

Avaliação do JFLAP como ferramenta de Ensino de Gramáticas na Disciplina de Linguagens Formais e Autômatos

João Felipe Pavret Michels¹, Lucas Pereira Cassanho¹, Bruno Roberto Burigo¹,
Cinthyan Renata Sachs Camerlengo de Barbosa¹

¹Programa de Pós-Graduação em Ciência da Computação –
Universidade Estadual de Londrina (UEL)
Caixa Postal 10011 – 86057-970 – Londrina – PR – Brazil

{pavret.michels, cinthyan}@uel.br, {lucascassanho, brunorb8}@gmail.com

Abstract. *The discipline of Formal Languages and Automata (FLA) is fundamental in Computer Science, and yet it faces learning challenges. Our aim was to evaluate the educational software JFLAP in the academic context regarding the grammar learning process. The study used an undergraduate FLA class to collect data on its usability and effectiveness. The conclusion is that, although JFLAP has useful functionalities, its unfriendly interface and lack of instructional resources limit its effectiveness as an active teaching and learning tool.*

Resumo. *A disciplina de Linguagens Formais e Autômatos (LFA) é fundamental na Ciência da Computação, mas enfrenta desafios de aprendizagem. Nosso objetivo foi avaliar o software educativo JFLAP no contexto acadêmico com relação ao aprendizado de gramáticas. Utilizamos uma turma de graduação da referida disciplina de LFA para coletar dados sobre sua usabilidade e eficácia. Concluímos que, embora o JFLAP tenha funcionalidades úteis, sua interface pouco amigável e falta de recursos instrucionais limitam sua eficácia como ferramenta de ensino e aprendizagem ativa.*

1. Introdução

Atualmente, a alta taxa de reprovação na disciplina de Linguagens Formais e Autômatos (LFA) que chega a atingir mais da metade dos alunos nos cursos da graduação, segundo Terra (2016), destaca a necessidade de métodos mais eficazes de ensino. A disciplina, que é essencial na Ciência da Computação, concentra-se na concepção e reconhecimento de linguagens, além da análise de suas propriedades, conforme indicado por Sudkamp (2005). Seu papel é fundamental em áreas como Compiladores e Inteligência Artificial.

Uma solução que sempre se mostrou promissora para esse desafio é a utilização de softwares educativos, que oferecem uma plataforma interativa para o aprendizado. Esses softwares permitem que os alunos assumam um papel ativo no processo educacional, facilitando a experimentação e a aplicação prática dos conceitos aprendidos. [Binsfield *et al.* 2009]. Existem diversas opções disponíveis na internet, cada uma com seus próprios pontos fortes e limitações.

Entre as ferramentas disponíveis, o JFLAP (*Java Formal Languages and Automata Package*) se destaca como a mais consolidada e utilizada na disciplina de LFA. Desenvolvido desde 1990 pelo *Rensselaer Polytechnic Institute* (RPI) nos Estados Unidos, o JFLAP recebeu atualizações contínuas, porém a mais recente foi há seis anos

[JFLAP 2023], [Mioni e Barbosa 2022], [Gechele e Venske 2007]. Apesar da falta de atualizações, ainda é utilizada para ensinar conceitos e realizar testes práticos, teorias e ideias. Mesmo assim, há uma carência de estudos recentes na academia nacional que avaliem as qualidades ou então as deficiências do JFLAP.

Este estudo, portanto, propõe um levantamento de dados com alunos do curso de Bacharelado em Ciência da Computação na Universidade Estadual de Londrina. O objetivo principal é avaliar o software nos quesitos de clareza, eficácia no aprendizado e desempenho no ensino de Gramáticas na disciplina de LFA. A estruturação é apresentada da seguinte forma: a Seção 2 apresenta a base teórica necessária para a compreensão dos tópicos de LFA e os trabalhos relacionados ao uso de softwares educativos; a Seção 3 descreve os materiais e métodos utilizados na avaliação; a Seção 4 apresenta os resultados obtidos; e a Seção 5 oferece as conclusões desta estudo.

2. Fundamentação teórica

Nesta seção serão explorados os fundamentos teóricos essenciais sobre Linguagens Formais e Autômatos. Esses conceitos que formam a base para compreensão deste trabalho são fundamentais na avaliação dos softwares educativos. Destacamos a importância de conceitos como alfabeto, linguagens e a Hierarquia de Chomsky.

2.1. Linguagens Formais

Nesta subseção são definidos conceitos básicos de LFA, os quais serão importantes para a compreensão do restante do trabalho e a motivação da sua avaliação.

