

**UNIVERSIDADE FEDERAL DA GRANDE DOURADOS
FACULDADE DE ENGENHARIA
ENGENHARIA DE ENERGIA**

PATRICK DE OLIVEIRA GUEDES

**COMPARAÇÃO ENTRE SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS
ELÉTRICOS DE POTÊNCIA UTILIZANDO MODELO IEEE 4 BARRAS**

DOURADOS, 2023

PATRICK DE OLIVEIRA GUEDES

**COMPARAÇÃO ENTRE SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS
ELÉTRICOS DE POTÊNCIA UTILIZANDO MODELO IEEE 4 BARRAS**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.02-9 Transmissão da Energia Elétrica, Distribuição da Energia Elétrica, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Energia.

Orientador: Prof. Dr. Etienne Biasotto

DOURADOS, 2023

PATRICK DE OLIVEIRA GUEDES

COMPARAÇÃO ENTRE SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA UTILIZANDO MODELO IEEE 4 BARRAS

Trabalho de conclusão de curso apresentado à Faculdade de Engenharia da Universidade Federal da Grande Dourados, na área de concentração 3.04.04.02-9 Transmissão da Energia Elétrica, Distribuição da Energia Elétrica, como requisito parcial para obtenção do título de Engenheira de Energia.

BANCA EXAMINADORA

Orientador: Etienne Biasotto Assinatura: 

Membro: Gerson Bessa Gibelli Assinatura: 

Membro: Clivaldo de Oliveira Assinatura: 

**DOURADOS-MS
19 DE ABRIL DE 2023**

COMPARAÇÃO ENTRE SOFTWARES DE SIMULAÇÃO DE SISTEMAS ELÉTRICOS DE POTÊNCIA UTILIZANDO MODELO IEEE 4 BARRAS.

Patrick de Oliveira Guedes¹; Etienne Biasotto²

Discente do curso de Engenharia de Energia¹; Docente do curso de Engenharia de Energia²;
patrickog99@gmail.com¹; etiennebiasotto@ufgd.edu.br²;

RESUMO – O presente trabalho apresenta a simulação do fluxo de potência de um circuito elétrico IEEE de 4 barras em duas configurações de transformadores diferentes. A simulação foi realizada por dois *softwares* distintos (*PowerWorld* e *ATPDraw*) e seus resultados foram comparados entre si. Foi detalhada a montagem e configuração de cada um dos *softwares*. Foi feita, ainda, uma análise sobre as características, facilidades, dificuldades, vantagens e desvantagens de cada um dos *softwares*.

Palavras-chave: Sistemas elétricos de potência, Fluxo de potência, *PowerWorld*, *ATPDraw*.

ABSTRACT – The present work presents the power flow simulation of an IEEE 4 node electrical circuit in two different transformer configurations. The simulation was performed by two different *softwares* (*PowerWorld* and *ATPDraw*) and their results were compared with each other. The assembly and configuration of each *software* was detailed. An analysis was also made about the characteristics, facilities, difficulties, advantages and disadvantages of each *software*.

Keywords: Power electrical systems, Power Flow, *PowerWorld*, *ATPDraw*.

1 INTRODUÇÃO

Para o desenvolvimento de um país é extremamente importante a autonomia e capacidade de seu sistema energético, seja para as atividades cotidianas até mesmo para as grandes operações, a utilização de energia elétrica de qualidade é uma necessidade imprescindível. Uma vez que a energia elétrica é a forma mais utilizada, esta deve ser projetada de modo a apresentar maior harmonia e adequação do uso dos recursos em toda a sua cadeia [1]. Então, busca-se cada vez mais desenvolver tecnologias que permitam o aperfeiçoamento da eficiência de todo o processo, desde a geração, passando pela distribuição até chegar ao uso final. Assim, o estudo de cálculos do fluxo de potência mostram-se um conhecimento fundamental neste planejamento.

