



ANÁLISE DA VIABILIDADE DE SUBSTITUIÇÃO DO ÓLEO MINERAL ISOLANTE PELO ÓLEO VEGETAL ISOLANTE NA FABRICAÇÃO DE TRANSFORMADORES: ESTUDO DE CASO

Edilson Nahirnei Miss – edilsonnahirnei@hotmail.com

Fundação Universidade Regional de Blumenau, Curso de Engenharia de Produção
Rua São Paulo, 3250 – Campus II, Sala A006
89030-000 – Blumenau – Santa Catarina

Rodrigo Catafesta Francisco – rodrigoconfrancisco@gmail.com

Fundação Universidade Regional de Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Rua São Paulo, 3250 – Campus II, Sala I103
89030-000 – Blumenau – Santa Catarina

Jaqueline Hertel – jaquelinehertel@gmail.com

Fundação Universidade Regional de Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Joel Dias da Silva – dias_joel@hotmail.com

Fundação Universidade Regional de Blumenau, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

Resumo: A sustentabilidade tem sido um dos temas mais comentados pela sociedade, sendo assim, empresas buscam cada vez mais inovações em seus produtos para continuar na ponta de seus segmentos de negócio. A indústria de transformadores utiliza o óleo mineral isolante (OMI), derivado do refino de petróleo classificado como tóxico e não biodegradável, com o potencial de contaminar o solo e lençóis freáticos, em caso de derramamentos no meio ambiente. Diante disto, objetivou-se analisar a viabilidade técnica na substituição do OMI pelo óleo vegetal isolante (OVI) na fabricação de transformadores. A metodologia utilizada foi um estudo de caso dentro de um recorte histórico em uma empresa de transformadores, e então um estudo de campo dentro da mesma empresa confrontando os dados com artigos científicos e informações fornecidas pela empresa Cargill, fabricante e distribuidora de OVI para a empresa objeto de estudo. Verificou-se que, a utilização de OVI em seus transformadores, tem aumentado, chegando a um consumo de 5,21% em relação ao consumo total de óleo isolante no ano de 2014, seguindo a tendência do mercado em substituir o OMI pelo OVI. Esta substituição traz muitos benefícios, tanto para o meio ambiente quanto para as indústrias quando utilizado, como por exemplo, os transformadores que utilizam OVI se tornam menos vulneráveis ao fogo devido ao ponto de fulgor ser de 330°C e combustão ser de 360°C, contra 147°C de fulgor e 165°C de combustão do OMI.

Palavras-chave: Transformadores. Óleo isolante. Óleo mineral isolante. Óleo vegetal isolante. Substituição



ANALYSIS OF THE FEASIBILITY OF MINERAL OIL REPLACEMENT INSULATION BY VEGETABLE OIL INSULATION IN TRANSFORMERS MANUFACTURING: A STUDY CASE

Abstract: Sustainability has been one of the most talked about topics for society, therefore, companies increasingly seek innovations in their products to continue at the end of its business segments. The transformer industry uses the mineral insulating oil (IMO), derived from petroleum refining classified as toxic and not biodegradable, with the potential of contaminating the soil and groundwater, in the event of spillage in the environment. In view of this, we aimed to analyze the technical feasibility of replacing the IMO by insulating vegetable oil (IFO) in the manufacture of transformers. The methodology used was a case study in a historical period in a transformer company, and then a field of study within the same company comparing the data with scientific articles and information provided by the Cargill company, manufacturer and distributor of OVI for the company study object. It has been found that the use OVI on their processors has increased, reaching a consumption of 5.21% relative to the total consumption of insulating oil in 2014, following the market trend to replace the IMO by OVI. This substitution brings many benefits both for the environment and for industry when used, such as processors using OVI become less vulnerable to fire due to the flash point be 330 ° C and flue be 360 ° C against 147 ° Flash C and 165 ° C combustion of OMI.

Keywords: Transformers. Insulating oil. Insulating mineral oil. Insulating vegetable oil. Replacement.