2.1.1. Alfabeto/Linguagem

Um alfabeto Σ é um conjunto finito de símbolos, por exemplo, $\{0,1\}$. Com esse alfabeto é possível formar palavras que são concatenações dos símbolos do alfabeto [Gechele e Venske 2007]. A partir dessas palavras, é possível construir linguagens que são formadas a partir desse alfabeto como, por exemplo, a linguagem $L = \{00,01,10,11\}$, formada pelos números binários de tamanho 2. Ou seja, uma linguagem finita com quatro palavras.

Seja $G = (\Sigma, V, S, P)$ uma gramática. Então, G é classificada como tipo i , onde $i = 0, 1, 2, 3$, de acordo com as seguintes restrições nas regras de substituição de P [Rosa 2010], [Hopcroft, Motwani and Ullman 2006]:

Gramática de Tipo 3: uma gramática é do tipo 3 se toda produção for da forma $A \rightarrow bC$ (ou $A \rightarrow Cb$) ou $A \rightarrow b$, onde $A, C \in N$ (não terminal) e $b \in \Sigma^*$ (cadeias de terminais) ou $b = \lambda$. Tais gramáticas são também referidas como *gramáticas lineares à direita* (ou gramáticas lineares à esquerda) ou simplesmente *gramáticas regulares*. Uma linguagem gerada por tal gramática é chamada de linguagem do tipo 3 ou gramática regular.

Gramática de Tipo 2: uma gramática é do tipo 2 se toda produção de P for da forma $A \rightarrow w$, com $A \in N$ e $w \in (\Sigma \cup N)^*$. Essas são as *gramáticas livres de contexto* e as linguagens que elas geram são chamadas de linguagens livres de contexto. Lembrando que $V = N \cup \Sigma$.

Gramática de Tipo 1: uma gramática é do tipo 1 se toda produção de P for da forma $\alpha \rightarrow \beta$, onde $\alpha \in (\Sigma \cup N)^+$ e $\beta \in V^*$ tal que $|\alpha| \leq |\beta|$. As gramáticas do tipo 1 são chamadas de *gramáticas sensíveis ao contexto* e geram as linguagens sensíveis ao contexto.

Gramática de Tipo 0: uma gramática é do tipo 0 se não houver restrições na forma das produções. Na verdade, a única restrição é ter um símbolo não-terminal à esquerda das setas das produções. As gramáticas do tipo 0 são chamadas de *gramáticas irrestritas* e elas geram as linguagens recursivamente enumeráveis.

2.1.2. Produções e Derivações

Uma produção é uma regra que descreve como um símbolo de uma gramática formal pode ser expandido em uma sequência de outros símbolos. Ela consiste em pelo menos um símbolo não-terminal à esquerda de uma seta (geralmente denotado como \rightarrow) e à sua direita há uma sequência de terminais e/ou não-terminais. Uma gramática que descreve expressões matemáticas pode ser, por exemplo,

$$E \rightarrow E+E / -E / (E) / \text{num} .$$

O conceito de "derivação" corresponde à sequência de aplicação de produções começando com o símbolo inicial da gramática e terminando com uma sequência de terminais (uma sentença). A derivação demonstra como uma sentença particular pode ser gerada a partir do símbolo inicial da gramática. Usando as produções da gramática acima podemos derivar a sentença "num + num" a partir do símbolo inicial "E" da seguinte maneira aplicando derivação mais à esquerda: $E \Rightarrow E + E \Rightarrow \text{num} + E \Rightarrow \text{num} + \text{num}$.

2.2. Trabalhos Relacionados

Rodger and Finley (2006) apresenta um manual completo e detalhado da ferramenta JFLAP, bem como toda a teoria base por trás dessa. Já em Rodger *et al.* (2009) temos um estudo compreensivo com 14 universidades utilizando JFLAP como maneira de melhorar o ensino e aprendizagem de Linguagens Formais e Autômatos durante um período de dois anos. A avaliação do JFLAP em sala de aula para LFA revelou notáveis dificuldades de usabilidade e treinamento. Embora o JFLAP seja uma ferramenta útil para praticar atividades de LFA, a sua interface complexa e a ausência de apoio educacional limitam a sua utilidade como plataforma de ensino completa.

