

## AVALIAÇÃO DA PERCEPÇÃO DO ALUNO DE ENGENHARIA COM RELAÇÃO AOS PRINCIPAIS TEOREMAS E MÉTODOS DE ANÁLISE DE CIRCUITOS ELÉTRICOS

Bruno Ricardo de Almeida – [almeida@unifor.br](mailto:almeida@unifor.br)  
Jessica Santos Guimarães – [jessicaguimaraes@unifor.br](mailto:jessicaguimaraes@unifor.br)  
Átila Girão de Oliveira – [atilagirao@unifor.br](mailto:atilagirao@unifor.br)  
Daniel R. Jaguaribe1 – [danielrj97@edu.unifor.br](mailto:danielrj97@edu.unifor.br)  
Mauro César P. P. Filho – [mauro.cezr@gmail.com](mailto:mauro.cezr@gmail.com)

Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Departamento de Engenharia Elétrica e Eletrônica  
Av. Washington Soares, 1321 Sala J01, Tel.: (85) 3477-3047 CEP 60811-905 – Fortaleza/CE

**Resumo:** Sabendo-se da grande importância do desenvolvimento da competência de se saber analisar e projetar circuitos elétricos nos cursos de engenharia que envolvem eletricidade (como Eng. Elétrica, Eng. Eletrônica, Eng. de Controle e Automação, entre outras), este artigo tem realiza um estudo que busca identificar as dificuldades encontradas pelos alunos em aplicar os principais teoremas e métodos de análise de circuitos. Como objetivo secundário, busca-se detectar uma relação entre os tipos de circuitos elétricos e a escolha dos teoremas e métodos mais adequados para resolução dos mesmos. Para tal, são propostos três circuitos com diferentes características os quais os alunos das disciplinas de Circuitos Elétricos e Análise de Circuitos são convidados a resolver de três maneiras distintas e posteriormente responder um questionário que viabiliza a identificação de uma possível relação entre a escolha, que priorize uma resolução mais rápida e com menor esforço matemático ou computacional, de um teorema ou método com o tipo de circuito o qual conta com a presença de determinados tipos de fontes. Resultado sobre a percepção dos alunos são apresentados e discutido ao final, onde são apresentadas as hipóteses formuladas pelos autores.

**Palavras-chave:** Métodos de Análise de Circuitos. Teoremas de Circuitos. Leis de Kirchoff.

### 1 INTRODUÇÃO

Segundo Azevedo (2017), as disciplinas que envolvem as competências de análise e projeto de circuitos elétricos são de fundamental importância para o desenvolvimento de um engenheiro eletricista, devido à importância dos circuitos eletrônicos os quais estão presentes em computadores, televisões, celulares e veículos automotivos, até os circuitos encontrados em máquinas de lavar, geladeiras, etc. De modo geral, todos os circuitos presentes em todo tipo de instalação elétrica.

O primeiro contato do estudante de engenharia na área de elétrica com os temas no campo de estudo escolhido acontece na unidade curricular de Circuitos Elétricos, exigindo um esforço maior dos discentes, segundo Jhonson (1990), para cobrir os fundamentos sobre o assunto e, ao mesmo tempo, fazer ser tão simples de entender quanto for possível. O estudo de circuitos elétricos exige uma abstração razoável das grandezas envolvidas que, de acordo com Silva (2018), acarreta em um alto índice de reprovação, exigindo assim uma atenção maior por parte das Instituições de Ensino Superior (IES), a cerca deste tema.

Nos trabalhos apresentados por Couto (2018) e Ferreira (2018), é feito um relato sobre seus êxitos utilizando a extensão como ferramenta para atrair tanto a comunidade, quanto os próprios alunos, motivando-os a seguir nesta área. Contudo alguns conceitos e especificidades desta

unidade curricular, de circuitos elétricos, merecem uma análise mais profunda e crítica, buscando assim entender os porquês da não motivação dos alunos e do baixo rendimento dos mesmos.