O cálculo de fluxo de potência (ou carga) consiste na determinação de algumas grandezas de interesse, como as tensões complexas das barras e as potências (ativa e reativa) que fluem pelas linhas e transformadores e, para realizar estas determinações, são empregados equações e inequações algébricas [2]. Uma alternativa empregada para se realizar os cálculos com maior precisão é por meio do uso de *softwares* de simulação, dos que podem ser citados são o *PowerWorld* e o *ATPDraw*.

O *PowerWorld Simulator* é um *software* de simulação interativo desenvolvido com o intuito de operar com sistemas de energia de alta tensão, sendo capaz de apresentar resultados satisfatórios para sistemas de até 250.000 barras [3]. Além das capacidades nativas do *software*, ele apresenta opções de *add-ons* que permitem aprimorar as funções da simulação, como por exemplo Capacidade de Transferência Disponível (ATC). O *PowerWorld* é um *software* pago, mas possui licença estudantil livre, onde o número de barras disponíveis simultaneamente é reduzido a 13, mas apresenta todas as funções disponíveis do *software*.

Já o *ATPDraw* é um pré-processador gráfico desenvolvido para atuar em conjunto com a versão *ATP* de “*Eletromagnetic Transients Program*” (EMTP), onde o usuário é permitido construir circuitos através de componentes disponibilizados pelo sistema de forma a gerar a programação de entrada *ATP* de forma simplificada [4].

Portanto, este trabalho buscou realizar simulações de um mesmo circuito elétrico através destes dois *softwares* e, assim, realizar a comparação não só dos resultados obtidos, mas também das características de cada simulador e apontar suas vantagens.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.

Quando se trata de engenharia, seus sistemas sempre devem buscar melhorias e, para isso, novas ferramentas devem ser testadas e comparadas, a fim de evidenciar suas funcionalidades, vantagens e desvantagens entre si. Com os sistemas elétricos não é diferente.

O uso do *ATPDraw* como uma ferramenta de simulação se destaca, principalmente, em estudos de modelagem de sistemas de transmissão e distribuição de energia [5].

Já tratando exclusivamente de fluxo de potência, o *ATPDraw* mostra-se uma opção eficaz, tanto para o sistema de distribuição de duas barras quanto para o sistema de transmissão de 4 barras, uma vez que aquele possibilitou avaliar as tensões nas barras e os fluxos de potências nas linhas de transmissão [6].

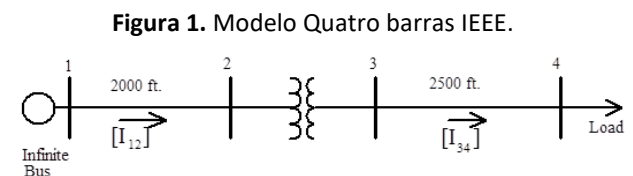
Ressalta-se que o *software* pode auxiliar em tomadas de decisão, uma vez que foi analisada a aplicação de uma interconexão de geração distribuída, e o *ATPDraw* foi utilizado no estudo do fluxo de potência do sistema, permitindo concluir que tal aplicação ajuda com problemas de variações de tensão e na redução de perdas [7].

Por fim, também se apresenta análise de um sistema de geração distribuída, porém utilizando o *software PowerWorld*,

conseguindo perceber que a aplicação desse sistema foi capaz de reduzir a instabilidade da tensão e da defasagem angular do sistema [8].

3 METODOLOGIA.

Neste trabalho, foi utilizado o modelo de circuito IEEE de quatro barras, conforme Figura 1, como um parâmetro para a realização de testes em 2 *softwares*. As propriedades estão listadas na Tabela 1 e foram considerados dois sistemas, o primeiro (sistema 1) utilizando um transformador abaixador 12,47/4,16 V e o segundo (sistema 2), um transformador elevador 12,47/24,9 V. Para realizar as simulações em ambos os *softwares*, foi adotado o transformador triângulo-triângulo (Δ - Δ).



Fonte: (IEEE PES AMPS DSAS TEST FEEDER WORKING GROUP, 1991)

Tabela 1. Grandezas do modelo quatro barras IEEE.