Yalagi and Dixit (2017) realiza uma comparação entre estudantes de Ciência da Computação na disciplina de Teoria da Computação (a qual abrange o ensino de LFA), onde estudantes durante um ano são avaliados após passarem pelo ensino tradicional sem software e estudantes de um ano subsequente que foram avaliados após utilizarem o JFLAP durante todo o período. O estudo maximizou a proficiência dos alunos em resolver problemas, ajudou na compreensão de conceitos teóricos complexos por meio das interações, ofereceu feedback imediato e aumentou o envolvimento dos alunos e, consequentemente, levou a um desempenho acadêmico superior com um aumento notável de mais de 20% nas notas finais em comparação com o ano anterior que eram métodos tradicionais de ensino. Foi descoberto, portanto, que o uso da ferramenta durante as aulas resultou em melhorias significativas na capacidade de aprendizado de cada estudante.

Mohamed, Shafer and Rodger (2021) delineou o uso do JFLAP como ferramenta padrão para ensino de LFA e também propôs melhorias no processo e na ferramenta em si, como, por exemplo, a interatividade aprimorada. Os autores propõem focar em seções do curso que não são adequadas para apresentações visuais ou exercícios interativos. Buscaram desenvolver exercícios de autoavaliação para tópicos como Autômato de Pilha (AP) e Máquina de Turing (MT) para envolver ainda mais os alunos, explorando as seguintes técnicas [Mohamed, Shafer and Rodger, 2021]:

- Técnica de Instrução Programada: uma abordagem baseada em melhorar a interatividade do conteúdo do curso nos tópicos mais desafiadores. Esse método visa fornecer uma experiência de aprendizagem mais envolvente em comparação com as abordagens tradicionais que muitas vezes consistem em textos longos e monótonos.

- Redução de Texto: para acabar com a tendência dos alunos em pular a leitura, a ferramenta deve ser projetada para incluir visualizações e exercícios que sejam curtos e concisos.

Outros trabalhos concentram-se em um levantamento bibliográfico ou análise sistemática da literatura, como os trabalhos de Santini *et al.* (2003), Mioni e Barbosa (2022) e Binsfeld *et al.* (2019). Ou ainda restrito apenas para criação de autômatos finitos, gramáticas e expressões regulares [Silva *et al.* 2023]. O presente trabalho se distingue desse, uma vez que aborda todos os conteúdos envolvendo gramáticas ministrados na disciplina de LFA.

3. Materiais e Métodos

Nesta seção descrevemos os métodos utilizados para coletar dados e analisar este estudo que foram baseados nos resultados individuais da avaliação envolvendo um software educativo para LFA.

Em parceria com a docente da disciplina foram avaliados os resultados de uma série de exercícios e exemplos de conceitos básicos de Linguagens Formais e Autômatos vistos em sala de aula no 1º bimestre do referido curso com temas envolvendo gramáticas, mas agora usando o JFLAP com o objetivo de validar e reforçar os conteúdos ministrados. Para essa atividade todos os 39 alunos dessa disciplina obrigatória no curso de Ciência da Computação foram instruídos a utilizar exclusivamente o software JFLAP, devido à sua gratuidade, fácil disponibilidade e abrangência dos conteúdos. Porém só 31 testaram alguma atividade com JFLAP.

Apesar da atividade proposta ser a mesma, cada aluno apresentou um trabalho individual documentando os resultados obtidos durante a utilização da ferramenta, proporcionando uma visão sobre quais exemplos puderam ser replicados e o porquê.

Uma Metodologia Ativa foi utilizada que residiu no modelo centrado no aluno, onde o discente assumiu um papel ativo e participativo em seu próprio processo de aprendizagem. As Metodologias Ativas são fundamentadas em princípios construtivistas que valorizam a participação ativa dos estudantes na construção do conhecimento [Carvalho Neto *et al.* 2023].

Após a compilação de todos os trabalhos dos alunos, procedemos à análise dos dados, a qual proporcionou uma compreensão da utilização da ferramenta JFLAP no ensino e aprendizagem de Linguagens Formais e Autômatos.

4. Resultados

Nesta seção serão apresentados os pontos positivos e negativos da utilização do JFLAP para o estudo de caso da disciplina, bem como alguns exercícios propostos pela docente.

4.1. JFLAP

O JFLAP é uma ferramenta educacional consolidada no ensino de Linguagens Formais e Autômatos [Rodger and Finley 2006], [Gechele and Venske 2007], [JFLAP 2023], [Paiva, Souza e Terra 2023] que auxilia no aprendizado dessa referida disciplina por meio da execução de testes de exercícios, por exemplo. No entanto, é importante ressaltar que

o JFLAP é essencialmente uma ferramenta de verificação de resultados e não uma plataforma de ensino em si.