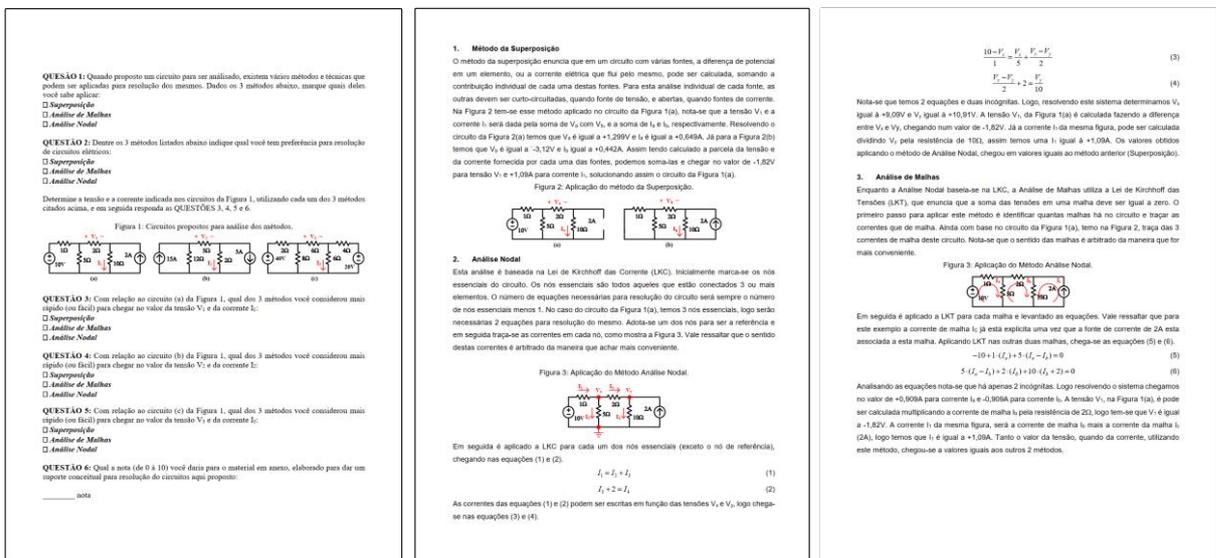
Segundo Kienitz (2010), um dos desafios é mostrar para o aluno que nada precisa ser decorado, tudo pode e deve ser deduzido e, portanto, entendido. Para análise de circuitos elétricos, o ponto de partida são as leis fundamentais, como Lei de Kirchhoff das Tensões (LKT) e Lei de Kirchhoff das Correntes (LKC), com as quais é possível chegar em equações e sistemas de simples resolução e análise.

Uma habilidade fundamental para formação de um engenheiro é a de ser capaz de encontrar as tensões em cada nó e as correntes em cada ramo de qualquer circuito elétrico, seja para fazer novos projetos, realizar manutenção de instalações elétricas, ou consertar aparelhos eletrônicos. Sem o domínio desta técnica, o profissional se torna incapaz de entender os circuitos, o que dificulta a realização de tarefas tais como o dimensionamento de redes elétricas, linhas de transmissão, etc. Na literatura, há diversos métodos e teoremas que podem ser utilizados para se encontrarem essas tensões e correntes. Os principais apresentados por Boylestad (2012) são: Teorema da Superposição; Teorema de Thévenin; Teorema de Norton; Análise de Nó; Análise de Malhas; Teorema de Millman; e Teorema da Reciprocidade. Em reunião com alguns professores da área de circuitos elétricos, optou-se por limitar a pesquisa deste artigo em somente três métodos: Teorema da Superposição; Análise de Nó; e Análise de Malhas. O objetivo da pesquisa é avaliar estes três métodos de análise de circuitos aplicados a circuitos com diferentes configurações e, dessa forma, verificar se o número de fontes de corrente e tensão influenciam na escolha do método.

