conceitos desenvolvidos em disciplinas de Linguagens Formais e Autômatos e que os alunos têm demonstrado maior facilidade em compreender um formalismo operacional como autômatos finitos, baseados em diagramas de estados e transições do que, por exemplo, um formalismo axiomático como gramáticas, ou

mesmo um formalismo denotacional, como expressões regulares, este trabalho teve como objetivos verificar como os alunos aprendem e quais as dificuldades manifestas.

A experiência dos docentes no desenvolvimento do conteúdo da disciplina em questão, e até mesmo os livros texto que abordam esse assunto, iniciam a formalização de linguagens formais através do modelo operacional, autômatos finitos, para o tratamento de linguagens regulares. O problema ocorre na abordagem das demais classes de linguagens, livres de contexto e dependentes de contexto, que, em geral, enfatiza o uso de modelo axiomático, as gramáticas, para o tratamento das mesmas. Essa mudança no modelo gera a necessidade de entender a nova notação para depois compreender a nova classe de linguagem abordada.

Neste trabalho o principal objetivo foi avaliar a visão do aluno em relação aos modelos para tratamento de linguagens formais com intuito de detectar quais são os pontos que os alunos apresentam facilidades e quais são os pontos em apresentam dificuldade, para que, a partir dessa avaliação, pudéssemos reavaliar a forma de explorar o conteúdo da disciplina.

Este artigo está dividido da seguinte forma: na seção 2 é apresentada uma visão geral dos formalismos abordados na disciplina de Linguagens Formais e Autômatos para o tratamento de linguagens regulares. Na seção 3 é descrito o instrumento de avaliação utilizado neste trabalho, como também o objetivo de cada questão e a relação entre as elas. A seção 4 apresenta os resultados obtidos na avaliação proposta e na seção 5 apresentam-se as conclusões e trabalhos futuros a partir dos resultados obtidos.

2. ABORDAGEM DE LINGUAGENS FORMAIS E AUTÔMATOS

No desenvolvimento do conteúdo das disciplinas de fundamentos da engenharia da computação, se desenvolve o ensino das linguagens formais e de seus respectivos formalismos para tratá-las, de acordo com a sua classificação na Hierarquia de Chomsky como pode ser observado na Figura 1. Iniciando o estudo das linguagens mais simples (linguagens regulares – tipo 3) até as mais abrangentes (linguagens recursivamente enumeráveis – tipo 0).

Nesta seção baseou-se nas referências de LEWIS e PAPADIMITRIU (1998), MENEZES (2002), NETO (1987) e ULLMAN, HOPCROFT e MOTWANI (2002) na apresentação dos conceitos abordados

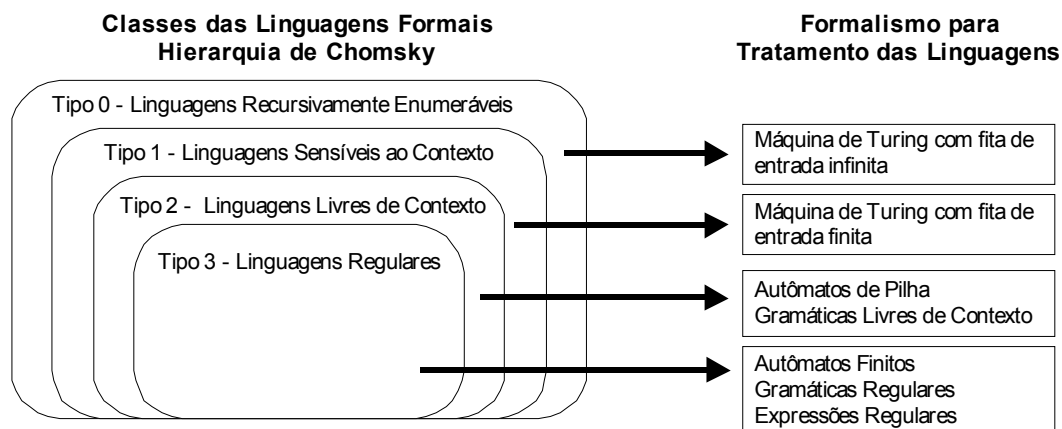


Figura 1 – Hierarquia de Chomsky

Neste trabalho avaliou-se a percepção do aluno em relação aos formalismos para o tratamento de linguagens regulares, os quais fazem parte do conteúdo inicial da disciplina, sendo a base para o entendimento dos conteúdos subsequentes.

