

Análise Econômica da Utilização do Transformador de Potência Isolado a Óleo Vegetal em Relação ao Transformador Isolado a Óleo Mineral em Redes de Distribuição de Energia

Larissa S. Almeida*. Pablo R. Muniz**

**Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES (e-mail: larissac2@gmail.com).*

***Instituto Federal do Espírito Santo, Vitória, ES (e-mail: pablorm@ifes.edu.br)*

Abstract: The usage of power transformers is essential for ensuring the uninterruptedness of the electric power system. One of the components used in the transformer is the insulating oil, responsible for its insulation and cooling. With increasing environmental concern, a need to search alternatives for the isolation system of transformers arises, since insulating mineral oil comes from petroleum, therefore it is toxic, harmful to the environment and have low biodegradability. Current research has shown that insulating vegetable oil represents an alternative to be considered by electrical companies, for being a biodegradable fluid with high flash point and combustion, being characterized as a safer solution. This paper aims to analyze the economic advantages and disadvantages of using insulating vegetable oil compared to insulating mineral oil in the energy distribution system. It is concluded that the insulating vegetable oil presents many economic advantages, being attractive in relation to the traditional insulating mineral oil

Resumo: A utilização dos transformadores de potência é imprescindível para a continuidade de operação do sistema elétrico. Um dos componentes utilizados no transformador é o óleo isolante, responsável pelo seu isolamento e refrigeração. Com a crescente preocupação ambiental, viu-se a necessidade de buscar novas alternativas para o sistema de isolamento dos transformadores, uma vez que o óleo mineral isolante é proveniente do petróleo, considerado tóxico, nocivo ao ambiente e de baixa biodegradabilidade. Pesquisas atuais mostraram que o óleo vegetal isolante é uma alternativa a ser considerada por empresas do setor elétrico, por ser um fluido biodegradável, com ponto de fulgor e combustão elevados, sendo caracterizado como um fluido com maior segurança. O presente trabalho analisa as vantagens e desvantagens econômicas da utilização do óleo vegetal isolante comparado com o óleo mineral isolante em transformadores de redes de distribuição de energia. Conclui-se que o óleo vegetal isolante apresenta grandes vantagens econômicas, se mostrando atrativo em relação ao tradicional óleo mineral isolante.

Keywords: Distribution Transformers. Insulating Vegetable Oil. Insulating Mineral Oil.

Palavras-chaves: Transformadores de distribuição. Óleo Vegetal Isolante. Óleo Mineral Isolante.

1. INTRODUÇÃO

O consumo de energia elétrica vem crescendo consideravelmente devido ao desenvolvimento econômico e melhoria na qualidade de vida. Devido ao alto consumo desse tipo de energia, faz-se necessária a inserção de equipamentos mais eficientes em todo o seu processo de fornecimento, fazendo com que o consumo de energia apresente crescimento a taxas inferiores ao crescimento econômico, viabilizando-o. O equipamento que possui grande importância para o sistema elétrico de potência é o transformador, pois é responsável pela elevação ou diminuição da tensão elétrica das linhas de transmissão e redes de distribuição (Nogueira and Alves, 2009), representando cerca de 47% das perdas técnicas totais do sistema elétrico de potência brasileiro (Oliveira, 2009).

O principal componente de um transformador é sua parte ativa, composta de enrolamentos e núcleo. Vital para a parte ativa é seu sistema de isolamento. A fim de evitar a passagem de corrente entre as espiras de uma mesma bobina, são utilizados papéis isolantes ou outro isolante sólido. Durante a operação do transformador, a corrente que circula pelas espiras faz com que haja aquecimento devido a sua resistência elétrica. O calor gerado pode causar degradação térmica do material isolante contido entre as espiras. Desse modo, é necessária a utilização de fluidos isolantes para a refrigeração das espiras de material condutor (Datalink, 2016). Na atualidade, o óleo mineral é o fluido dielétrico mundialmente mais utilizado no setor elétrico (Wilhelm, Tulio and Uhren, 2009).

O transformador de potência isolado a óleo mineral surgiu em 1882 com a ideia de que uso do óleo mineral contribuiria na redução do tamanho do equipamento e na melhoria de sua

eficiência, comparado com os primeiros transformadores a seco.