Ao considerarmos a utilização do JFLAP (2023) é importante destacar suas especificidades para uma análise e uso corretos. As principais características e funcionalidades da ferramenta são:

- Reconhecimento dos símbolos do vocabulário: reconhece o alfabeto por meio de letras minúsculas e dígitos para terminais, e letras maiúsculas para não-terminais;
- Palavra: reconhece uma sequência finita de símbolos do alfabeto justapostos como uma palavra;
- Concatenação de Frases/Cadeias: reconhece as propriedades de concatenação conforme ensinadas nos materiais didáticos;
- Concatenação Sucessiva: permite a realização de concatenação sucessiva, onde o usuário pode especificar a palavra e o número de vezes que ela deve se repetir;
- Sintaxe: permite a inserção da sintaxe da linguagem, delimitando o subconjunto V^* com o conjunto de regras;
- Leis de Formação: possibilita a inserção das leis de formação de uma gramática para definir a linguagem, permitindo a criação de inúmeras produções da gramática;
- Linguagem gerada por uma Gramática: permite a inserção de uma palavra para verificar se ela pertence ou não àquela linguagem. No entanto, não exibe a linguagem gerada pela gramática;
- Análise de Gramáticas: possibilita a análise e inserção de gramáticas irrestritas, livres de contexto, sensíveis ao contexto e regulares;
- Reconhecedores: permite a criação de linguagens usando Autômatos Finitos Determinísticos (AFDs) ou Não-Determinísticos (AFNs), AP e MT, como também a conversão entre expressões regulares e autômatos.

Com base nessas informações sobre o JFLAP como ferramenta de ensino e aprendizagem, prosseguiremos com a descrição das atividades propostas em aula para cada aluno e como foi realizada sua resolução e análise com o apoio da referida ferramenta.

4.2. Experimento Realizado

A atividade de ensino e aprendizagem realizada pelos alunos consistiu em reproduzir os exemplos e exercícios ministrados em sala de aula, utilizando a ferramenta JFLAP e confrontando os resultados obtidos. Dessa forma, os alunos verificaram se o que foi aprendido em sala de aula também era válido na prática com a ferramenta.

Um dos exemplos abordados foi a aplicação da propriedade associativa de Linguagens Formais. O objetivo era verificar se era válido afirmar que $\alpha(\beta\gamma) = (\alpha\beta)\gamma = \alpha\beta\gamma$, onde α , β e γ são cadeias.

Na Figura 2 é exibida a representação dessa propriedade no JFLAP e os resultados obtidos pelos alunos durante a atividade. Nota-se que a ferramenta não apresenta exemplos dessa propriedade explicitamente; entretanto, é possível verificar se um caso é válido ou não.

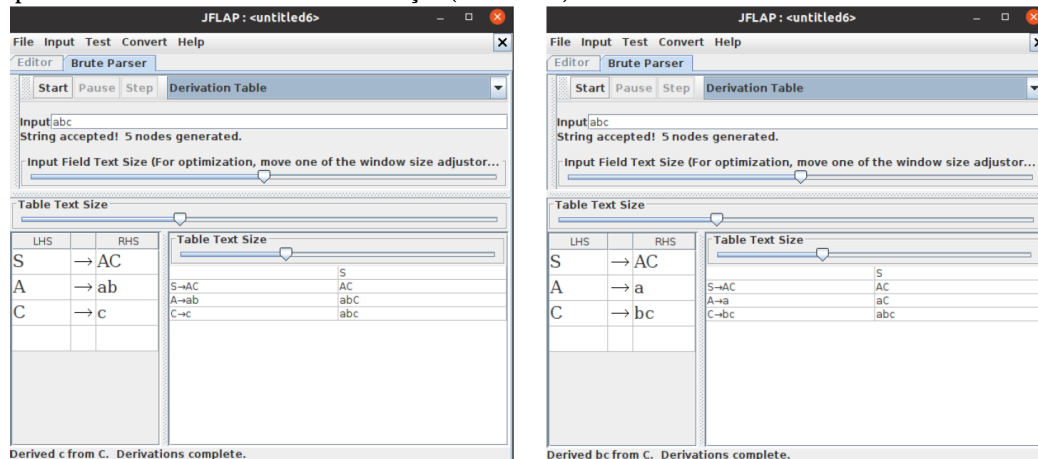


Figura 2. JFLAP - Associativa.

Outro exemplo proposto pela atividade é a realização da concatenação sucessiva. No exemplo fornecido, temos a palavra w e o símbolo a . Dessa forma, a atividade propõe a seguinte sequência: $w^1 = w$, $w^3 = www$, $a^4 = aaaa$ e $a^n = aaa\dots a$, sendo o símbolo a repetido n vezes.