Para o tratamento de linguagens regulares os modelos utilizados são: Autômatos Finitos, Expressões Regulares e Gramáticas Regulares. Nas próximas subseções são apresentadas, de forma resumida, as definições desses formalismos. Com o intuito de comparar os formalismos, o mesmo exemplo de Linguagem Regular será utilizado na construção de um modelo para a exemplificação de suas respectivas definições.

A linguagem regular L considerada será definida sobre o alfabeto {a,b,c}, sendo formada por todas as cadeias que tenham a subcadeia 'ab' ou 'ac' como prefixo.

2.1. Autômatos finitos

Autômatos Finitos são máquinas de transições de estados o qual é um modelo reconhecedor de Linguagens Regulares. Um Autômato Finito(AF) M pode ser definido pela quintupla $M=(\Sigma, Q, \delta, q_0, F)$, em que

- Σ : Conjunto de símbolos os quais compõe o alfabeto da linguagem.
- Q: Conjunto de estados do autômato M.
- δ : Conjunto de transições do autômato.
- q_0 : Estado inicial do autômato M.
- F: Conjunto de estados finais do autômato M.

A notação gráfica de um AFD é por um diagrama de transições, em que cada estado é representado por um círculo rotulado pelo nome do estado. O estado inicial é indicado por uma seta e os estados finais por dois círculos concêntricos. As transições são representadas por interligações entre estados indicando o símbolo de consumo.

Para a linguagem L citada anteriormente, o autômato finito para reconhecê-la é apresentado na Figura 2.

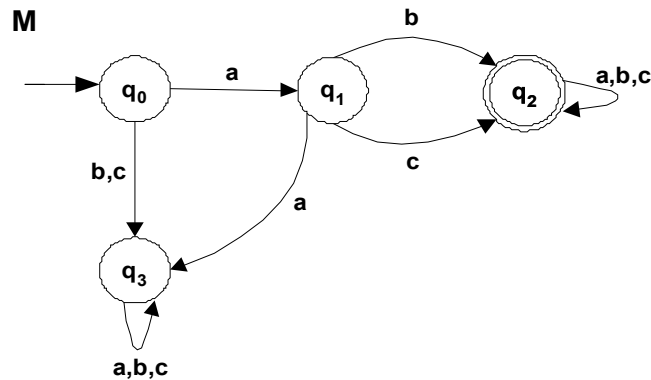


Figura 2 – Autômato Finito para reconhecer a linguagem L.

2.2. Expressões regulares

Expressão Regular (ER) é um formalismo gerador, definida a partir de expressões regulares básicas combinadas por três operações: união(\cup), concatenação(\circ) e fecho de Kleene (*), que representa concatenações sucessivas de n instâncias, para $n \geq 0$.

As expressões regulares básicas sobre um alfabeto $\Sigma = \{a_1, a_2, a_3, \dots, a_n\}$ são:

- $a_1, a_2, a_3, \dots, a_n$ representam respectivamente as linguagens $\{a_1\}, \{a_2\}, \{a_3\}, \dots, \{a_n\}$
- ϵ representa a linguagem composta pela cadeia vazia $\{\epsilon\}$
- \emptyset representa a linguagem $\{ \}$

A expressão regular para gerar as cadeias de L é:

$$\boxed{a \circ (b \cup c) \circ (a \cup b \cup c)^*}$$

Figura 3 – Expressão Regular para gerar L

2.3. Gramáticas regulares

Gramática Regular (GR) é um formalismo axiomático que define as regras de geração das cadeias de uma linguagem regular através da quádrupla $G = (V, T, P, S)$ em que

- V: Conjunto de símbolos variáveis ou não-terminais
- T: Conjunto de símbolos terminais, símbolos que podem formar a cadeia
- P: Conjunto de regras de produção na forma $A \rightarrow wB$ ou $A \rightarrow w$, e $A, B \in V$ e $w \in T^*$
- S: é o símbolo não-terminal inicial do qual todas as cadeias da linguagem podem ser geradas, aplicando-se as regras de produção.