1. INTRODUÇÃO

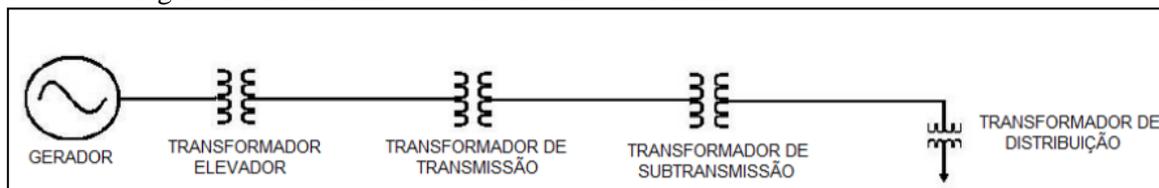
As atividades indústrias sempre foram vistas como impactantes ao meio ambiente, deste modo, as indústrias buscam cada vez mais por alternativas onde a variável ambiental se insere, fazendo com que as empresas incorporem em seus planos estratégicos, uma produção mais sustentável. Uma das definições mais difundidas do conceito sustentabilidade diz que o desenvolvimento sustentável é aquele que atende a todas as necessidades do presente, sem comprometer as possibilidades de as gerações futuras atenderem suas próprias necessidades (BARBOSA, 2015). Entretanto sustentabilidade é basicamente suportar o consumo de maneira adequada para manter a existência dos seres vivos do presente e do futuro.

Conforme Soares (2013), existe uma tendência global entre as empresas impulsionadas pelo surgimento de novas legislações, que estimulam cada vez mais o uso de materiais que causem menos danos ambientais e à saúde, de modo que estas busquem novas técnicas fabris para continuar na ponta de seus segmentos de negócios.

Silva *et al.* (2011), explicaram que os transformadores são equipamentos de extrema importância nos sistemas de conversão e distribuição de energia elétrica estando presentes desde a planta geradora, elevando a tensão para níveis adequados à transmissão a longas distâncias, até a distribuição, reduzindo a tensão para níveis de consumo residencial. Tal aplicabilidade faz dos transformadores os equipamentos mais importantes do sistema elétrico de potência.

Segundo a norma brasileira NBR 5356 (ABNT, 2014), transformador é um equipamento elétrico que por indução eletromagnética, transforma entre dois ou mais enrolamentos tensão e corrente alternadas sem mudança de frequência. No sistema elétrico há diferentes tipos de transformadores com finalidades específicas, conforme ilustrado na Figura 1.

Figura 1 – Transformadores no sistema de transmissão



Fonte: Benetti (2012).

O óleo isolante presente no transformador atua no aumento da rigidez dielétrica, sendo responsável pelo isolamento das superfícies metálicas nuas, impregnação do isolamento sólido do transformador, bem como de dissipador de calor, resfriando o equipamento (BERTACI, 2014).

Um resfriamento eficiente é primordial em equipamentos elétricos, sendo uma das partes principais dos transformadores o seu sistema de isolamento, que hoje basicamente utiliza o Óleo Mineral Isolante (OMI) derivado de petróleo obtido pela sua destilação, correspondendo à fração obtida entre 300 a 400 °C. A eficácia do OMI é reconhecida tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. Porém, do ponto de vista ambiental no caso de acidentes com vazamentos ou derramamentos do OMI, podem ocorrer impactos ambientais significativos para a sociedade e consideráveis impactos econômicos para a indústria (SILVA, 2013).

A popularidade do OMI nesta aplicação se deve, à disponibilidade, ao baixo custo e às suas excelentes propriedades dielétricas e refrigerantes. Porém preocupações da sociedade com o planeta, e diante de apelos por fontes de energia renovável pressionaram as indústrias a apresentar alternativas ao OMI.

A partir do século XX com o surgimento de alguns problemas de segurança ambiental com os fluidos dielétricos de origem mineral se tornou extremamente atrativo e importante o uso de produtos com alta biodegradabilidade. Na sequência com a escassez do petróleo as grandes companhias mundiais do setor elétrico passaram a buscar alternativas para substituição do OMI. Desde então, algumas patentes foram publicadas levando ao desenvolvimento do óleo vegetal isolante (OVI).

Autores como NAVARRO et al. (2011), explicam que a substituição do OMI pelo OVI é uma forma de contribuir para a sustentabilidade. Tendo uma maior eficiência e aprimoramento ambiental, a utilização do OVI em transformadores se mostra como uma das melhores soluções em sustentabilidade. O tema proposto é uma análise da viabilidade quando utilizado o OVI em transformadores em substituição ao OMI, comparando as vantagens quando realizado a troca deste material isolante, deixando assim a empresa caracterizada como empresa verde e mais sustentável por estar utilizando o então chamado "óleo do futuro" (WILHELM, 2009).