O JFLAP reconhece a concatenação efetuando testes de gramática, como ilustrado na Figura 3. A ferramenta executa corretamente a concatenação sucessiva, como registrado nos testes implementados para concatenar w repetidas vezes. Nota-se que a validação da concatenação é feita por meio da palavra "aba".

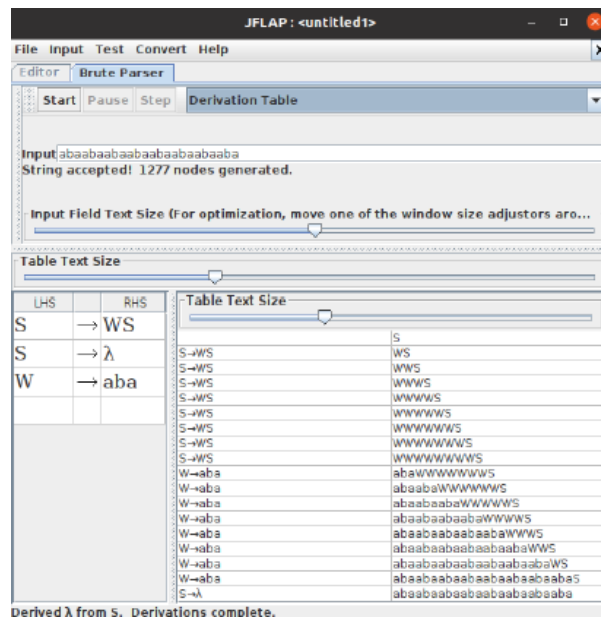


Figura 3. JFLAP - Concatenação Sucessiva.

Para explicar o conteúdo sobre derivação mais à esquerda e mais à direita, consideramos a seguinte gramática, na qual o símbolo inicial é E e num é um literal inteiro: $E \rightarrow E + E \mid E * E \mid (E) \mid -E \mid num$.

Pretende-se determinar se a frase "num + num * num" é válida para a linguagem resultante da gramática. Dessa forma, foram apresentadas em aula duas possibilidades:

1. Derivação mais à Esquerda:

$$E \Rightarrow E + E \Rightarrow num + E \Rightarrow num + E * E \Rightarrow num + num * E \Rightarrow num + num * num$$

2. Derivação mais à Direita:

$$E \Rightarrow E * E \Rightarrow E * \text{num} \Rightarrow E + E * \text{num} \Rightarrow \text{num} + E * \text{num} \Rightarrow \text{num} + \text{num} * \text{num}$$

No exemplo em aula é possível notar claramente a diferença entre os dois tipos de derivação. No entanto, ao inserirmos uma cadeia e realizar o processo de verificação da veracidade da derivação, observamos que o software não oferece ao usuário a opção de escolher qual tipo de derivação deseja utilizar, seja à esquerda ou à direita.

Na Figura 4 apresentamos os resultados da derivação realizada pelo JFLAP. No entanto, é importante observar que a ferramenta não fornece essa informação explicitamente, limitando-se apenas à mensagem "*Derivations complete*" mostrando a árvore da sentença fornecida e não os passos de derivação.

O JFLAP pode causar confusões e erros na exibição de árvores de derivação e na aceitação de cadeias pela gramática, quando, por exemplo, ao invés de tratar "num" como uma única palavra, o JFLAP interpretou como três símbolos distintos: 'n', 'u', e 'm'. Isso foi relatado por 3 alunos que testaram o JFLAP.

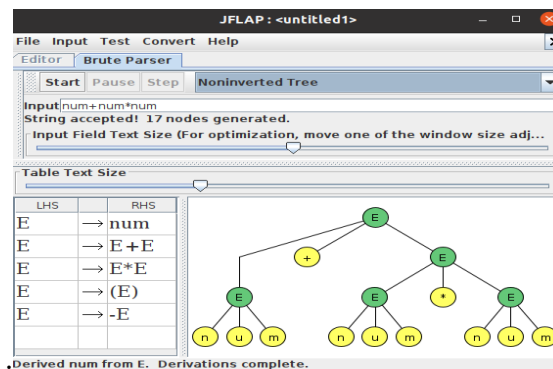


Figura 4. JFLAP - Derivação.

Para facilitar a compreensão das principais dificuldades e limitações relatadas pelos alunos na realização do trabalho, ilustramos na Figura 5 e discutimos as em detalhes as seguintes questões: "dificuldades na aplicação de Forma Normal de Chomsky", "interface não intuitiva", "limitações na conversão para Forma Normal de Greibach" e "problemas de reconhecimento de símbolos".