Grandeza:	Valor:
Tensão do gerador	12,47 kV
Potência ativa da carga	1800 kW
Fator de potência	0,9
Impedância da rede	0,3061+0,627j Ω/milha
Resistência do transformador	0,01 Ω
Indutância do transformador	0,06 Ω

Fonte: (IEEE PES AMPS DSAS TEST FEEDER WORKING GROUP, 1991)

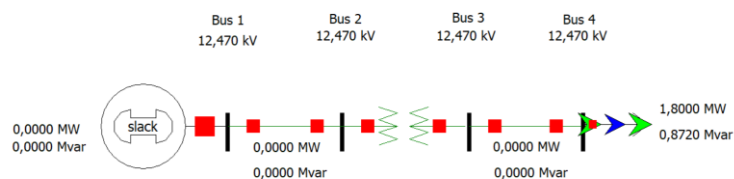
Para realizar a simulação utilizando o *software PowerWorld*, a seguinte configuração foi adotada:

Sendo a única informação disponível para o gerador, neste *software*, o valor da tensão, apenas este foi adicionado. O valor é dado na unidade p.u., tendo sido escolhido como valor base a própria tensão apresentada, assim, 1 p.u. No transformador, deve-se informar a razão de transformação entre as tensões de primário e secundário (≈ 3 e 0,5, para os transformadores aumentadores e abaixadores, respectivamente) e a defasagem do transformador (0° para Triângulo-Triângulo). A carga na barra 4 foi modelada adotando os valores informados de potência ativa (1800 kW) e potência reativa (872 kVAr). Para linhas, foi utilizada a mesma impedância para ambas, porém respeitando as distâncias entre as barras (609,6 metros entre as barras 1 e 2, e 762 metros entre as barras 3 e 4). Assim, utilizou-se uma opção disponível onde, com essas duas informações, o *software* responde com a impedância equivalente de cada percurso. Por fim, as barras não necessitam de maiores alterações, exceto selecionar a barra 1 como a barra de referência (Slack Bus). Isso porque o *software* irá alterar os valores de tensão durante a simulação.

Também foram adicionadas outras opções, a fim de facilitar a visualização dos resultados. Um visor de tensão para as barras

1, 2, 3 e 4, além de visores de fluxo de potência ativa e reativa nas linhas 1-2 e 3-4. O fluxo de potências também foi visualmente representado por flechas sobre as linhas, que pode ser observado após a realização da simulação. Assim, o sistema ficou representado conforme a Figura 2:

Figura 2. Circuito 4 barras no software PowerWorld.

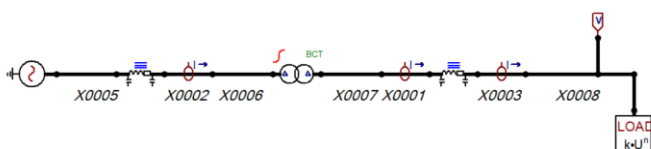


Fonte: (Autor, 2023).

A montagem do sistema no *software ATPDraw* apresentou uma sequência maior de passos, devido a sua maior complexidade. Esta consistiu em escolher o gerador “AC Source” (1 & 3) dentre as opções, e adicionou-se as informações de tensão do gerador, o número de fases (3 fases), a unidade do ângulo e o aterramento. O modelo de transformador escolhido foi *BCTRAN* e as informações de número de fases (3 fases), o número de enrolamentos (2 enrolamentos), as tensões no primário e secundário, a potência aparente e o tipo de conexão. Como a conexão utilizada é triângulo-triângulo, o sistema reconhece a diferença de entre fases em 0° . A carga ao final do sistema foi determinada pela opção “Load PQ”. Nele, foram adicionadas as informações sobre a tensão da linha (4,16 kV após o

transformador), a potência ativa e a potência reativa. Em sequência vem as perdas pela linha do sistema. Existem diversas formas de se representar a impedância do sistema, mas a mais apropriada para o sistema atual é a opção “3 phases”, por permitir incluir a matriz de impedâncias, bem como a distância de cada linha. Por fim, foram adicionadas algumas sondas ao longo do sistema para a tomada de dados específicos: sondas de corrente em cada uma das barras e uma sonda de tensão antes da carga de saída. Ressalta-se, também, que o *software* foi configurado para ter um tempo de duração de 0,1 segundos, a frequência dos componentes sempre como 60 Hz e a as indutâncias utilizadas em unidades de resistência indutiva (Ω). A Figura 3 mostra o sistema:

Figura 3. Circuito quatro barras no *software ATPDraw*.



