



ESTUDO GERAL DE TRANSFORMADORES: ESTUDO DE CASO EM PAU DOS FERROS/RN

Murilo Carvalho Feitosa ¹
Davi Ferreira de Lima Silva ²
Bergson Rodrigo Siqueira de Melo ³
Otávio Paulino Lavor ⁴

RESUMO

O uso de transformadores vem ocorrendo desde antes da Segunda Guerra Mundial e está diretamente ligado a qualidade de energia elétrica que chega até os usuários, e também, de certa forma, à qualidade de vida. Existem dois tipos de transformadores: o transformador a seco e o transformador a óleo. O objetivo deste trabalho é apresentar os dois tipos de transformadores, detalhando os princípios de funcionamento, as perdas, entre outras, e fazer um estudo de caso na cidade de Pau dos Ferros sobre o custo da troca de todos os transformadores a óleo por transformadores a seco, mostrando possibilidades para que essa troca se torne vantajosa. Mostra-se neste trabalho as principais diferenças entre eles, e os prós e contras de forma clara e objetiva. Após isso, obtivemos dados coletados dos transformadores localizados em Pau dos Ferros. Constatou-se que os transformadores são apenas do tipo a óleo e então realizou-se um orçamento para obter o custo da substituição, visto que os transformadores do tipo seco são mais eficientes e vantajosos.

Palavras-chave: Transformadores a óleo, transformadores a seco, orçamento.

INTRODUÇÃO

Cada vez mais estamos em busca de uma melhor qualidade de vida. Dessa forma, tudo que se encontra ao nosso redor que pode influenciar para isso precisa de estudos e testes, como por exemplo, a energia elétrica, uma das coisas mais utilizadas por nós, precisa de um estudo e de um bom dimensionamento de condutores, transformadores, linha de transmissão, entre outras, para que chegue com qualidade até nós usuários. Relacionado a isso, abordaremos neste trabalho os tipos de transformadores, detalhando seus princípios de funcionamento, destacando qual o tipo mais viável e mais eficiente, entre outras características.

De acordo com a NBR 5356-1/2007, o transformador é definido da seguinte forma: Transformador é um equipamento estático com dois ou mais enrolamentos que, por indução

¹ Graduando do Curso de Engenharia Elétrica da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, murilocfeitosa@gmail.com;

² Graduando pelo Curso de Engenharia Civil da Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, davi_tali@hotmail.com;

³ Professor na Secretaria Municipal de Educação Fortaleza/CE, bergsonmelo@gmail.com;

⁴ Otávio Paulino Lavor: Doutor, Universidade Federal Rural do Semi-Árido - UFERSA, otavio.lavor@ufersa.edu.br.



eletromagnética, transforma um sistema de tensão e corrente alternadas em outro sistema de tensão e corrente, de valores geralmente diferentes, mas à mesma frequência, com o objetivo de transmitir potência elétrica.

Segundo Cabral *et al.* (2016), falar sobre transformadores de tensão é um assunto muito sério e que envolve bastante dinheiro, tanto quando se trata da compra quanto de manutenção. Este trabalho consiste em mostrar o funcionamento de tais assim como a diferença entre eles, custo e seus prós e contras. O transformador foi inventado por Michael Faraday em 1831.

Documentadamente, os primeiros transformadores foram os chamados “a seco”, na verdade não se utilizava esse termo, os primeiros transformadores eram constituídos por materiais sólidos que serviam de isolantes dos condutores, sendo esses tubos de tecidos de algodão impregnados em alcatrão e o papel, ou seja, eram transformadores a seco por não haver a utilização de óleo. Onde Cogo *et al.* (2018) diz que na década de 70 foi quando houve a utilização dos transformadores com meio isolante sólido, os transformadores ditos então a seco.

Assim houve uma certa popularização dos transformadores, dessa forma, surgiu uma certa necessidade de chegar a transformadores mais potentes, assim como maiores valores de tensão nominal, daí surge o transformador a óleo, pois para obter maiores potências precisaria de um material isolantes com maior rigidez dielétrica. Foi assim também que surgiu o tanque metálico juntamente com o óleo.

Finocchio *et al.* (2016) fala que o uso de transformadores se mostra muito importante para a utilidade pública, notamos o uso destes em diversos locais, como por exemplo, shoppings, hospitais, universidades, indústrias, etc. Ele permite que a tensão varie, seja para uma maior ou menor, com frequência constante, por meio da ação do campo magnético, o transformador também ajuda no transporte de energia de um local para outro, por conta da sua eficiência, transmissão e rapidez.