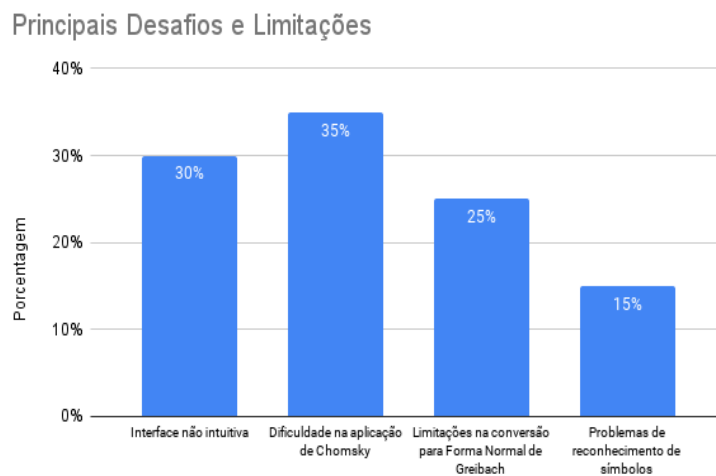


Figura 5. Análise Comparativa do JFLAP. Fonte: Os Autores.

O principal apontamento dos alunos é a dificuldade em aplicar a conversão de uma Gramática Livre de Contexto (GLC) para Forma Normal de Chomsky (FNC). Embora o JFLAP apresente algumas ferramentas de manipulação da gramática, não possui uma especificidade para transformar uma GLC em uma FNC. Os alunos aprenderam que para realizar essa transformação em FNC (todas as produções são da forma $A \rightarrow BC$ e $A \rightarrow a$, onde A, B e $C \in N$ e $a \in \Sigma$) é necessário além de ser λ -livre, remover produções unitárias e inúteis. Segue o que é necessário no algoritmo para tornar uma GLC- λ livre em FNC:

Simplificação da Gramática:

Remoção de produções vazias, produções unitárias (do tipo $A \rightarrow B$) ou opcionalmente símbolos inúteis.

Transformação para Produções de Comprimento 2:

Garante que o lado direito das produções tenha comprimento ≥ 2 e seja composto apenas por variáveis. Terminais são substituídos por variáveis intermediárias.

Transformação para Produções de Comprimento 3:

Transforma o lado direito das produções em produções com exatamente duas variáveis. Divide as produções de comprimento > 1 em várias etapas, usando variáveis intermediárias, até que todos os lados direitos tenham exatamente duas variáveis.

Não há uma opção direta para aplicação do algoritmo de transformação de GLC em FNC no JFLAP quando tem que tirar símbolos unitários ou inúteis, o que torna necessário realizar o processo manualmente e testar a gramática já na FNC, como mostra a Figura 6. Embora isso dificulte o aprendizado dentro da ferramenta, alguns alunos consideram que essa abordagem contribui para aprimorar a prática do algoritmo.

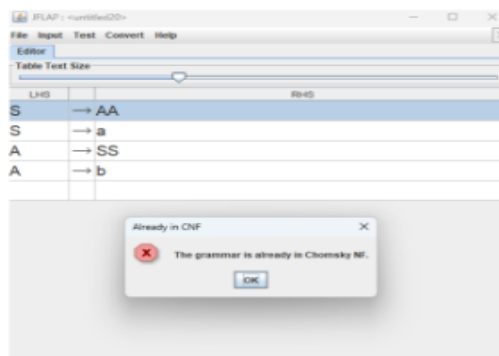


Figura 6. Aplicação de Chomsky.

O próximo elemento de restrição apontado pelos alunos é que o JFLAP apresenta um design ultrapassado e pouco intuitivo, o que dificulta para novos usuários a rápida compreensão e utilização eficaz dessa ferramenta. Na Figura 7 pode-se observar que caso o usuário tenha alguma dúvida sobre o funcionamento, ele deverá acessar um link externo, no caso o site oficial da própria JFLAP.

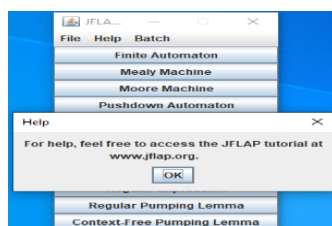


Figura 7. Help.

A Figura 8 mostra uma gramática sem produções unitárias ou símbolos inúteis e assim é possível transformar para FNC.