Fonte: (Autor, 2023)

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.

Após a realização das simulações dos dois *softwares*, pôde-se comparar os resultados entre ambos. As tabelas 2 e 3 são os valores de tensão calculados pelos *softwares PowerWorld* e *ATPDraw*, respectivamente:

Tabela 2. Tensões resultantes de simulações com *PowerWorld*.

	Sistema 1		Sistema 2	
	V	θ	V	θ
Barra 2	12455	0,0	12470	0,0
Barra 3	4155	-0,2	24935	0,0
Barra 4	4097	-0,2	24935	0,0

Fonte: (Autor, 2023).

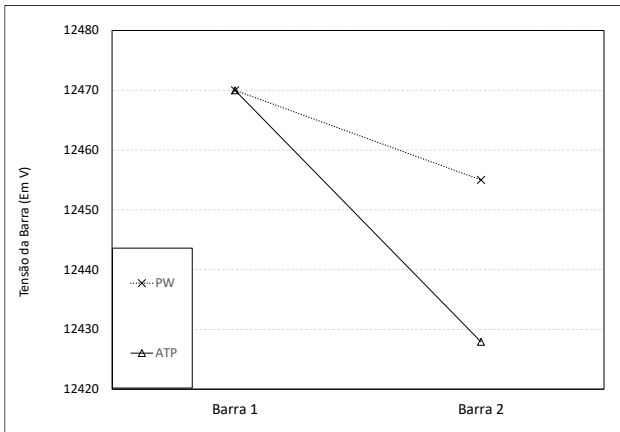
Tabela 3. Tensões resultantes de simulações com *ATPDraw*.

	Sistema 1		Sistema 2	
	V	θ	V	θ
Barra 2				
2-A	12428	-0,1	12429	-0,1
2-B	12439	-120,1	12440	-120,1
2-C	12435	119,8	12436	119,9
Barra 3				
3-A	4152	-0,2	24817	-0,2
3-B	4145	-120,1	24831	-120,2
3-C	4143	119,7	24823	119,8
Barra 4				
4-A	4003	-1,5	24792	-0,2
4-B	4035	-121,5	24813	-120,2
4-C	4019	118,1	24803	119,8

Fonte: (Autor, 2023).

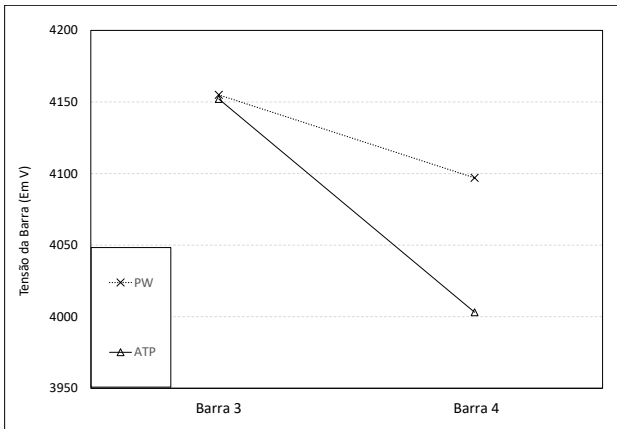
Os valores referentes à Barra 1 foram iguais, uma vez que esta não passa por qualquer processo altere nesta propriedade. A partir da barra 2, a diferença observada foi de aproximadamente 0,3%. Na barra 3, a diferença é reduzida para menos de 0,1% e por fim chega a 2,3% de diferença na última barra. As figuras 4 e 5 apresentam visualmente a diferença entre os resultados. Nos gráficos seguintes, serão apresentados separadamente os trechos entre as Barras 1-2 e 3-4, facilitando a visualização das diferenças. A Figura 6 demonstra a representação visual do *software PowerWorld* após realizada a simulação :

Figura 4. Comparação das tensões observadas nas barras 1 e 2 no transformador abaixador.