O transformador de potência isolado a óleo vegetal surgiu na mesma época que o transformador de potência isolado a óleo mineral. Porém, nos primeiros experimentos, os óleos vegetais se mostraram menos atrativos do que os óleos minerais devido a sua estabilidade de oxidação, permissividade, ponto de fluidez e viscosidade distintas. Por volta de 1999 foram desenvolvidos óleos vegetais apropriados para a aplicação em transformadores de potência (Wilhelm, Tulio and Uhren, 2009).

O óleo mineral é um fluido inflamável e que tem alto potencial de agressão ao meio ambiente. Além da preocupação em relação ao meio ambiente, concessionárias de energia também buscam por características que influenciam na eficiência de operação, segurança contra explosões e incêndios, e extensão da expectativa de vida útil,

Devido ao alto ponto de combustão do Óleo Vegetal Isolante (em torno de 300 °C a 360 °C) acima do mínimo exigido para fluidos isolantes de alto ponto de combustão, o OVI se torna um fluido considerado resistente ao fogo. Ensaio realizado pela Cargill mostraram que a probabilidade de um incêndio evoluir a partir do OVI é tão baixo que a taxa de liberação de calor não precisou ser determinada ou considerada para aprovação de uso por uma das maiores seguradoras especializadas em serviços de prevenção de perdas, a FM Global (Underwriters Laboratories, 2017).

Apesar do baixo custo de implementação do transformador de distribuição isolado a óleo mineral, o transformador isolado a óleo vegetal apresenta melhores vantagens em relação a extensão de vida útil (Simone, 2017), o que poderá implicar em menos investimentos em relação a troca do transformador ao longo do tempo devido a falhas de operação, como sobrecarga.

Dessa forma, este trabalho tem como objetivo analisar as vantagens e desvantagens econômicas da utilização do transformador de distribuição isolado a óleo vegetal em relação ao transformador de distribuição isolado a óleo mineral.

2. METODOLOGIA

A fim de se avaliar as eventuais vantagens e desvantagens econômicas da aplicação do óleo vegetal isolante em transformadores de potência em relação ao óleo mineral isolante, foram analisados 4 cenários diferentes, conforme mostrado na Tabela 1.

A consideração da multa ambiental se deu pelo fato de que o derramamento de óleo mineral isolante no meio ambiente, em função de eventual acidente operacional do transformador, pode acarretar impactos negativos e às vezes irreparáveis, o que poderá acarretar contaminação dos solos e rios. Por isso, a organização responsável pelo transformador deverá arcar com os danos necessários e promover ações de recuperação ambiental da área afetada.

A consideração da sobrecarga do transformador, se dá devido a possibilidade de se utilizar um transformador isolado a óleo vegetal operando “em sobrecarga” e mesmo assim ele ter a mesma vida útil que um transformador que utiliza óleo mineral operando em plena carga. Isso se dá pelo fato de que a taxa de degradação do papel *kraft* imerso em óleo mineral submetido a uma temperatura máxima (temperatura do ponto mais quente) seria equivalente à taxa de degradação do papel *kraft* imerso em óleo vegetal com uma temperatura superior em 20 °C (Vasconcellos *et al.*, 2018).

Tabela 1. Cenários das análises econômicas

| Cenários | Descrição |
|----------|---|
| 1 | Análise econômica com probabilidade de multa ambiental ao transformador isolado a óleo mineral e transformador isolado a óleo vegetal em condições operacionais normais |
| 2 | Análise econômica sem aplicação de multa ambiental ao transformador isolado a óleo mineral e transformador isolado a óleo vegetal em condições operacionais normais. |
| 3 | Análise econômica do transformador isolado a óleo vegetal em sobrecarga e probabilidade de multa ambiental ao transformador isolado a óleo mineral. |
| 4 | Análise econômica do transformador isolado a óleo vegetal em sobrecarga e a não aplicação de multa ambiental ao transformador isolado a óleo mineral. |

A Tabela 2 traz os parâmetros utilizados na análise econômica da utilização dos dois tipos de óleo isolante. A multa ambiental foi calculada com base em um incidente ocorrido em Santa Catarina no ano de 2012, no qual as Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), foi multada pelo vazamento de 12 mil litros de óleo mineral isolante em uma de suas subestações. A indenização paga pela CELESC foi de aproximadamente R\$ 2.000.000 (Garcia, 2014). Buscou-se uma forma de se quantificar a multa ambiental para o derramamento de óleo através da legislação. No entanto, os dados são de difícil acesso e específicos para cada tipo de vazamento. Dessa forma, utilizou-se o caso da CELESC para quantificar o possível valor da multa ambiental, no caso de derramamento do óleo mineral. Por isso, a multa ambiental específica por litro de óleo dos transformadores estudados será igual à multa paga pela CELESC dividida pela quantidade de litros derramado.