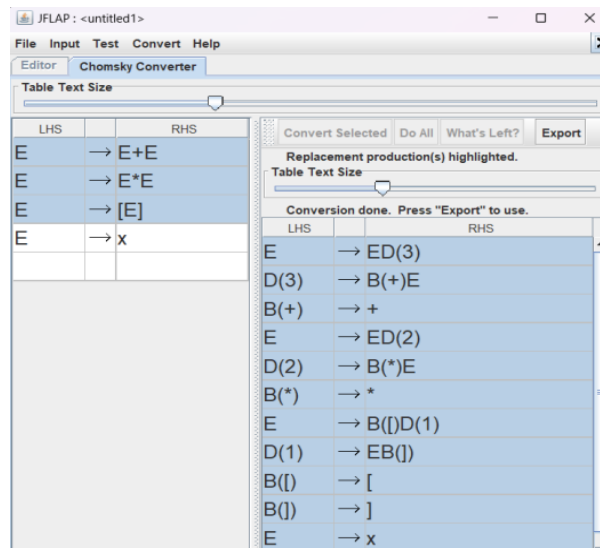


Figura 8. Forma Normal de Chomsky.

Com base nos dados da Figura 9, o que nos chamou a atenção foram as impressões dos alunos relacionadas à testagem de ambiguidade no JFLAP. Esses demonstraram dificuldades em realizar essa tarefa, uma vez que a ferramenta JFLAP apenas realiza a derivação das sentenças, mas não testa diretamente a ambiguidade de uma gramática. Para verificar essa é necessário mostrar que uma mesma sentença pode ter duas derivações mais à esquerda (ou duas mais à direita) ou duas árvores de derivação para uma mesma sentença. Como essa verificação não é automatizada no JFLAP, muitos alunos enfrentaram desafios ao tentar identificar ambiguidades manualmente, o que pode ter impactado sua compreensão e análise das gramáticas.

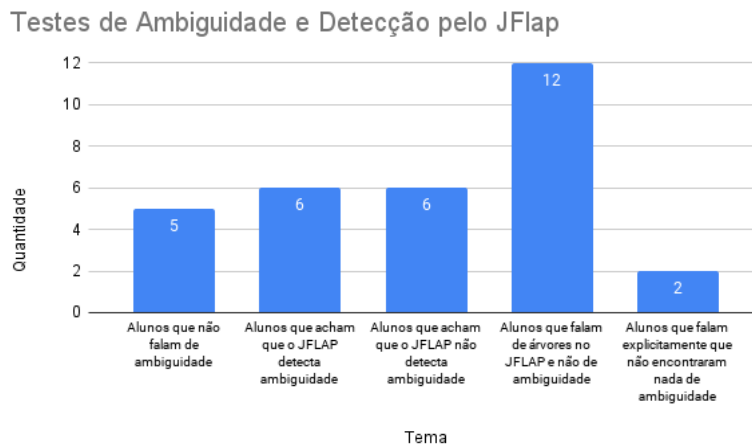


Figura 9. Análise sobre Ambiguidade. Fonte: Os Autores.

Na próxima seção apresentaremos as conclusões sobre o uso do JFLAP como ferramenta de ensino e aprendizagem na disciplina de LFA.

5. Conclusões

Esta pesquisa examinou a ferramenta JFLAP no ensino de Linguagens Formais e Autômatos com relação à gramáticas (ensino de autômatos utilizando JFLAP pode ser encontrada em Cassanho *et al.* (2024)) e revelou aspectos positivos e negativos. O JFLAP

possui funcionalidades úteis para praticar e verificar conceitos. Ele apresenta desafios significativos de usabilidade devido à sua interface não intuitiva e à falta de materiais educacionais adequados. As limitações restringem a sua eficácia como ferramenta de ensino e aprendizagem ativa. Portanto, é aconselhável utilizar o JFLAP em conjunto com outros recursos educacionais para potencializar o processo de aprendizagem e superar suas deficiências.

Todos esses pontos destacam áreas críticas que podem necessitar de melhorias para ajustar a experiência do usuário e facilitar a compreensão dos conceitos abordados. Portanto, é aconselhável utilizar uma estratégia mais abrangente que amalgame a utilização do JFLAP com outros materiais educacionais para aumentar a eficiência do processo de aprendizagem em Linguagens Formais e Autômatos.