A Figura 4 apresenta a gramática regular para gerar as cadeias de L.

$G = (V, T, P, S)$
$V = \{S, A\},$
$T = \{a, b, c\},$
$P = \{ S \rightarrow abA,$
$S \rightarrow acA,$
$A \rightarrow aA ,$
$A \rightarrow bA ,$
$A \rightarrow \varepsilon$
$\}$

Figura 4 – Gramática Regular para gerar L

3. INSTRUMENTO DE AVALIAÇÃO

Nossa experiência tem a visão do lado docente, que considera que os alunos apresentam maior facilidade para aprender linguagens regulares através de diagramas de estados e transições do que os demais formalismos, expressões regulares e gramáticas regulares. Neste trabalho, a proposta foi avaliar empiricamente qual a percepção do aluno em relação a sua aprendizagem dos modelos para o tratamento de linguagens regulares.

Essa avaliação foi realizada através do instrumento em anexo o qual envolvia questões que solicitavam a opinião do aluno em relação à sua capacidade de compreensão dos formalismos até a resolução de um problema que envolvesse o uso dos mesmos.

3.1 Perfil dos alunos

Foi desenvolvido um estudo empírico com 45 alunos de um curso de Engenharia da Computação em uma instituição privada em São Paulo. Os alunos que participaram dessa avaliação cursavam o quinto semestre do curso de Engenharia da Computação em uma escola particular. Esses alunos já tinham explorado os formalismos autômatos finitos, expressões regulares e gramáticas regulares, através do estudo conceitual, apresentação de exemplos, exercícios e avaliações.

3.2 Especificação do instrumento de avaliação

Para avaliar a compreensão do aluno em relação aos formalismos/modelos para tratamento de linguagens regulares, foi especificado um questionário que abordava o assunto de três maneiras:

- Classificar a percepção do aluno em relação aos formalismos.
- Classificar qual dos formalismos é mais adequado para compreensão do aluno.

- Avaliar qual a preferência dos alunos na resolução de um problema prático que utilizasse os formalismos.

3.2.1 Avaliação da percepção do aluno em relação à compreensão dos formalismos

Na primeira questão o aluno deveria indicar qual a sua percepção ao seu grau de compreensão aos formalismos Autômatos Finitos, Expressões Regulares e Gramáticas Regulares. Nesta questão o aluno poderia classificar o nível de compreensão em cinco níveis: muita facilidade, facilidade, regular, dificuldade e muita dificuldade.

Esta questão não tinha a intenção de avaliar qual era o melhor dos formalismos para o aluno, mas qual o seu grau de compreensão. Em geral tende-se a preferir assuntos que se compreende bem, mas ainda assim deve-se avaliar a preferência.

3.2.2 Avaliação do formalismo mais adequado.

Nessa segunda parte da avaliação o aluno deveria indicar qual dos formalismos considera mais adequado para o tratamento de linguagens regulares: Autômatos Finitos, Expressões Regulares, Gramáticas Regulares ou nenhum deles. Neste item procurou-se levantar a preferência dos alunos.

3.2.3 Resolução de um problema prático

Para evidenciar e validar as respostas da primeira e da segunda parte da avaliação, na terceira etapa é proposto um problema em que o aluno deveria resolvê-lo utilizando dois dos formalismos. O tempo para resolução da questão era extremamente reduzido.