É muito comum vermos nos postes de rua, estes transformadores, na maioria das vezes próximos de grandes prédios comerciais ou locais de trabalho que demandam uma quantidade maior de carga, então essa proximidade ajuda na redução dos custos dos condutores de alimentação. Muitas vezes a escolha entre qual tipo escolher está mais relacionada ao custo do que o impacto ambiental, manutenção e o local onde se encontra, o que deveriam ser as prioridades para a escolha do tipo mais adequado, visando uma maior eficiência.

Abordamos neste trabalho uma metodologia de pesquisas bibliográficas, para entender o funcionamento dos transformadores, busca de dados na concessionária do Rio Grande do Norte para o estudo quantitativo de custos, e pesquisas de preços, para isso algumas empresas



foram contatadas, como a WEG, SIEMENS e a TOSHIBA, porém não obtivemos êxito, então recorreremos para preços aleatórios mas que são fundamentais.

Como dito, existem dois tipos de transformadores, transformadores a óleo e a seco, obviamente existem grandes diferenças entre eles, relacionadas tanto a custo, manutenção, como funcionamento, utilização, etc. Então, diante do exposto até aqui, este trabalho vem mostrar como funciona cada tipo deste, quanto custa, e fazer um estudo de caso na cidade de Pau dos Ferros no Rio Grande do Norte para mostrar a relação e o valor da troca de todos transformadores a óleo por a seco.

Os transformadores podem nos ajudar para a melhoria na qualidade de energia que chega até nós, porém, contrário a isso pode nos prejudicar caso haja um mau dimensionamento, ou por exemplo, a sua localização, em locais indevidos que algumas vezes podem oferecer riscos por estarem próximos de pessoas ou animais isso relacionado ao modelo a óleo, e ainda o mau descarte do óleo após a manutenção, entre outras desvantagens. Tudo isso depende de um estudo pertinente e adequado para a escolha da melhor solução. Com isso, quantos transformadores a óleo e a seco existem em Pau dos Ferros? Qual a diferença econômica para obter a troca dos transformadores a óleo por a seco?

METODOLOGIA

O trabalho é fundamentado em estudos e revisões bibliográficas acerca da análise de transformadores de tensão. No primeiro momento retrata todo o histórico ao qual o desenvolvimento do método de construção até ser definido e apresentado como conhecemos hoje, nos seus mais variados campos de atuação. Em seguida, é detalhado e exemplificado todo processamento de concepção necessária para entender seu funcionamento de forma geral.

No terceiro momento, descrevem-se os tipos e como os mesmos funcionam, bem como sua função e seus custos e a diferenciação em seus resultados. Seguidamente com alguns posicionamentos de autores sobre as suas funções e opiniões, com seus prós e contras.

Após todo o embasamento e encargo teórico, o trabalho irá seguir a partir da modelagem e análise do funcionamento dos dois tipos de transformadores de baixa tensão. Onde serão realizadas comparações com o modo funcionamento de tais, comparação da relação do custo de cada um, manutenção, eficiência e por fim um estudo de caso em Pau dos Ferros que se trata da relação econômica da troca de todos os transformadores à óleo por à seco.



REFERENCIAL TEÓRICO

Os transformadores são compostos no geral, por enrolamentos que são fios de cobre com seção circular ou quadrada cobertos por uma fina camada de esmalte; núcleo que é utilizado para reduzir perdas relacionadas, essas que segundo Santos, Lisita e Machado (2012) são estimadas pelas normas UL 1561-1994, UL 1562-1994 e pela IEEE Std C57.110-2008, e melhorar as características de magnetização, o núcleo é composto por um material ferromagnético em forma de chapas finas, que se encontram isoladas umas das outras que possuem silício em sua composição; tanque e meio refrigerante, é onde ficam armazenados o núcleo e os enrolamentos, que serve também de recipiente para o óleo isolante; e por último, os acessórios gerais, são eles, terminais, parafusos, tampas, buchas, radiadores, sensores, etc. que servem para auxiliar no funcionamento de um transformador.

De acordo com Finocchio *et al.* (2016), Transformadores são equipamentos utilizados para transferir energia de um lado do circuito para o outro, através de um fluxo magnético comum a ambos os lados.