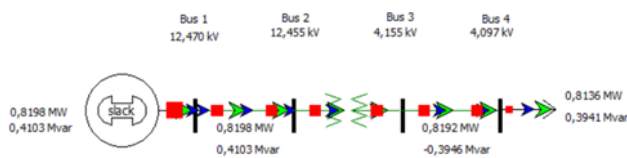
Fonte: (Autor, 2023).

Figura 5. Comparação das tensões observadas nas barras 3 e 4 no transformador abaixador.



Fonte: (Autor, 2023).

Figura 6. Simulação realizada no software PowerWorld.

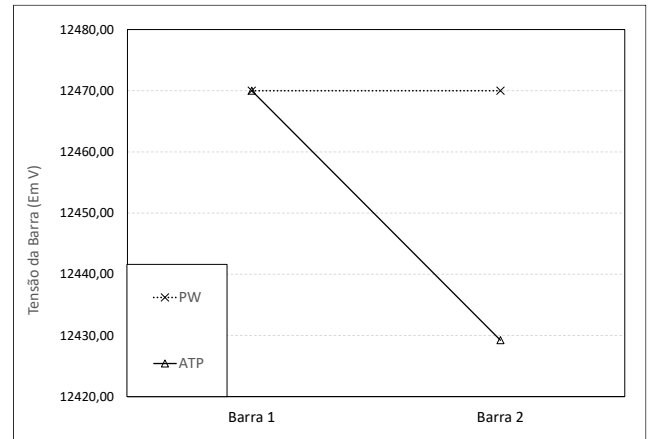


Fonte: (Autor, 2023).

Levando em consideração o transformador elevador, o comportamento não foi o mesmo do modelo anterior, apresentando um crescimento linear à

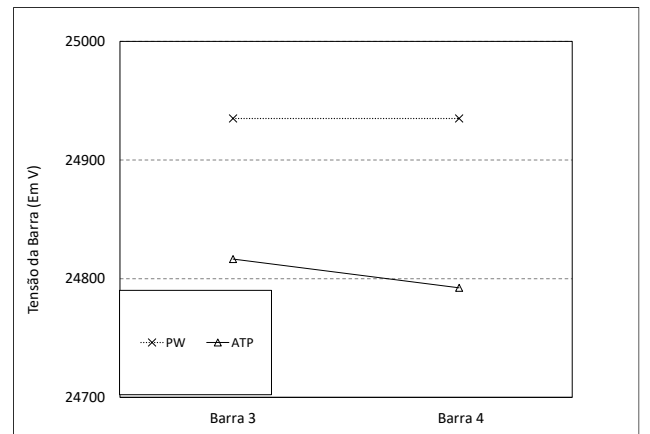
medida que o sistema era percorrido, apresentando diferença de 0,3% para a barra 2, 0,5% para barra 3 e 0,6% para a barra 4 . A figura 7 e 8 indica estas diferenças em função dos segmentos:

Figura 7. Comparação das tensões observadas nas barras 1 e 2 no transformador aumentador.



Fonte: (Autor, 2023).

Figura 8. Comparação das tensões observadas nas barras 3 e 4 no transformador aumentador.

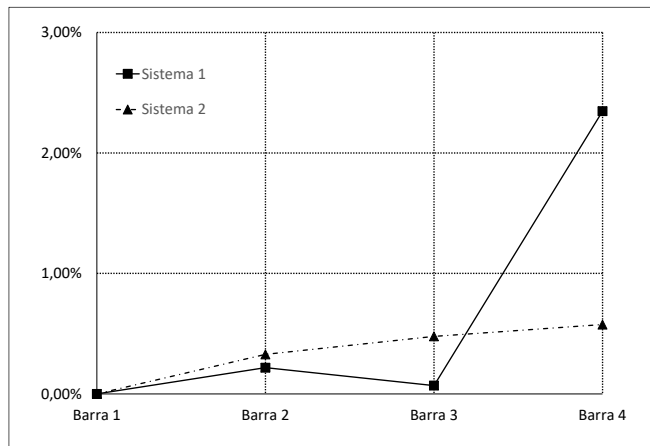


Fonte: (Autor, 2023).