## 2 QUESTIONÁRIO DE PERCEPÇÃO

O questionário de percepção do conteúdo foi elaborado com o intuito de verificar o domínio do aluno com relação aos métodos propostos quanto ao entendimento de qual método é mais adequado para cada situação problema. Na Figura 1 é apresentado o questionário que foi solicitado aos alunos de disciplinas com Circuitos Elétricos, Análise de Circuitos e Eletrônica Básica. Vale ressaltar que todos os alunos que participaram desta pesquisa, foi de forma voluntária, dando mais consistência nos dados obtidos.

Figura 1: Questionário de Percepção.



**1. Método da Superposição**  
O método da superposição analisa que em um circuito com várias fontes, a diferença de potencial em um elemento, ou a corrente elétrica que flui pelo mesmo, pode ser calculada, somando a contribuição individual de cada uma destas fontes. Para esta análise individual de cada fonte, as outras devem ser curto-circuitadas, quando fonte de tensão, e abertas, quando fontes de corrente.

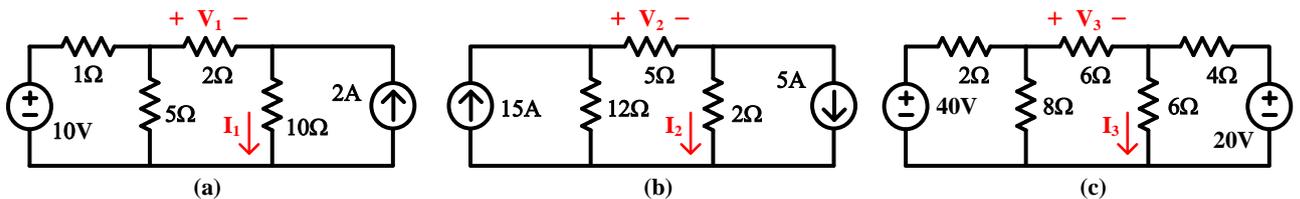
**2. Análise Nodal**  
Esta análise é baseada na Lei de Kirchhoff das Correntes (LKC). Inicialmente marca-se os nós essenciais do circuito. Os nós essenciais são todos aqueles que estão conectados 3 ou mais elementos. O número de equações necessárias para resolução do circuito será sempre o número de nós essenciais menos 1. No caso do circuito da Figura 1(a), temos 3 nós essenciais, logo serão necessárias 2 equações para resolução do mesmo. Adiciona-se um dos nós para ser a referência e em seguida traça-se as correntes em cada nó, como mostra a Figura 3. Vale ressaltar que o sentido destas correntes é arbitrado da maneira que achar mais conveniente.

**3. Análise de Malhas**  
Enquanto a Análise Nodal baseia-se na LKC, a Análise de Malhas utiliza a Lei de Kirchhoff das Tensões (LKT), que afirma que a soma das tensões em uma malha deve ser igual a zero. O primeiro passo para aplicar este método é identificar quantas malhas há no circuito e traçar as correntes que de malha. Ainda com base no circuito da Figura 1(a), temo na Figura 2, traça das 3 correntes de malha deste circuito. Nota-se que o sentido das malhas é arbitrado da maneira que for mais conveniente.

Fonte: Próprio do autor.

Segundo Kieckow (2017), a falta de tempo ou a falta de disciplina/organização dos alunos tem levado muitos a se desmotivarem com o curso, acarretando inclusive, em casos peculiares, a desistência. Assim, o direcionamento do docente para o uso de ferramentas e técnicas mais eficientes é de extrema importância. Assim buscou-se mostrar em uma mesma atividade uma ligação entre a configuração do circuito e o método de análise. Foram propostos os circuitos da Figura 2, sendo o primeiro composto pelo mesmo número de fontes de tensão e de corrente, já o segundo somente fontes de corrente e o terceiro há somente fontes de tensão.

Figura 2: Circuitos propostos para análise dos métodos.