E segundo Transformadores (2014), esses equipamentos são dispositivos destinados a transformar tensões, correntes e impedâncias. Tratam-se de dispositivos de corrente alternada que operam baseados nos princípios da Lei de Faraday detalhada a seguir.

Já de acordo com a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), um transformador é definido como um equipamento elétrico estático que, por indução eletromagnética, transforma tensão e corrente alternadas entre dois ou mais enrolamentos, sem mudança de frequência.

A seguir, na figura 1, temos imagens dos dois tipos de transformadores, a óleo e a seco.

Figura 1: Representação dos dois tipos de transformadores, a óleo e a seco, respectivamente.



Fonte: <https://www.sabereletrica.com.br/trafo-seco-x-oleo/>.



- Lei de Faraday

De acordo com Transformadores (2014), uma lei foi formulada em 1831 por Michael Faraday após uma série de experimentos. Faraday observou que a movimentação de uma espira condutora através de um campo magnético provindo de um ímã, o contrário também sendo verdadeiro, mover um ímã em uma espira condutora, gera uma corrente percorrendo na espira condutora. Essa corrente é proveniente dessa ação, onde nomeamos de corrente induzida pela variação do campo magnético. Faraday também descobriu que essa corrente era proporcional à taxa de variação no tempo do fluxo magnético. Na verdade, essa corrente é devida a uma tensão induzida no condutor, tensão essa chamada de *força eletromotriz induzida*, ou *f.e.m.* Essa força produzida nesse experimento pode ser escrita como:

$$f.e.m. = -\frac{d\Phi}{dt},$$

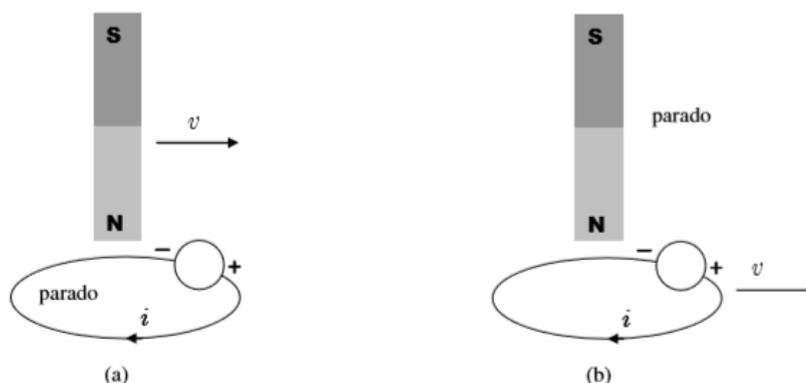
sendo Φ o fluxo através da espira condutora. Em geral o condutor é uma bobina de mais de uma espira. Então uma forma mais geral para a f.e.m., $e(t)$, é dada por:

$$e(t) = -N \left(\frac{d\Phi}{dt} \right) [V],$$

onde N é o número total de voltas da espira.

A figura a seguir trás a representação esquemática do fenômeno de indução, Lei de Faraday, onde a figura 2a) representa o momento em que a espira está parada e o ímã está em movimento com velocidade v gerando uma corrente na espira, e a figura 2(b) neste caso o ímã está parado e a espira em movimento com velocidade v e também há presença de corrente na espira.

Figura 2: Representação esquemática do fenômeno de indução (a) e (b) – Lei de Faraday.



Fonte: Transformadores (2014).



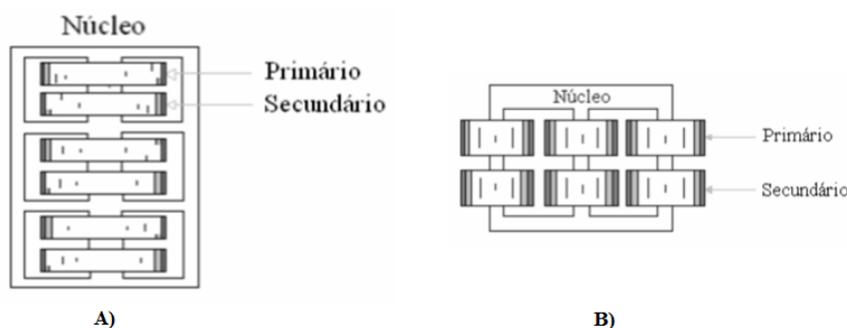
- Lei de Lenz

Uma lei foi proposta por Heinrich Lenz, partindo de resultados experimentais, diz que a corrente induzida se comporta sempre num sentido contrário ao sentido da variação do campo magnético que a gera, onde surge duas condições, a primeira está relacionada a diminuição do fluxo magnético e que implica na criação de um campo magnético direcionado no mesmo sentido do fluxo pela corrente induzida; a segunda diz que havendo o oposto da primeira, ou seja, caso aumente o fluxo magnético um campo magnético será criado num sentido contrário ao fluxo pela corrente induzida.