De modo geral, o gráfico presente na Figura 9 demonstra como a diferença entre as simulações só não foi inferior a 1% na quarta barra, demonstrando uma convergência de

resultados. Esta diferença de 2,3% no sistema 1 se deve devido a uma instabilidade dos resultados apresentados por *ATPDraw*, onde é possível observar certa variação até entre as tensões nas fases da barra 4.

Figura 9. Percentual da diferença entre os resultados dos *softwares* em função da barra analisada.



Fonte: (Autor, 2023).

As Tabelas 4 e 5 indicam os fluxos de potência ativa e reativa percebidos ao longo do sistema. Os resultados mostraram que, comparando os dois *softwares*, o circuito 1 apresentou convergência dos resultados à medida que se percorreu o sistema, indo de maiores diferenças percentuais na barra 1 (13% ativa e 9% reativa) para os menores na barra 4 (1% ativa e reativa). Já no circuito 2 ocorreu o contrário, onde as menores diferenças percentuais foram na barra 1 (84% ativa e 99% reativa) e as maiores, na barra 4 (101% ativa e 102% reativa). De modo geral, percebeu-se que houve uma constância nos valores do *PowerWorld*, ao passo que o *ATPDraw* demonstrava perdas à medida que o

sistema passava pelas impedâncias de linha e pelo transformador.

Tabela 4. Potências resultantes de simulações com *PowerWorld*.

	Sistema 1		Sistema 2	
	W	VAR	W	VAR
Barra 1	831000	406500	1799100	872000
Barra 2	831000	406500	1799100	872000
Barra 3	830200	401800	1799000	871300
Barra 4	829700	402000	1800000	872000

Fonte: (Autor, 2023).

Tabela 5. Potências resultantes de simulações com *ATPDraw*.

Barra	Sistema 1		Sistema 2	
	W	VAR	W	VAR
Barra 1				
1-A	941186	441124	977446	437713
1-B	941870	447849	978263	438073
1-C	935704	445079	977543	438601
Barra 2				
2-A	-939060	-437800	-975189	-434180
2-B	-940585	-444756	-976908	-434805
2-C	-934281	-441604	-976020	-434885
Barra 3				
3-A	854847	436162	895912	433195
3-B	862090	441648	897183	433854
3-C	858410	443273	896487	433619
Barra 4				
4-A	-834371	-404170	-895296	-432231
4-B	-849451	-411475	-896814	-432964
4-C	-844490	-409072	-896072	-432606

Fonte: (Autor, 2023).

Ressalta-se que no circuito 2, as potências obtidas foram exatamente as condicionadas pela carga de saída na barra 4, conforme o modelo IEEE.

As diferenças observadas entre as potências podem ser explicadas, primeiro, pelas diferenças entre os componentes utilizados nos dois *softwares*, como por exemplo as impedâncias das linhas, onde o PowerWorld utiliza impedâncias equilibradas, enquanto o ATPDraw insere uma matriz de impedâncias no sistema. Outra diferença que deve ser exaltada é devido ao modelo de simulação que cada software utiliza. Enquanto o PowerWorld possui diversas opções de modelos de simulação, sendo o modelo Newton-Raphson utilizado neste trabalho, o ATPDraw possui modelagem própria.