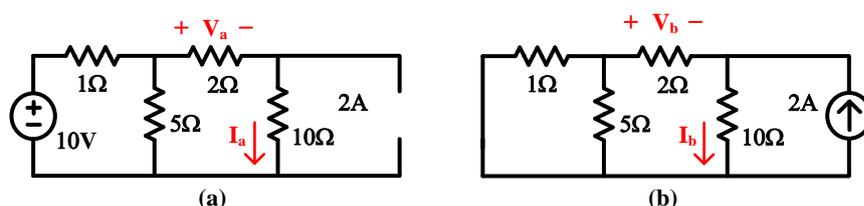
Fonte: Próprio do autor.

Estes circuitos foram repassados para os alunos dos cursos de engenharia da Universidade de Fortaleza (Unifor) para que fossem resolvidos pelos métodos citados anteriormente. Após a resolução, foi feita uma série de perguntas buscando traçar qual era o método conhecido pelo aluno, qual era o método preferido por ele e, para cada um dos três circuitos, qual método ele achou mais rápido e eficiente. Como observado, alguns alunos veteranos (alunos que já haviam cursado a disciplina) não se recordavam de um ou outro método. Para tal, elaborou-se um material com uma breve explicação dos métodos e se anexou junto aos questionários. O conteúdo deste material segue abaixo.

## 2.1 Método da Superposição

O método da superposição enuncia que, em um circuito com várias fontes, a diferença de potencial em um elemento, ou a corrente elétrica que flui pelo mesmo, pode ser calculada se somando a contribuição individual de cada uma destas fontes. Para esta análise individual de cada fonte, as outras devem ser curto-circuitadas, quando fonte de tensão, e abertas, quando fontes de corrente. Na Figura 3, tem-se este método aplicado no circuito da Figura 1(a). Nota-se que a tensão  $V_I$  e a corrente  $I_I$  será dada pela soma de  $V_a$  com  $V_b$ , e a soma de  $I_a$  e  $I_b$ , respectivamente. Resolvendo o circuito da Figura 2(a), encontra-se  $V_a$  igual a +1,299V e  $I_a$  igual a +0,649A. Já para a Figura 2(b), tem-se  $V_b$  igual a -3,12V e  $I_b$  igual a +0,442A. Assim, tendo calculado a parcela da tensão e da corrente fornecida por cada uma das fontes, pode-se somá-las e se chegar ao valor de -1,82V para tensão  $V_I$  e +1,09A para corrente  $I_I$ , solucionando assim o circuito da Figura 1(a).

Figura 3: Aplicação do método da Superposição.

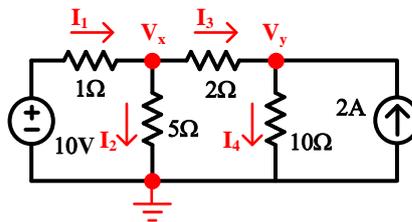


Fonte: Próprio do autor.

## 2.2 Análise Nodal

Esta análise é baseada na Lei de Kirchhoff das Corrente (LKC). Inicialmente, marcam-se os nós essenciais do circuito, ou seja, todos aqueles nos quais estão conectados 3 ou mais elementos. O número de equações necessárias para resolução do circuito será sempre o número de nós essenciais menos 1. No caso do circuito da Figura 2(a), têm-se 3 nós essenciais, logo serão necessárias 2 equações para resolução do mesmo. Adota-se um dos nós para ser a referência e, em seguida, traçam-se as correntes em cada nó, como mostra a Figura 3. Vale ressaltar que o sentido destas correntes é arbitrado da maneira que se achar mais conveniente.

Figura 4: Aplicação do Método Análise Nodal.



Fonte: Próprio do autor.