4. ANÁLISE DOS DADOS

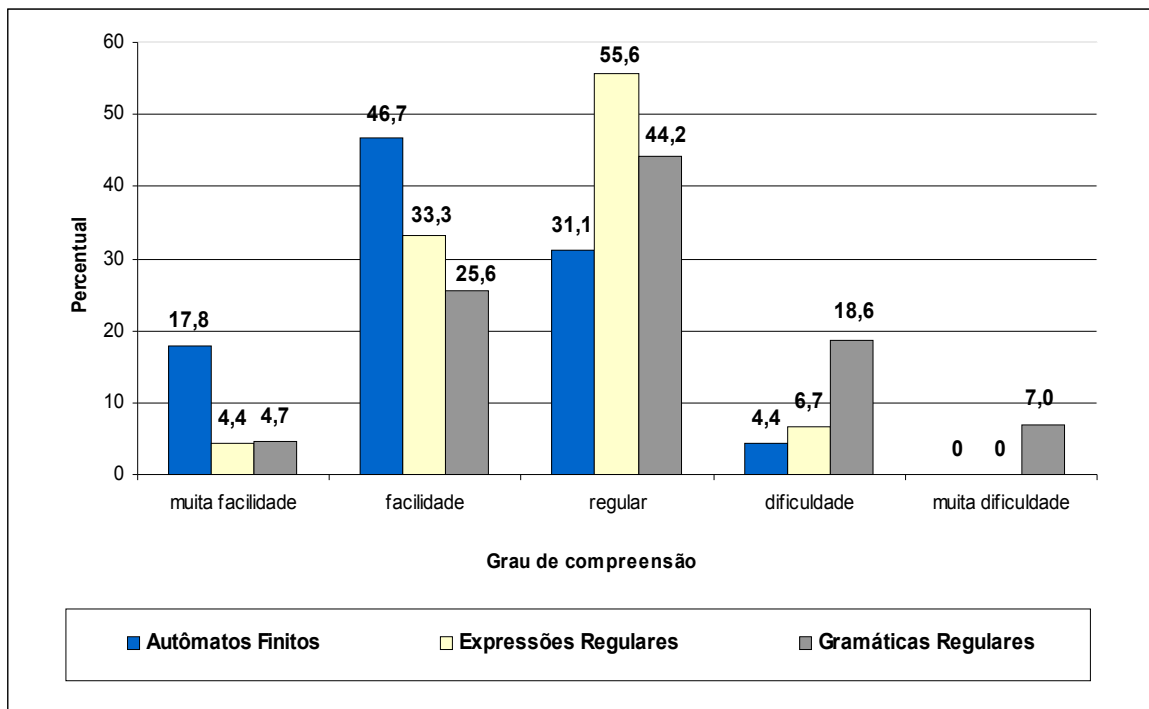
Após a aplicação do questionário proposto na seção anterior aos alunos de Engenharia da Computação, iniciamos o estudo dos resultados de cada questão e a correlação das respostas obtidas entre as questões. Nas próximas subseções apresentamos os resultados obtidos.

4.1. Análise do grau de compreensão dos formalismos

Como pode ser observado no Gráfico 1 obtivemos os seguintes resultados: 64,5% dos alunos considera sua capacidade de compreensão do formalismo operacional autômatos finitos entre "fácil" e "muito fácil"; 37,7% dos alunos considera sua capacidade de compreensão do formalismo denotacional expressões regulares entre "fácil" e "muito fácil"; 30,2% dos alunos considera sua capacidade de compreensão do formalismo axiomático gramáticas regulares entre "fácil" e "muito fácil".

Os alunos não consideram tão simples o formalismo ER, porque mais de 50% consideram regular. Os alunos consideram o formalismo GR mais difícil (69,8% consideram GR entre regular e muito difícil).

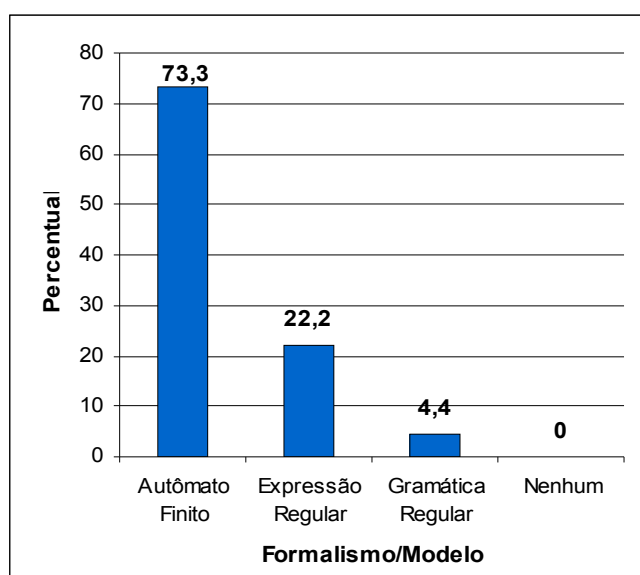
Gráfico 1 – Grau de Compreensão de Formalismos



4.2. Classificação do formalismo mais adequado

Instados a escolher um formalismo mais adequado à sua própria compreensão de linguagens regulares, 73,3% dos alunos escolheram o formalismo operacional de autômatos finitos como pode ser observado no Gráfico 2.