Tabela 2. Parâmetros de entrada para os cálculos de investimento

| Parâmetros | Valores |
|---|-----------|
| Multa ambiental [R\$/litro] | R\$ 1.667 |
| Quantidade de transformadores na rede de distribuição | 145.150 |
| Quantidade de Vazamentos [a.a] | 7 |
| Probabilidade de ocorrência da multa em um transformador durante um ano de operação | 0,0048% |

Para estimativa da probabilidade de ocorrência da multa ambiental por vazamento de óleo mineral isolante, foram explorados dados históricos relativos a esse tipo de ocorrência. A quantidade de transformadores da rede de distribuição e a quantidade de vazamentos em transformadores de potência em um período de 12 meses, entre os meses de junho/2018 a junho/2019, foram obtidas conforme dados fornecidos pela Distribuidora EDP ES, do Espírito Santo. A probabilidade da multa é a quantidade de vazamentos dividido pela quantidade de transformadores de distribuição do sistema elétrico de potência.

Os custos dos dois tipos de transformadores foram fornecidos no mês outubro/2019 pelo fabricante ITAIPU transformadores, conforme mostra Tabela 3.

Tabela 3. Valores dos transformadores de potência isolados a óleo mineral versus óleo vegetal

| Potência (kVA) | Transformador Isolado a Óleo Mineral (R\$) | Quantidade de óleo mineral (L) | Transformador Isolado a Óleo Vegetal (R\$) |
|----------------|--|--------------------------------|--|
| 30 | R\$ 4.104 | 78 | R\$ 4.350 |
| 45 | R\$ 4.875 | 106 | R\$ 5.168 |
| 75 | R\$ 6.188 | 145 | R\$ 6.560 |
| 112,5 | R\$ 7.749 | 148 | R\$ 8.214 |
| 150 | R\$ 9.772 | 165 | R\$ 10.360 |
| 225 | R\$ 13.055 | 242 | R\$ 13.840 |
| 300 | R\$ 15.876 | 267 | R\$ 16.830 |

Para análise econômica das duas alternativas, transformador isolado a óleo mineral e transformador isolado a óleo vegetal, foi utilizado o parâmetro Valor Presente. Para o fluxo de caixa, foram considerados:

- desembolso inicial para aquisição do transformador novo, conforme Tabela 3;
- prazo de análise conforme a maior vida útil estimada para os transformadores: 20 anos para transformador a óleo mineral, 40 anos para transformador a óleo vegetal sem sobrecarga, e 20 anos para transformador a óleo vegetal em sobrecarga de aproximadamente 60% (Mendes, 2008; Vasconcellos *et al.*, 2018);
- taxa de desconto igual à taxa do Sistema Especial de Liquidação e de Custódia (Selic) do Banco Central do Brasil, vigente em novembro de 2019, de 5,00% ao ano (Banco Central do Brasil, 2019);
- desembolsos ao longo da operação do transformador com eventuais multas ambientais, conforme descrito nos cenários da Tabela 1;
- desembolsos com substituição de transformador a óleo mineral quando comparado ao transformador a óleo vegetal com maior vida útil, conforme descrito nos cenários da Tabela 1.

A quantidade de litros de óleo foi analisada para o óleo mineral, pois considerou-se que a multa ocorreria somente para esse tipo de óleo isolante, uma vez que ele não é biodegradável e é prejudicial ao meio ambiente. O custo potencial da multa ambiental é determinado conforme (1).

Custo potencial de multa ambiental [R\$] = (1)
(Prob.Multa)/ano × vida útil × valor de referência da multa

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Primeiramente, analisou-se o cenário 1, onde foi considerada a probabilidade de multa ambiental para transformadores de distribuição que utilizam óleo mineral. Como o transformador isolado a óleo vegetal isolante possui o dobro da vida útil do transformador isolado a óleo mineral (Mendes, 2008), considerou-se que haverá a troca do transformador isolado a óleo mineral após 20 anos de operação. Relembrando-se que o transformador isolado a óleo vegetal possui vida útil de aproximadamente 40 anos (o dobro da vida útil do transformador que utiliza óleo mineral isolante). A Tabela 4 mostra os resultados obtidos da análise econômica com consideração de multa ambiental ao transformador isolado a óleo mineral. Os valores utilizados na análise foram todos em valor presente (VP).