Em seguida é aplicada a LKC para cada um dos nós essenciais (exceto o nó de referência), chegando-se nas equações (1) e (2).

$$I_1 = I_2 + I_3 \quad (1)$$

$$I_3 + 2 = I_4 \quad (2)$$

As correntes das equações (1) e (2) podem ser escritas em função das tensões  $V_x$  e  $V_y$ , logo se chegam nas equações (3) e (4).

$$\frac{10 - V_x}{1} = \frac{V_x}{5} + \frac{V_x - V_y}{2} \quad (3)$$

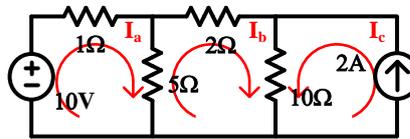
$$\frac{V_x - V_y}{2} + 2 = \frac{V_y}{10} \quad (4)$$

Em posse de 2 equações e duas incógnitas, resolve-se este sistema e se encontram  $V_x$  igual a +9,09V e  $V_y$  igual a +10,91V. A tensão  $V_I$ , Figura 1(a), é calculada fazendo a diferença entre  $V_x$  e  $V_y$ , chegando-se ao valor de -1,82V. Já a corrente  $I_I$ , da mesma figura, pode ser calculada dividindo  $V_y$  pela resistência de 10Ω, ou seja,  $I_I$  igual a +1,09A. Os valores obtidos, ao se aplicar o método de Análise Nodal, são iguais aos valores encontrados pelo método anterior (Superposição).

## 2.3 Análise de Malhas

Enquanto a Análise Nodal se baseia na LKC, a Análise de Malhas utiliza a Lei de Kirchhoff das Tensões (LKT), a qual enuncia que a soma das tensões em uma malha deve ser igual a zero. O primeiro passo para aplicar este método é identificar quantas malhas há no circuito e traçar as correntes de malha. Ainda com base no circuito da Figura 2(a), foram traçadas as 3 correntes de malha deste circuito conforme pode ser visto na Figura 5. Nota-se que o sentido das malhas é arbitrado da maneira que for mais conveniente.

Figura 5: Aplicação do Método Análise Nodal.



Fonte: Próprio do autor.

Em seguida, é aplicada a LKT para cada malha e levantadas as equações. Vale ressaltar que, para este exemplo, a corrente de malha  $I_C$  já está explícita uma vez que a fonte de corrente de 2A está associada a esta malha. Aplicando LKT nas outras duas malhas, chegam-se as equações (5) e (6).

$$-10 + 1 \cdot (I_a) + 5 \cdot (I_a - I_b) = 0 \quad (5)$$

$$5 \cdot (I_a - I_b) + 2 \cdot (I_b) + 10 \cdot (I_b + 2) = 0 \quad (6)$$

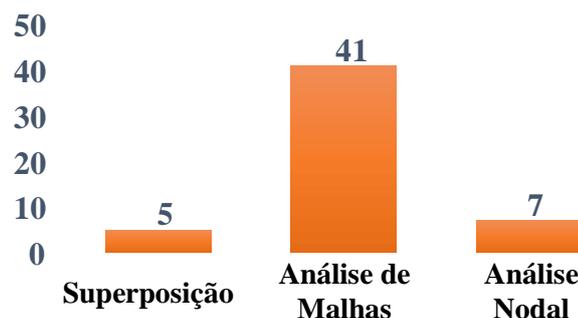
Analisando as equações, nota-se que há apenas 2 incógnitas. Logo, resolvendo o sistema, chega-se no valor de +0,909A para corrente  $I_a$  e -0,909A para corrente  $I_b$ . A tensão  $V_I$ , na Figura 1(a), pode ser calculada multiplicando a corrente de malha  $I_b$  pela resistência de  $2\Omega$ , logo se tem que  $V_I$  é igual a -1,82V. A corrente  $I_I$ , da mesma figura, será a corrente de malha  $I_b$  mais a corrente da malha  $I_c$  (2A), logo  $I_I$  é igual a +1,09A. Tanto o valor da tensão quanto o da corrente, encontrados utilizando este método, são iguais aos outros 2 métodos.

### 3 ANÁLISE DOS RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados obtidos a partir do formulário entregue aos alunos dos cursos de eng. Elétrica, eng. Eletrônica, eng. Computação, e eng. Controle e Automação. Junto ao questionário, foi anexado um material de suporte, no qual uma breve revisão dos métodos aqui propostos foram expostos. A participação dos alunos foi bastante satisfatória, visto que o aluno participava de forma voluntária na pesquisa (não era obrigatório), e se obtiveram 44 questionários respondidos, tanto por alunos do início, quanto do final do curso.