Como dito anteriormente, existem dois tipos de transformadores: o transformador a óleo e o transformador a seco.

Também chamado de transformadores com meio Isolante Sólido, os transformadores a seco, segundo Camargo (2005), foram os primeiros transformadores e surgiram por volta de 1880. O uso do óleo isolante (o outro tipo de transformador) em aparelhos de indução foi patenteado por David Brooks, da Filadélfia, em 1878. O emprego em transformadores foi introduzido por Elihu Thomson e foi inicialmente comercializado pela Westinghouse em 1886. O tipo de transformador a seco foi muito empregado em 1930 durante a Segunda Guerra Mundial, foram desenvolvidos materiais siliconados para satisfazer operações com temperaturas mais altas que aquelas permitidas para a classe de isolamento B, que era a classe do transformador em questão, então necessitava de alguns aprimoramentos para utilizá-lo nessas condições. O autor ainda diz que transformadores moldados em resina epóxi, reúnem todas as vantagens para a distribuição de energia elétrica, de forma mais econômica, segura, confiável e ecológica.

Figura 3: A) Transformador trifásico do tipo de núcleo envolvente; B) Transformador trifásico do tipo de núcleo envolvido.

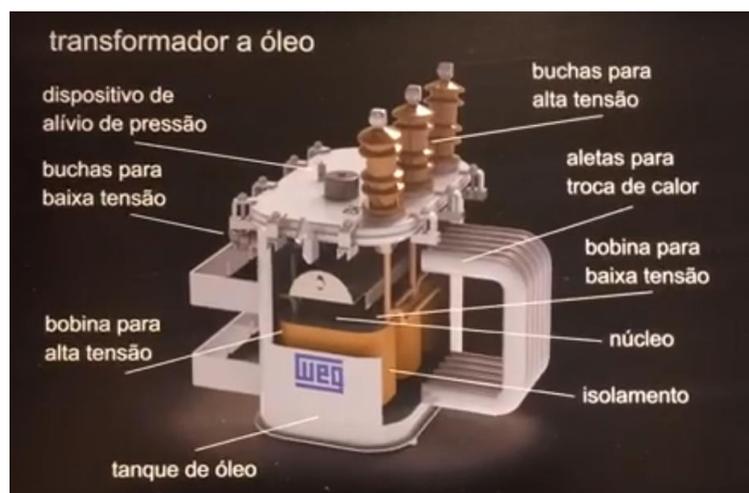


Fonte: Camargo (2005).



Já para os transformadores a óleo, Cabral (2016) relata que o uso do óleo como isolante se deu quando os transformadores se popularizaram e começaram a atingir maiores valores de potência, bem como maiores valores de tensão nominal, exigindo materiais isolantes de maior rigidez dielétrica. Nesse cenário, a adoção do óleo se deu ao mesmo tempo em que se adotou o tanque metálico, que possibilitou abrigar tanto a parte ativa do transformador quanto o seu isolante, o óleo, que também passou a exercer um papel importante na troca de calor, transportando-o desde as partes mais internas do transformador até o exterior, através de um circuito próprio, no qual canais internos e as aletas foram incorporados. O óleo isolante ganhou grande aceitação e predominou quase que totalmente por longos anos, durante a vigorosa expansão dos sistemas elétricos, em todo o mundo. A figura 4, a seguir vem detalhar internamente um transformador a óleo da marca WEG.

Figura 4: Detalhes de um transformador a óleo.



Fonte: Acervo de pesquisa, 2020.

Destaca Nogueira e Alves (2009), o material isolante extremamente utilizado e de grande importância é o óleo mineral, onde o núcleo e as bobinas ficam imersos. Podem existir materiais isolantes com propriedades dielétricas e térmicas superiores ao óleo mineral, porém um material que combine tudo isso com uma relação custo benefício melhor que o óleo mineral ainda não existe.