Tabela 4. Cenário 1: Probabilidade de multa ambiental para transformadores que utilizam Óleo Mineral

| Item de análise | Transformador Isolado a Óleo Mineral | Transformador Isolado a Óleo Vegetal |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|
| Custo unitário do transformador | R\$ 6.188 | R\$ 6.560 |
| Potência [kVA] | 75 | 75 |
| Vida útil esperada [anos] | 20 | 40 |
| Quantidade de óleo em caso de derramamento [L] | 145 | - |
| Custo potencial de multa ambiental | R\$ 233 | - |
| Custo da troca do transformador | R\$ 6.188 | R\$ 0,0 |
| Prazo de análise [anos] | 40 | 40 |
| Custo Total (VP) | R\$ 12.609 | R\$ 6.560 |

Os resultados obtidos através do Cenário 1 (Tabela 4) mostraram que inicialmente o investimento do transformador isolado a óleo vegetal isolante é mais alto. No entanto, considerando o prazo de análise como a vida útil do transformador isolado a óleo vegetal, observa-se que os custos referentes ao transformador isolado a óleo mineral aumentam, pois haverá a troca desse transformador e uma possível multa pelo vazamento do OMI (Óleo Mineral Isolante). O Valor Presente (VP) do investimento com a aplicação do OVI (Óleo Vegetal Isolante) é de

aproximadamente R\$ 6.049 menor, ou 48% menor que o VP do transformador isolado a OMI.

Para o Cenário 2 é feita uma análise econômica sem aplicação de multa ambiental ao transformador isolado a óleo mineral, que pode ser vista na Tabela 5.

Os resultados mostrados na Tabela 5 indicam que primeiramente existe um investimento maior na implantação do transformador isolado a óleo vegetal. No entanto, ao longo do período analisado é verificado que existe uma troca do transformador isolado a óleo mineral – devido a sua vida útil ser menor do que o transformador isolado a óleo vegetal –, que implica em mais investimentos. O Valor Presente (VP) do investimento com a aplicação do OVI é de aproximadamente R\$ 5.816 menor, ou 47% menor que o VP do transformador isolado a OMI.

Para o Cenário 3 é feita uma análise do transformador isolado a óleo vegetal operando continuamente em sobrecarga e consideração de multa ambiental ao transformador isolado a óleo mineral, o que pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 5. Cenário 2: Sem multa ambiental para transformadores que utilizam Óleo Mineral

| Item de análise | Óleo Mineral | Óleo Vegetal |
|---------------------------------|--------------|--------------|
| Custo unitário do transformador | R\$ 6.188 | R\$ 6.560 |
| Potência [kVA] | 75 | 75 |
| Vida útil [anos] | 20 | 40 |
| Custo da troca do transformador | R\$ 6.188 | - |
| Prazo de análise [anos] | 40 | 40 |
| Custo Total (VP) | R\$ 12.376 | R\$ 6.560 |

A escolha pelo transformador em sobrecarga se deu pelo fato de que se pode utilizar transformadores de potência isolados a óleo vegetal com menor potência operando em sobrecarga, situação na qual terá potência e expectativa de vida equivalentes ao transformador que utiliza OMI. Os resultados expostos na Tabela 5 apresentam os investimentos da aplicação de transformadores que utilizam OVI e OMI, no qual o OVI possui um investimento mais baixo devido a utilização do transformador de menor potência nominal. Como a expectativa de vida útil do transformador que utiliza OVI será a mesma do transformador a OMI, não haverá substituição de transformadores, pois o prazo de análise será baseado na expectativa de vida dos dois transformadores (que será igual). Ao fim da análise tem-se que o Valor Presente do investimento no transformador a OVI é R\$ 1.253 menor, ou 18%, menor que o VP do investimento no transformador a OMI.