A primeira pergunta questionava os alunos com relação aos métodos que eles gostavam mais, aqueles que tinham mais afinidade de aplicar, e o resultado desta primeira questão é apresentado na Figura 6. Nota-se que, dos 44 que participaram da pesquisa, a grande maioria tem mais afinidade com o método análise de malhas, ficando superposição e análise nodal com 5 e 7 votos, respectivamente.

Figura 6: Análise referente aos métodos conhecido pelos alunos.

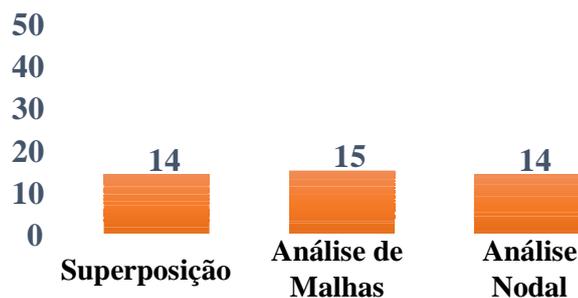


Fonte: Próprio do autor.

Como esperado, o método mais escolhido foi o de Análise de Malhas. Acredita-se que isto ocorra pois traçar as correntes de malha e aplicar a LKT flui mais naturalmente. Muitos alunos têm dificuldade de aplicar a LKC e visualizar a tensão de nó (Análise Nodal), logo acabam mistificando este método e, por falta de uso, definindo-o como um método complicado.

A segunda questão do questionário era com relação a qual método os alunos encontravam maior dificuldade para aplicar os conceitos. Na Figura 7 é apresentado o resultado obtido.

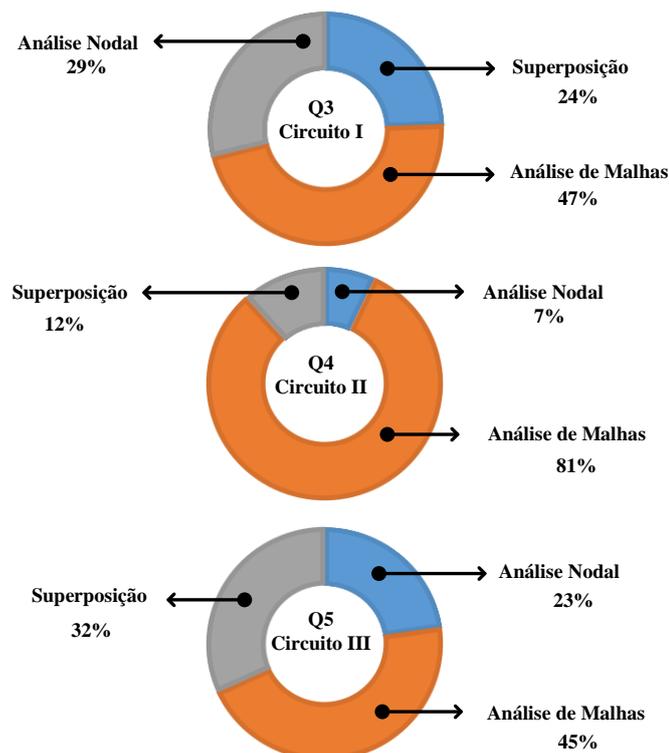
Figura 7: Método com maior dificuldade.



Fonte: Próprio do autor.

Apesar dos alunos descreverem que têm mais facilidade em aplicar Análise de Malhas, quando questionados sobre os métodos que tinham mais dificuldade as respostas foram mais equilibradas, conduzindo assim ao entendimento de que todos os métodos devem ser reforçados e se deve buscar um enfoque mais práticos para os mesmos. Em uma segunda etapa, solicitou-se que os alunos solucionassem os circuitos pelos 3 métodos e indicassem o melhor método para cada um. O resultado obtido com este levantamento pode ser visto na Figura 8.