Agora veremos quais as principais diferenças entre esses dois tipos de transformadores, ou melhor, iremos resumir essas diferenças, para notarmos qual mais vantajoso. Como mostra a tabela 1, destacando os prós e contras relacionados, a custo, manutenção, instalação, entre outros.



Tabela 1: Prós e contras dos transformadores a óleo e a seco.

	SECO	ÓLEO
RESTRICÇÕES ECOLÓGICAS	Isento;	Contaminação por óleo isolante.
SEGURANÇA	Propriedades auto extingüíveis e sem propagação de chamas;	Utilização de material inflamável e risco de explosão.
CUSTO DE INSTALAÇÃO	Menor;	Maior.
INSTALAÇÃO	Habilitado para instalação interna, não necessita porta/parede corta fogo, necessita somente de um gabinete de proteção;	Interna ou externa é necessário a construção de uma sala especial.
MANUTENÇÃO	Isento de substituições;	Necessário substituir óleo isolante e guarnições periodicamente conforme cada fabricante.

Fonte: <https://www.sabereletrica.com.br/trafo-seco-x-oleo> (2018).

No mais, podemos perceber que os transformadores a seco possuem uma maior vantagem em relação ao seu uso, quando se trata de uso doméstico e/ou industrial. Mas o recomendado é analisar a norma citada acima.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A partir de uma pesquisa realizada na cidade de Pau dos Ferros, na concessionária responsável pela distribuição de energia elétrica no estado do Rio Grande do Norte (COSERN), obtivemos valores exatos da quantidade de transformadores utilizados em todo perímetro, zona rural e urbana. Vale ressaltar que os dados apresentados a seguir foram extraídos no dia 22/08/2019, e também que a concessionária não utiliza transformadores a seco na distribuição de rede, apenas em subestações particulares. Segue então, na tabela 2, a relação dos transformadores na cidade de Pau dos Ferros.



Tabela 2: Relação de transformadores na cidade de Pau dos Ferros.

POTÊNCIA [kVA]	LOCALIDADE	
	RURAL	URBANA
5	18	1
10	48	0
15	174	2
30	88	11
45	39	25
75	35	36
112,5	4	13
150	1	6

Fonte: Acervo de pesquisa, 2020.

Podemos perceber que o transformador a óleo com potência de 15 kVA pode ser considerado de certa forma “padrão”, ou seja, comparado as quantidades utilizadas pelos outros é em média 7,9 vezes mais utilizado. Com isso, vamos analisar então quanto custa a troca de todos esses transformadores a óleo por transformadores do tipo seco. Lembrando que os transformadores a seco necessitam de um ambiente em que os mesmos não podem estar expostos a umidade excessiva, ou seja, a céu aberto sujeito a chuva, e temperatura superior a 40 °C, com isso há um gasto a mais com um caixa protetora. A seguir temos uma tabela que mostra os preços dos transformadores pelas potências e pelo tipo de transformador.

Tabela 3: Preços de transformadores para cada potência utilizada.

POTÊNCIA (kVA)	PREÇO (R\$)	
	A SECO	A ÓLEO
5	996,00	950,00
10	1.682,00	1.350,00
15	1.999,00	1.600,00
30	3.790,00	3.900,00
45	4.500,00	4.400,00
75	7.000,00	7.200,00
112,5	15.800,00	8.200,00
150	19.000,00	10.200,00

Fonte: Acervo de pesquisa, 2020.



Na tabela acima podemos ver os preços de ambos os tipos de transformadores utilizados, por potência e tipo.

Tabela 4: Valor total dos transformadores a seco.

POTÊNCIA (kVA)	VALOR (R\$)
5	18.924,00
10	80.736,00
15	351.824,00
30	375.210,00
45	288.000,00
75	496.000,00
112,5	268.600,00
150	133.000,00
Total	2.012.294,00

Fonte: Autoria própria (2020).

Contudo, podemos perceber que para a troca de todos os transformadores a óleo por a seco geraria em média um gasto total de R\$ 2.012.294,00. Nota-se que é um valor bastante alto, uma solução é fazer a mudança em escala de prioridades, como por exemplo, locais de riscos de acidentes, ou seja, primeiro em locais onde o fluxo de pessoas é maior, depois em ruas de pouco movimento. Ou então, por utilidade, inicialmente começaria pela potência que é menos utilizada, ou o contrário, pela potência mais utilizada, já que os gastos com manutenção seriam reduzidos, se pararmos pra pensar na quantidade de transformadores do tipo óleo de 15 kVA, como discutido anteriormente, é a potência que consideramos padrão, os gastos com os transformadores desta potência seriam reduzidos ou pelo menos evitados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho abordou a lei de Faraday e a lei de Lenz, para entendermos o princípio de funcionamento dos transformadores e como eles influenciam na qualidade da energia elétrica que chega até o nós. De forma que, essa qualidade depende de um bom dimensionamento e também da qualidade do produto. Com tudo que foi mostrado é possível tirar uma conclusão de que os transformadores a seco possuem vantagens sob os a óleo, tanto ambiental como relacionado a manutenção, entre outras. Além disso, como os transformadores a seco podem