Para o Cenário 4 é feita uma análise do transformador isolado a óleo vegetal em sobrecarga e a não aplicação de multa

ambiental ao transformador isolado a óleo mineral, o que pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 6. Cenário 3: Probabilidade de multa ambiental para transformadores que utilizam Óleo Mineral e Transformadores a Óleo Vegetal em sobrecarga

| Item de análise | Óleo Mineral | Óleo Vegetal |
|--|--------------|--------------|
| Custo unitário do transformador | R\$ 6.188 | R\$ 5.168 |
| Potência [kVA] | 75 | 45 |
| Vida útil [anos] | 20 | 20 |
| Quantidade de óleo em caso de derramamento [L] | 145 | - |
| Custo potencial de multa ambiental | R\$ 233 | - |
| Prazo de análise [anos] | 20 | 20 |
| Custo Total (VP) | R\$ 6.421 | R\$ 5.168 |

Tabela 7. Cenário 4: Sem multa ambiental para transformadores que utilizam Óleo Mineral e Transformadores a Óleo Vegetal em sobrecarga

| Item de análise | Óleo Mineral | Óleo Vegetal |
|---------------------------------|--------------|--------------|
| Custo unitário do transformador | R\$ 6.188 | R\$ 5.168 |
| Potência [kVA] | 75 | 45 |
| Vida útil [anos] | 20 | 20 |
| Prazo de análise [anos] | 20 | 20 |
| Custo Total (VP) | R\$ 6.188 | R\$ 5.168 |

Os resultados expostos na Tabela 7 apresentam os investimentos da aplicação de transformadores que utilizam OVI e OMI, onde o OVI mais uma vez possui um investimento mais baixo devido a utilização do transformador de menor potência nominal, assim como no Cenário 3 exposto na Tabela 6. Ao fim da análise tem-se o Valor Presente do investimento no transformador a OVI é R\$ 1.020 menor, ou 16% menor que o VP do investimento no transformador a OMI.

A análise econômica foi realizada também para transformadores com potências de (75; 112,5; 150 e 300) kVA, conforme mostrado na Tabela 8.

Os resultados expostos na Tabela 8 mostram que a aplicação dos transformadores de potência isolados a óleo vegetal é uma alternativa economicamente viável, uma vez que para todos os cenários avaliados esses transformadores apresentam vantagens econômicas em relação aos transformadores isolados a óleo mineral. Nos cenários mais conservadores,

menos favoráveis ao transformador a OVI, o Valor Presente (VP) de seu fluxo de caixa operacional é cerca de 15% inferior ao transformador a OMI. Nos casos de cenários menos conservadores, mais favoráveis ao transformador a OVI, o Valor Presente é quase 50% inferior ao do transformador a OMI. Não à toa, diversas distribuidoras de energia elétrica estão empregando o transformador a OVI em suas redes, notadamente: Companhia Paulista de Força e Luz (CPFL Energias), Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG), Centrais Elétricas de Santa Catarina (CELESC), Energias de Portugal (EDP), Companhia Estadual de Energia Elétrica (CEEE), Companhia Paranaense de Energia (COPEL), LIGHT e Ente Nazionale per L'energia Elettrica (Enel Distribuição de São Paulo) (Martins, 2017).

Tabela 8. Valor presente no transformador a OVI analisado em 4 diferentes potências do transformador

| Cenário | Potência do Transformador [kVA] | VP no transformador a OMI [R\$] | VP no transformador a OVI [R\$] | Diferença percentual (%) |
|---------|---------------------------------|---------------------------------|---------------------------------|--------------------------|
| 1 | 75 | R\$ 12.609 | R\$ 6.560 | 48 |
| 2 | 75 | R\$ 12.376 | R\$ 6.560 | 47 |
| 3 | 75 | R\$ 6.421 | R\$ 5.168 | 19 |
| 4 | 75 | R\$ 6.188 | R\$ 5.168 | 16 |
| 1 | 112,5 | R\$ 15.736 | R\$ 8.214 | 48 |
| 2 | 112,5 | R\$ 15.498 | R\$ 8.214 | 47 |
| 3 | 112,5 | R\$ 7.987 | R\$ 6.560 | 18 |
| 4 | 112,5 | R\$ 7.749 | R\$ 6.560 | 15 |
| 1 | 150 | R\$ 19.809 | R\$ 10.360 | 48 |
| 2 | 150 | R\$ 19.544 | R\$ 10.360 | 47 |
| 3 | 150 | R\$ 10.037 | R\$ 8.214 | 18 |
| 4 | 150 | R\$ 9.772 | R\$ 8.214 | 16 |
| 1 | 300 | R\$ 32.181 | R\$ 16.830 | 48 |
| 2 | 300 | R\$ 31.752 | R\$ 16.830 | 47 |
| 3 | 300 | R\$ 16.305 | R\$ 13.840 | 15 |
| 4 | 300 | R\$ 15.876 | R\$ 13.840 | 13 |

6. CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo analisar as vantagens e desvantagens econômicas da utilização do transformador de distribuição isolado a óleo vegetal em relação ao transformador de distribuição isolado a óleo mineral, onde foram avaliados os custos de implantação, troca do

transformador e multa ambiental, caso haja derramamento de óleo.

Conforme constatado nos 4 cenários analisados, viu-se que a implantação do transformador de potência que utiliza OVI em comparação com o OMI é viável, uma vez que os resultados analisados para as diferentes potências e diferentes cenários se mostraram positivos e o investimento aplicado inicialmente tem retorno ao longo dos anos.

A aplicação da multa ambiental mostrou-se irrelevante ao custo final da análise econômica nos cenários que a incluem. Pode-se verificar que o transformador isolado a óleo vegetal possui vantagens também do ponto de vista técnico, pois sua vida útil é estendida devido a sua característica de alto ponto de combustão.

Por fim, pode-se concluir que a utilização do OVI em transformadores de potência apresenta mais vantagens do ponto de vista econômico, visto que a preocupação eficiência e continuidade no fornecimento de energia vem crescendo por parte das concessionárias de energia. O OVI tem sido cada vez mais utilizado e poderá ser o futuro das instalações elétricas.

REFERÊNCIAS

- Banco Central do Brasil (2019) *Taxa Selic - Dados diários*. Available at: <https://www.bcb.gov.br/htms/SELIC/SELICdiarios.asp?frame=1> (Accessed: 24 March 2020).
- Datalink (2016) *Funções do óleo isolante para transformador*. Available at: <http://datalink.srv.br/artigos-tecnicos/funcoes-do-oleo-isolante-para-transformador/> (Accessed: 24 March 2020).
- Garcia, F. M. C. (2014) 'Os impactos econômicos e os danos socioambientais do vazamento de asfalteno na capital de Santa Catarina – Brasil', in Haonat, A. I., Rezende, E. N., and Saleme, E. R. (eds) *Direito Ambiental V: XXIII Congresso Nacional do CONPEDI*. Florianópolis: COPENDI, pp. 336–350. Available at: <http://publicadireito.com.br/publicacao/ufpb/livro.php?gt=240>.
- Martins, C. (2017) 'Estudo para Utilização de Óleo Vegetal em Transformadores Subterrâneos Redes Subterrâneas', in *XIII Expo & Fórum - Redes Subterrâneas de Energia Elétrica*. São Paulo.
- Mendes, J. C. (2008) 'BIOTEMP - Óleo Vegetal da ABB - Aplicação em Transformadores de Potência em Alta Tensão'. Rio de Janeiro: CEPTEL.
- Nogueira, D. da S. and Alves, D. P. (2009) *Transformadores de potência - Teoria e aplicação - Tópicos essenciais*. UFRJ.

Oliveira, M. E. de (2009) *Avaliação de Metodologias de Cálculo de Perdas Técnicas em Sistemas de Distribuição de Energia Elétrica*. UNESP.

Simone, G. (2017) *O uso de óleo vegetal em transformadores de distribuição de energia elétrica*. UFSC. Available at:
<https://repositorio.ufsc.br/xmlui/handle/123456789/182225>.

Underwriters Laboratories (2017) 'UL 340 - Standard for Tests for Comparative Flammability of Liquids', *UL LLC*. Available at:
https://standardscatalog.ul.com/standards/en/standard_340.

Vasconcellos, V. et al. (2018) 'Increased Loadability of Transformers Using Natural Ester and Cellulosic Materials as High Temperature Insulation Systems', *IEEE Electrical Insulation Magazine*. IEEE, 34, pp. 8–17. doi: 10.1109/MEI.2018.8445430.

Wilhelm, H. M., Tulio, L. and Uhren, W. (2009) 'Produção e uso de óleos vegetais isolantes no setor elétrico', *Engenharia*, 592, pp. 120–124. Available at:
http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao592/Art_Eng_Eletrica_2.pdf.