Figura 8: Melhor método para análise dos Circuitos I, II e III.



Fonte: Próprio do autor.

Para os circuitos propostos, buscava-se analisar a facilidade ou dificuldade do aluno em aplicar os métodos e também identificar o nível de compreensão por parte dos alunos com relação ao tamanho do sistema de equações que é gerado de acordo com o método que o mesmo escolheu. Abaixo segue a análise para cada um dos casos:

- No circuito I, composto por 1 fonte de tensão e uma fonte de corrente, 24% dos alunos escolheram o método de Superposição, 29% análise nodal e 47% análise de malhas. Partindo do fato dos alunos já apresentarem uma pré-disposição a adotar o método de Análise de Malhas, pode-se dizer que, para este tipo de circuito, os resultados foram equilibrados. Para este exemplo, o tamanho dos sistemas de equações gerados, quando utilizado análise nodal ou análise de malhas, é o mesmo. Para ambas as técnicas, o sistema de equações gerado será  $2 \times 2$ .
- No circuito II, o qual possui 2 fontes de corrente, esperava-se, como resultado, que o método adotado fosse o de Análise de Malha, visto que, por este método, chega-se ao resultado com apenas 1 equação. Pelo método de Análise Nodal, encontra-se um sistema de equações  $2 \times 2$  e, pelo método de Superposição, é necessário resolver 2 circuitos. 81% dos alunos optaram pela análise de malhas.
- No circuito III, esperava-se que o método adotado fosse o de Análise Nodal, pois com ele se encontra um sistema de equações  $2 \times 2$  enquanto que Análise por Malha retorna um sistema de equações  $3 \times 3$  e, por superposição, teria-se que analisar 2 circuitos. Contudo, notou-se que os alunos têm uma grande tendência em escolher o método de Análise de Malhas e alguns apresentaram muita dificuldade de resolver por outros métodos, mesmo este sendo mais direto e rápido para se chegar na resposta.

Por fim, a última pergunta do questionário demandava uma avaliação acerca do material de suporte em anexo. Expressam-se as notas dadas na Figura 8. Verifica-se que, dos 44 alunos que participaram da pesquisa, a grande maioria avaliou o material com nota máxima 10 e se alcançou uma média geral de 9,5. Os alunos que deram nota 5 foram questionados posteriormente pelos autores deste trabalho e suas sugestões de melhorias e aprimoramentos serão acatadas em um próximo questionário. Pretende-se utilizar este questionário como uma ferramenta contínua, tanto para compreender a evolução dos alunos, quanto para se certificar se o conteúdo está sendo ministrado de forma homogeneia por todos discentes da IES.

Figura 8: Nota dada para o material de suporte.



Fonte: Próprio do autor.

#### 4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

O estudo feito neste artigo buscou identificar e avaliar a dificuldade dos alunos em aplicar os métodos e teoremas de análise de circuitos, dentre os quais se citam Superposição e Análise Nodal, para resolução de problemas. Além dos alunos apresentarem dificuldade em aplicar os métodos, percebe-se também uma falta de análise crítica prévia, a qual aponte, antes de fazer qualquer cálculo, qual das técnicas gera um menor sistema de equações, garantindo assim uma resolução mais rápida e um esforço computacional menor.

Tento em vista os resultados obtidos, será proposto para os professores deste eixo de formação uma abordagem diferenciada, buscando tornar a disciplina mais atrativa para o aluno. A utilização de metodologias ativas já vem há alguns anos sendo incentivada em nossa IES, a qual fomenta tutoria, cursos de aprimoramentos e palestras sobre o tema.

De modo geral, tanto os autores deste trabalho quanto os alunos que participaram de forma voluntária nesta pesquisa acharam a ideia proposta bastante interessante. Muitos não conseguiam analisar a aplicação de diferentes métodos pois, na sua grande maioria, aprenderam a utilizá-lo de forma segregada e individual.