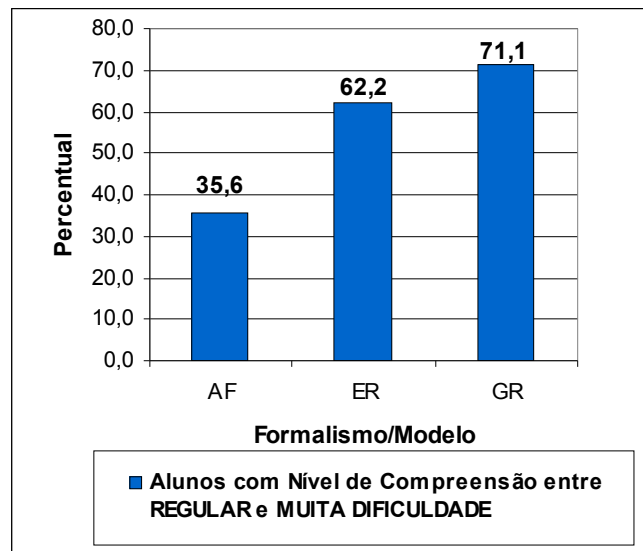
Gráfico 2 – Escolha do Formalismo mais Adequado para o Aluno



4.3. Relação entre grau de compreensão dos formalismos e escolha de um formalismo mais adequado

Analisando-se o conjunto formado pelos alunos que apresentam capacidade de compreensão entre “regular” e “muita dificuldade” em todos os formalismos, o formalismo em que os alunos apresentam mais dificuldade é o modelo axiomático de gramática regular (GR), em seguida o modelo denotacional de expressões regulares (ER) e, após este último, autômatos finitos (AF), como apresentado no Gráfico 3.

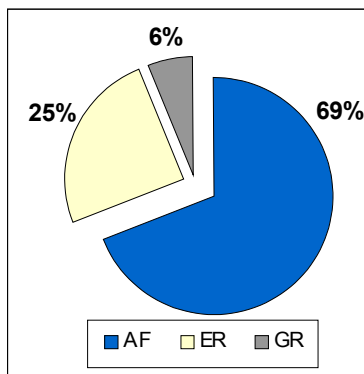
Gráfico 3 – Concentração da Dificuldade de Compreensão dos Formalismo



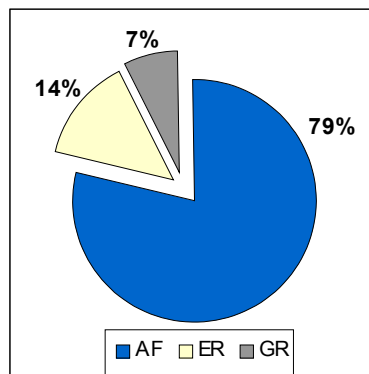
Dos alunos que apresentam dificuldade nos formalismos, mais que 65% escolheram o autômato finito como formalismo mais adequado, até mesmo os alunos que têm dificuldade em compreendê-lo, como pode ser observado nos gráficos 4.a, 4.b e 4.c

Gráfico 4 – Escolha do Formalismo mais Adequado para os Alunos com Dificuldade

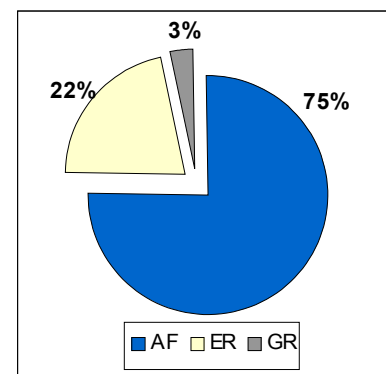
(a) Escolha dos alunos com dificuldade em AF