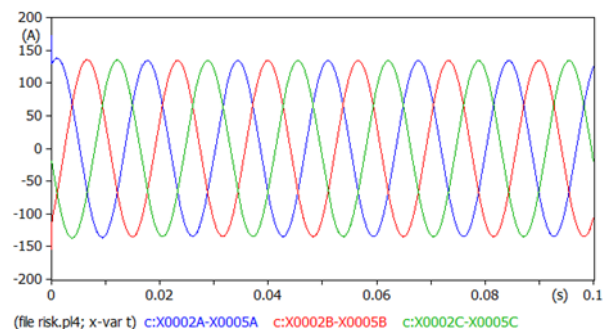
Ainda, a simulação do circuito 1 do ATPDraw apresentou variações nas potências entre fases ao longo do sistema, o que, segundo MOURA *et al.* (2022), indica uma operação desequilibrada devido as impedâncias mútuas que este sistema possui. [6]

Já o mesmo não pode ser observado no PowerWorld, uma vez que, para fluxo de potência, o *software* não tem uma preocupação com as diferenças que possam ser eventualmente observadas entre as fases. Por mais que o *software* realize suas simulações em sistemas trifásicos, esta diferenciação é mais comumente observada em simulações de faltas.

Ressalta-se que o ATPDraw apresenta outras ferramentas que podem ser úteis para diferentes análises, uma delas é a análise

gráfica. Será usado como exemplo o gráfico de corrente elétrica do sistema 1, no trecho entre a barra 1 e 2, retratado na Figura 10.

Figura 10. Corrente elétrica do sistema 1 no trecho entre Barras 1 e 2.



Fonte: (Autor, 2023).

Conforme pode ser observado, as correntes elétricas estão representadas no formato senoidal, tendo, em módulo, valor aproximado de 140 A. Estas representações têm utilidade quando busca-se observar o comportamento ao longo do tempo ou, num sistema equilibrado, demonstrar alguma interferência que o desestabilize neste período de tempo.

Por fim, fazendo a comparação entre a facilidade de se utilizar os dois *softwares*, temos que o PowerWorld apresenta uma interface mais amigável, facilitando a localização de seus recursos bem como reconhecimento e interpretação de seus resultados, mostrando-se mais intuitivo para realizar as simulações. Já o ATPDraw demonstrou vantagens como a robustez dos resultados e seu alto número de possibilidades, contendo blocos com

programações específicas para cada caso. Contudo o *ATPDraw* pode ser um desafio para primeiras utilizações, localizar certos componentes não é tão simples, assim como os resultados, que não são dispostos de forma a favorecer o entendimento de forma simplificada. Alguns cuidados também são necessários, por exemplo, ao nomear um arquivo salvo, este não pode conter espaço em seus caracteres, caso contrário a simulação não encontrará o arquivo e acusará erro. Por fim, o *PowerWorld* apresenta um problema na execução da simulação onde o modelo será alterado e para ser realizada uma nova execução esta deve retornar ao estado pré simulação pois, do contrário, indicará a ocorrência de um curto. O *PowerWorld* também, por ser um *software* pago, apresenta limitações como um número reduzido de barras simultâneas em um sistema na versão disponibilizada aos estudantes.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Deste modo, este trabalho propôs realizar a simulação de um circuito IEEE de quatro barras em dois sistemas, com transformador abaixador 12,47/4,16 V e com um elevador 12,47/24,9 V, utilizando-se de dois *softwares* distintos (*PowerWorld* e *ATPDraw*) e comparando os resultados entre si, especificamente as tensões das barras e o fluxo de potência ativa e reativa. Os

resultados para o sistema 1 mostraram que a maior diferença observada entre ambos os *softwares* foi de 3%, na barra 4. Já nas outras barras houve uma diferença média de 0,2% para a barra 2 e 0,1% para a barra 1. Para o sistema 2, em todas as barras, a diferença dos resultados foi inferior a 1%, apresentando um aumento quase linear à medida que o sistema foi percorrido, sendo 0,3% na barra 2, 0,5% na barra 3 e 0,6% na barra 4, aproximadamente. Já para as potências no sistema 1, apresentou-se uma convergência à medida que se atravessava o sistema, indo de 13% para 1% de potência ativa e 9% para 1% em potência reativa. No sistema 2 ocorreu o contrário, onde a diferença aumentava no final do sistema. Este sistema também apresentou maiores variações em comparação ao outro, onde um *software* demonstrou o dobro de potência, isso devido as diferenças nos componentes e no modelo de simulação que os *softwares* apresentam. Ainda, avaliando as características dos *softwares*, o *PowerWorld* mostrou ser simples, visualmente agradável para interpretação dos resultados, apesar de haver limitações para versões estudantis. Já o *ATPDraw* abrange uma disponibilidade grande de recursos, bem como resultados robustos, além de ser um *software* livre, mas demonstra ser desafiador em sua execução. Por fim, destaca-se que ambos os *softwares* demonstraram ser alternativas úteis para aplicações em disciplinas práticas, em