Para trabalhos futuros, pretende-se ampliar este questionário e torná-lo uma ferramenta de avaliação e mensuração da unidade curricular de Circuitos Elétricos. Com um aumento no volume dos dados, tanto da evolução dos alunos quanto do equilíbrio das turmas que possuem professores diferentes, viabilizar-se-ia, cada vez mais, uma análise mais assertiva acerca do processo de ensino e aprendizagem a partir da qual se podem tecer novas métricas de metodologia que viabilizem o cumprimento do principal objetivo de ensino que é o de gerar o aprendizado.

#### *Agradecimentos*

Os autores agradecem à Universidade de Fortaleza (Unifor), especialmente ao setor da Assessoria Pedagógica, a qual fomenta e incentiva o aprendizado e a aplicação de técnicas que vão desde o uso de metodologias ativas à inserção de tecnologias diversas nos ambientes onde se desenvolvam o processo de ensino e aprendizado.

#### REFERÊNCIAS

AZEVÊDO, Wilker Victor da Silva. **Construindo Conhecimento sobre Circuitos Elétricos: as Representações Semióticas e novos Referenciais sobre Dificuldades de Aprendizagem**. XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), 10p., Joinville/SC, 2017.

SILVA, Kassio Vinicio da; SÁ JUNIOR, José Carlos; AZEVÊDO, Wilker Victor da Silva. **Sobre concepções no estudo de circuitos elétricos e utilização de experimentação real e virtual**. XLVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), Salvador/BA, 2018

COUTO, Caio Borges; et. all. **Desmistificando a construção de circuitos eletrônicos e protótipos de sistemas na educação básica através de plataforma didática internacional**. XLVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), Salvador/BA, 2018

FERREIRA, Davidson Geraldo; CUNHA, Flávio Macedo; CARVALHO, Viviane Reis de. **A prática de extensão na disciplina de laboratório de circuitos elétrico**. XLVI Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), Salvador/BA, 2018.

KIENTZ, Karl Heinz. **Análise de Circuitos: um enfoque de sistemas**. 2ed, Instituto Tecnológico de Areronaútica (ITA), São José dos Campos/SP, 2010.

JOHNSON, David E.; Hilburn, John L.; Johnson, Johnny R. **Fundamentos de análise de circuitos elétricos**. 4 ed, Prentice/Hall do Brasil, 1990.

BOYLESTAD, Robert L. **Introdução à análise de circuitos**. 12. ed, São Paulo/SP, 2012.

KIECKOW, Flávio; FREITAS, Denizard Batista de; e LIESENFELD, Janaina. **O Ensino e Aprendizagem na Engenharia: Realidade e Perspectiva**. XLV Congresso Brasileiro de Educação em Engenharia (COBENGE), 10p., Joinville/SC, 2017.

## EVALUATION OF THE PERCEPTION OF THE ENGINEERING STUDENT IN RELATION TO THE MAIN THEOREMS AND METHODS OF ANALYSIS OF ELECTRICAL CIRCUITS

**Abstract:** *Knowing the great importance of the competence development of the knowhow of analyzing and designing electrical circuits in the engineering courses that involve electricity (such as Electrical Engineering, Electronic Engineering, Control Engineering and Automation, among others), this article aims to perform a research to identify the difficulties encountered by students in applying the main theorems and methods of circuit analysis. As a secondary objective, it seeks to detect a relationship between the types of electric circuits and the choice of the theorems and the most adequate methods for their resolution. To this end, three circuits with different characteristics are proposed, which students of the Electrical Circuits and Circuits Analysis disciplines are invited to solve in three different ways and then answer a questionnaire that allows the identification of a possible relation between the choice, which prioritize a faster resolution and with less mathematical or computational effort, of a theorem or method with the type of circuit which counts on the presence of certain types of sources. Each of the proposed circuits has two independent sources, which can be voltage only, current only, or have both natures.*

**Key-words:** *Methods of Analysis of Circuits, Theorems of Circuits, Laws of Kirchhoff.*