estar até mesmo próximos das pessoas, como por exemplo, dentro de uma empresa, é uma grande vantagem em relação aos do tipo a óleo.

Daí surge a ideia da troca dos transformadores do tipo óleo por do tipo seco. Isso daria maior segurança para as pessoas, geraria um maior conforto, de certa forma, para a concessionária responsável já que não precisaria de muita preocupação com manutenção, nem mesmo com poluição do meio ambiente, entre outras.

Os custos para a instalação dos transformadores do tipo seco são mais baratos que para os do tipo a óleo, mas como os a seco não podem estar expostos a céu aberto isso causa um acréscimo no gasto total, mas quando se olha as vantagens e os benefícios vale a pena realizar essa troca. Contudo, nosso objetivo foi concluído com êxito de forma clara, quando apresentamos a tabela 2, mostrando os dados da COSERN e também quando foi discutido o custo econômico para a realização da troca desses transformadores.

O enriquecimento do conhecimento dos transformadores pode ser maior, ou seja, este trabalho ele pode evoluir futuramente, quando se adquirir uma bagagem teórica maior, apresentando todos os tipos de perdas já que neste trabalho só apresentamos as principais e mais conhecidas, também definir formas de localização dos transformadores na cidade de Pau dos Ferros, de forma a serem mais eficientes, ou seja, fazer um projeto.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5356-1: Transformadores de potência: Generalidades**. Rio de Janeiro, p. 3. 2007.

CABRAL, Sérgio H. L. et al. **Transformadores a óleo e a seco**. 2016. Disponível em: <<http://iltech.com.br/blog/?p=1421>>. Acesso em: 06 set. 2019.

CAMARGO, Jelson Machado de. **Análise do desempenho térmico e vida útil de transformadores alimentando cargas não lineares**. 2005. 165 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciências, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2005.

COGO, João R. et al. **Análise de Transitórios Devido a Manobras de Disjuntores a Vácuo em Transformadores com Meio Isolante Sólido (A Seco)**. 2018. Disponível em: <https://www.researchgate.net/profile/Nelson_De_Jesus/publication/329468451_Analise_de_Transitorios_Devido_a_Manobras_de_Disjuntores_a_Vacu_o_em_Transformadores_com_Meio_Isolante_Solido_A_Seco/links/5c0a5e3fa6fdcc494fe0af85/Analise-de-Transitorios-Devido-a-Manobras-de-Disjuntores-a-Vacu-o-em-Transformadores-com-Meio-Isolante-Solido-A-Seco.pdf>. Acesso em: 24 dez. 2019.

FINOCCHIO, Marco Antonio Ferreira et al. **Transformador a Seco X Transformador a Óleo**. 2016. Disponível em: <<http://www.adeel.com.br/secovsoleo/>>. Acesso em: 06 set. 2019.



NOGUEIRA, Daniel da Silva; ALVES, Diego Prandino. **Transformadores de potência - teoria e aplicação: tópicos essenciais**. 2009. 212 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Elétrica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SAIBA qual Diferença entre Transformadores a Seco e a Óleo. 2018. Disponível em: <<https://www.sabereletrica.com.br/trafo-seco-x-oleo/>>. Acesso em: 01 jan. 2020.

SANTOS, C. R. dos; LISITA, L. R.; MACHADO, P. C. M. **Medição de Perdas em Transformadores Trifásicos do Tipo Seco Suprindo Cargas Não-Lineares**. 2012. Disponível em: <<http://www.swge.inf.br/anais/sbse2012/PDFS/ARTIGOS/97029.PDF>>. Acesso em: 24 dez. 2019.

TRANSFORMADORES: Teoria. Teoria. 2014. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/349452/mod_resource/content/2/Transformadores_Teo_2014%20%281%29.pdf>. Acesso em: 26 set. 2019.