(b) Escolha dos alunos com dificuldade em ER



(c) Escolha dos alunos com dificuldade em GR

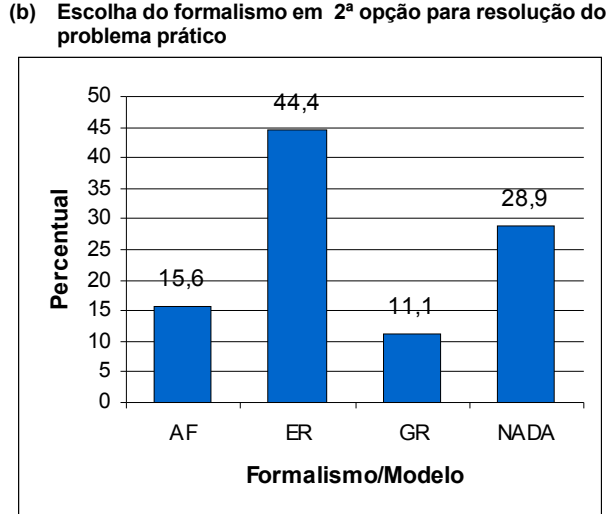
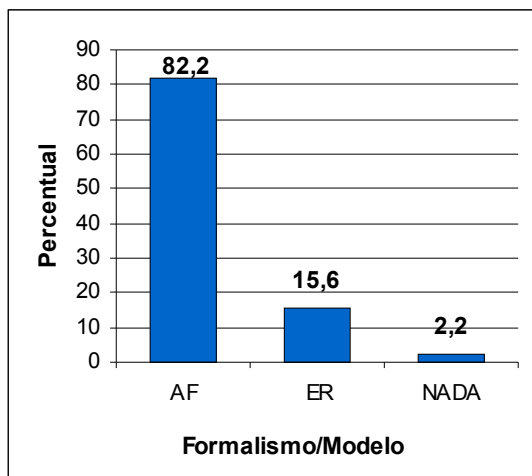


4.4. Resolução de um problema prático

Confrontados com um problema, no qual deveriam representar a uma linguagem regular em dois formalismos diferentes quaisquer, 82,2% dos alunos optaram por representá-lo em sua primeira resposta como um autômato finito, destes 54,1% conseguiram completar a resposta, e o restante não conseguiu acertar. Como segunda resposta 44,4% (a maioria) optou por representar a linguagem regular como uma expressão regular e, destes, 35% conseguiram completar a resposta. Como pode ser observado no gráfico 5.a e 5.b.

Gráfico 5 – Escolha de um Formalismo para Resolução de um Problema Prático

(a) Escolha do formalismo em 1ª opção para resolução do problema prático



O total de alunos que optou por representar a linguagem em alguma das respostas como um modelo de autômato finito foi de 97,8%, sendo que 59,1% conseguiram completar a resposta.

4.5 Relação entre opinião de formalismo mais adequado quanto à resolução do problema prático

O grau de entendimento dos alunos quanto aos formalismos apresentados, mostrou que há uma tendência em se considerar o autômato finito como o mais compreensível (64,4% entre facilidade e muita facilidade de compreensão). Isto pode ser observado e validado através do teste Qui-quadrado aplicado, no qual obtivemos o resultado de que as variações observadas são significativas $\chi^2(3, N = 45) = 17,667, p < 0,001$.

Os demais formalismos não foram considerados compreensíveis no mesmo nível do observado para o formalismo autômato finito. Assim sendo, esperava-se que os alunos tivessem como preferência para a resolução de problemas a escolha de autômatos finitos.

De fato esta foi a escolha observada, já que 73,3% dos alunos optariam pelo formalismo autômato finito para resolver algum problema de linguagem regular. Este resultado confirma a observação dos professores. Para completar a análise, após o exercício proposto verificou-se que um total de 97,8% dos alunos procurou resolver a questão proposta usando o formalismo autômato finito, sendo que 82,2% destes em primeira escolha.

Para confirmar que o grau de compreensão é maior no formalismo autômato finito, o percentual de acerto na questão proposta, quando a resposta utilizou autômatos finitos foi de 59,1%, em expressões regulares 48%, enquanto que o percentual de acerto usando gramática regular foi 40%.