projetos de pesquisa e estudos avaliando diferentes circuitos comprovando que são bons *softwares* para o desenvolvimento das simulações apresentadas.

REFERÊNCIAS

- [1] REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica 3a ed.**. Barueri: Editora Manole, 2017. *E-book*. ISBN 9786555762242. Disponível em: <https://app.minhabiblioteca.com.br/#/books/9786555762242/>. Acesso em: 01 fev. 2023.
- [2] MONTICELLI, Alcir; GARCIA, Ariovaldo. **Introdução a Sistemas de Energia Elétrica**. 2. ed. Campinas: Editora da Unicamp, 2011. *E-book*.
- [3] POWERWORLD CORPORATION. **History**. [S. l.], 2023. Disponível em: <https://www.powerworld.com/company/history>. Acesso em: 14 jan. 2023.
- [4] H. K. HØIDALEN. ATPDraw™ : The graphical preprocessor to ATP, 2021. Página inicial. Disponível em: <http://www.atpdraw.net/index.php>. Acesso em: 14 de jan. de 2022
- [5] N. F. T. dos Santos, G. A. Santos, F. A. Kharaghani, S. C. L. Freitas and J. C. da Silva, "Simulation Tutorial in ATPdraw software – IEEE 4 Nodes Test Feeder – Part 1," 2020 IEEE PES Transmission & Distribution Conference and Exhibition - Latin America (T&D LA), Montevideo, Uruguay, 2020, pp. 1-6, doi: 10.1109/TDLA47668.2020.9326094.
- [6] MOURA, Adriano Aron F. de; FERREIRA, Pablo Fillype T.; AGUIAR, Victor de Paula Brandão; ROCHA, Ednardo Pereira da; PAULA, João Frederico Souza de; MOURA, Ailson Pereira de. Simulação de fluxo de carga para sistemas de transmissão e distribuição de energia elétrica com o ATPDraw. **Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica**. v.4, n.1, p. 45-56, 2022. DOI: <https://doi.org/10.21708/issn27635325>.
- [7] ARAGÃO, Priscila Nunes. **ESTUDO DE PERDAS NO SISTEMA ELÉTRICO DE POTÊNCIA COM PRESENÇA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA USANDO ATPDRAW**. Orientador: Karcius M. C. Dantas. 2016. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Universidade Federal da Campina Grande, [S. l.], 2016. Disponível em: <http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/jspui/bitstream/riufcg/18688/1/PRISCILA%20NUNES%20ARAGÃO%20-%20TCC%20ENG.%20ELÉTRICA%202016.pdf>. Acesso em: 23 out. 2022.
- [8] CARLI, Leonardo Gabriel Soccol de. **SIMULAÇÃO E ANÁLISE DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA POR MEIO DO SOFTWARE POWERWORLD SIMULATOR**. Orientador: Rubiara Cavalcante Fernandes. 2021. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) - Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Santa Catarina, [S. l.], 2021. Disponível em: <https://repositorio.ifsc.edu.br/handle/123456789/2334>. Acesso em: 28 ago. 2022.
- [9] IEEE PES AMPS DSAS TEST FEEDER WORKING GROUP. **Resources**. [S. l.], 1991. Disponível em: <https://cmte.ieee.org/pes-testfeeders/resources/>. Acesso em: 5 dez. 2022.