Para futuras pesquisas, planejamos incluir neste estudo mais turmas do curso de Ciências da Computação, a fim de realizar uma análise mais ampla dos alunos, aumentando assim a amostra de resultados disponíveis. Isso permitirá comparar diferentes grupos de alunos, o que poderá resultar em uma avaliação pedagógica mais eficaz, permitindo a análise de expectativas e resultados variados entre as turmas. Com isso é esperado desenvolver um guia de boas práticas para os alunos de LFA, elaborando diretrizes e recomendações para o estudo dos conteúdos com softwares educacionais, atendendo às necessidades do curso.

Referências

- Binsfield, R. L., Watanabe, R., Silva, R. C. e Carelli, I. M. (2009). Alunos como designers: relato de experiência para aprendizagem de linguagens formais e autômatos. In: *Anais do VIII Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Computação, p. 21-24.
- Carvalho Neto, R., Victor, V. F., Cavalcante, R. P., Castilho, W. S. e Senna, M. L. G. S. (2023). Metodologias Ativas: Teoria da Aprendizagem. In: *Humanidades e Inovação*, v.10, n.9, páginas 141-153.
- Cassanho, L. P., Michels, J. F. P. e Barbosa, C. R. S. C. de. (2024). Avaliação do JFLAP para ensino de Autômatos. In: *Anais do XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*. Rio de Janeiro, Sociedade Brasileira de Computação,
- Gechele, L. M. G. e Venske, S. M. G, S. (2007). Ferramentas de ensino de linguagens formais: um comparativo. In: *Anais do I Encontro de Iniciação Científica do Programa de Iniciação Científica*, Guarapuava, Unicentro, p. 1-4.
- Hopcroft, J. E., Motwani, R., and Ullman, J. D. (2006). *Introduction to Automata Theory, Languages, and Computation*. 3rd ed. Addison-Wesley.
- JFLAP (2023). <https://www.jflap.org/>, April.
- Mioni, J. L. V. M. e Barbosa, C. R. S. C. (2022). Ferramentas para o aprendizado de Linguagens Formais e Autômatos. In: *Anais Estendidos do XLIV Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*. Natal, Sociedade Brasileira de Computação. p. 969-978.
- Mohamed, M., Shafer, C. A., and Rodger, S. H. (2021). *Teaching Formal Languages with Visualizations and Auto-Graded Exercises*. Blacksburg, VA: Virginia Tech; Durham, NC: Duke University; Assiut, Egypt: Assiut University.
- Paiva, P., Souza, M. e Terra, R. (2023). Ferramentas de apoio para a disciplina de Linguagens Formais e Autômatos: uma proposta de uso. In: *Anais do XXXIV Simpósio*

XIII Congresso Brasileiro de Informática na Educação (CBIE 2024)

XXXV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação (SBIE 2024)

Brasileiro de Informática na Educação. Porto Alegre, Sociedade Brasileira de Computação, p. 1698-1709.

Rodger, S. H. and Finley, T. W. (2006). *An Interactive Formal Languages and Automata Package*. Sudbury, MA: Jones and Bartlett.

Rodger, S. H., Wiebe, E., Lee, K. M., Morgan, C., Omar, K., and Su, J. (2009). In: *Increasing Engagement in Automata Theory with JFLAP*. *ACM SIGCSE Bulletin*, v.14, n.1, pages 403-407. Special Interest Group on Computer Science Education.

Rosa, J. L. G. (2010). *Linguagens formais e autômatos*. Rio de Janeiro: LTC.

Santini, L. F. S., Campano Junior, M. M. C., Felinto, A. S. e Aylon, L. B. R. (2022). Jogos no ensino de linguagens formais e autômatos: um mapeamento sistemático. In: *Anais Estendidos do XLIV Simpósio Brasileiro de Jogos e Entretenimento Digital*. Natal, Sociedade Brasileira de Computação. p. 226-233.

Silva, L. G., Dias, B. A., Finger, A. F. e Silva, W. (2023). Avaliação da experiência de uso do JFLAP como recurso pedagógico no ensino de linguagens formais. In: *Anais do XXXIV Simpósio Brasileiro de Informática na Educação*, Passo Fundo, Sociedade Brasileira de Computação, p. 995-1006.

Sudkamp, T. A. (2005). *Languages and Machines: An Introduction to the Theory of Computer Science*. São Paulo: Addison-Wesley. 3rd edition.

Terra, R. (2016). *Dados da disciplina de Linguagens Formais e Autômatos*. Technical Report. Universidade Federal de Lavras. p. 1-547.

Yalagi, P. S. and Dixit, R. K. (2017). Enhancing the learning ability using JFLAP for Theory of Computation Course. In: *Journal of Engineering Education Transformations*, v. 30, Special Issue, pages 1-6. Sciresol.