Um outro resultado relevante confirma que a maior dificuldade dos alunos é referente ao formalismo axiomático, já que 71,1% dos alunos consideram gramática regular como o formalismo com maior grau de dificuldade de compreensão, e apenas 4,4% o escolheram como formalismo mais compreensível. Confirmando a expectativa gerada, apenas 11,1% dos alunos optaram por realizar o exercício usando gramáticas regulares, e em segunda opção.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A realização deste trabalho mostra que a percepção do docente e discente é próxima, ambos tendem a preferir o uso de um formalismo operacional baseado em autômatos finitos para tratar as linguagens formais. Esses resultados são inspiradores de novas propostas de ensino.

Com base nessa facilidade de compreensão dos formalismos operacionais surge a necessidade de reavaliar a forma de apresentação desses conceitos e na ordenação dos formalismos em uma nova proposta de ensino dessa disciplina, a qual valorize essa facilidade de compreensão e sirva como base para o aprendizado das demais classes de linguagens e dos respectivos formalismos para tratá-las

Essa nova proposta deve contemplar os seguintes itens:

- Deve basear-se em formalismos operacionais de autômatos finitos.
- Deve utilizar-se de um modelo de autômatos cuja variação para tratar as linguagens das classes superiores não apresentem uma grande variação na notação do modelo para que o aluno perceba a evolução gradual da complexidade da linguagem, como também, do poder de operacional do modelo. Desta forma, inicialmente, o aluno aprenderá o conceito sem preocupar-se com as mudanças de notação. Depois da compreensão das classes de linguagens a extrapolação do conceito para os demais formalismos torna-se mais natural.

Outro aspecto importante na nova proposta de ensino é que deve proporcionar a implementação e simulação dos formalismos em um ambiente computacional, quando os alunos podem visualizar e testar os modelos construídos por eles, o conceito formal é mais facilmente absorvido.

A proposta de ensino formulada em PEDRAZZI, MATSUNO e ROCHA (2004) é fundamentada nesses princípios, já que : é completamente baseada em autômatos finitos para o tratamento de todas as classes de linguagens formais e utiliza-se de um ambiente computacional o qual permite construir e simular os modelos de autômatos sem mudanças drásticas de notação, há apenas modificações que incrementam a notação inicial para aumentar o poder computacional dos autômatos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

LEWIS, H.R., PAPADIMITRIU, C.H., **Elements of the theory of computation**. New Jersey: Prentice-Hall , 1998.

MENEZES, P.F.B., **Linguagens Formais e Autômatos**. Porto Alegre: Instituto de Informática da UFRGS: Editora. Sagra Luzzatto, 2002.

NETO, J.J., **Introdução à compilação**. Rio de Janeiro: Editora LTC, 1987.

PEDRAZZI, T, MATSUNO, I.P, ROCHA, R.L.A, Uma proposta de ensino da disciplina de Linguagens Formais e Autômatos para um curso de Engenharia da Computação. In: Resumo Aceito para o COBENGE 2004, **Anais**, UnB:Brasília, 2004.

ULLMAN, [J.D.](#), HOPCROFT , J. E., MOTWANI, R., **Introdução à Teoria de Autômatos, Linguagens e Computação**. São Paulo: Editora Campus, 2002.

EVALUATION OF THE USE OF FORMAL LANGUAGES AND AUTOMATA CONCEPTS FOR A COMPUTATION ENGINEERING COURSE

***Abstract:** Taking into consideration the difficulties encountered by students of Computer Engineering courses in understanding and making use of concepts developed in Formal Languages and Automata disciplines and that students have shown greater ability in understanding an operational formalism such as finite automata, based on condition and transition diagrams from which, for example, an axiomatic formalism such as grammars, or even a denotational formalism, such as regular expressions, this projects has as it objective the verification of how students learn and what difficulties they demonstrate. An empirical study has been developed with students of a Computer Engineering course at a private school in São Paulo. Complementary aspects are presented for a better understanding of the results obtained. The results indicate that the use of an operational formalism based on finite automata in order to deal with formal languages could become an inspiration for new teaching proposals.*

***Key-words:** Teaching Methodology, Formal Languages, Finite Automata*