Este forte interesse das indústrias pela substituição do OMI por OVI se deu devido a questões ambientais e suas boas características isolantes. São óleos com uma elevada resistência ao fogo, flash point da ordem dos 330 °C e cujas propriedades ambientais, químicas, elétricas e de segurança contra incêndio lhe conferem o estatuto de "óleo do futuro". Estes óleos ainda são 97% biodegradável em 21 dias tendo uma enorme diferença quando comparado ao OMI que queima aos 160 °C e sua biodegradabilidade é de apenas 25,2% para o mesmo intervalo de tempo levando 15 anos para ser totalmente degradado (SILVA et al., 2011).

Outro fator determinante para se buscar a substituição do OMI é a sua alta contaminação em caso de falhas ou vazamento em transformadores. Por exemplo, 1 kg de OMI, que tenha vazado de um transformador para um reservatório, torna cinco milhões de litros de água impróprios para consumo (FRIEDENBERG; SANTANA, 2014).

O OVI ainda possui outras vantagens onde é possível ampliar a potência do transformador que utiliza este material isolante (SILVA et al., 2011). O OVI tem alta afinidade com a água, provocando a migração da água presente na isolação sólida para o líquido, implicando numa diminuição da umidade na isolação sólida, e aumento de vida útil da mesma como consequência (FRIEDENBERG; SANTANA, 2014).



O OVI tem se mostrado uma boa alternativa na indústria de transformadores, mais precisamente em locais onde a proteção ambiental é mais requerida, uma vez que eliminado bacias de contenções e inserido no meio ambiente equipamentos com maiores resistências ao fogo. Quando utilizado o OVI consegue-se ganhos financeiros para as empresas com redução nos valores dos seguros, pois o OVI torna o transformador menos inflamável em comparação ao OMI (GÓMEZ, 2013).

A legislação ambiental fornece parâmetros que balizam o empreendimento, assim como permite a identificação das ações de manejo ambiental que deverão ser realizadas pelo empreendedor, beneficiário e demais agentes envolvidos, para estar em conformidade com a legislação. O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) no uso das atribuições previstas na lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981, alterada pelas leis nº 7.804, de 18 de julho de 1989, e nº 8.028, de 12 de abril de 1990, e regulamentada pelo decreto nº 99.274, de 06 de junho de 1990, e no regimento interno aprovado pela Resolução CONAMA nº 025, de 03 de dezembro de 1986, estabelece definições e torna obrigatório o recolhimento e destinação adequada de todo o óleo lubrificante usado ou contaminado, podendo ser de origem mineral ou vegetal.

O decreto federal Nº 4.136 de 20 de fevereiro de 2002, dispõe sobre a especificação das sanções aplicáveis às infrações às regras de prevenção, controle e fiscalização da poluição causada por lançamento de óleo e outras substâncias nocivas ou perigosas em águas sob jurisdição nacional, prevista na Lei no 9.966, de 28 de abril de 2000.

É difícil dizer qual o volume de óleo um transformador poderá conter. Atualmente, segundo a revista S/A Comunicação (2012) o maior transformador em operação no mundo está no projeto Rio Madeira, fornecido pela empresa ABB, o transformador pesa 400 toneladas tornando o maior transformador HVDC (high-voltage, direct current) já construído até então.

Conforme Gomes Junior (2010), o conceito de utilização de transformadores isolados com OVI teve início em 1994 nos Estados Unidos onde os primeiros transformadores foram instalados em 1997. Desde então indústrias vêm utilizando OVI em substituição ao OMI com a finalidade de mitigar problemas relacionados à contaminação ambiental e melhorar o desempenho no aspecto de resistência ao fogo. Com isto, tem-se como objetivo principal, analisar a viabilidade técnica na substituição do OMI pelo OVI na fabricação de transformadores em uma empresa de transformadores.

2. METODOLOGIA

2.1. Natureza da pesquisa

A utilização dos dados da pesquisa é definida como pesquisa básica, pois o foco do trabalho é avaliar a viabilidade técnica em substituir o OMI pelo OVI na fabricação de transformadores.

Quanto à abordagem do problema classifica-se a pesquisa como qualitativa, isto porque os dados utilizados serão dados a partir de interações sociais e os resultados serão definidos após a interpretação dos fenômenos estudados. Para Deslauriers e Kerisit (2008) na pesquisa qualitativa, o cientista é ao mesmo tempo o sujeito e o objeto de suas pesquisas. O desenvolvimento da pesquisa é imprevisível. O conhecimento do pesquisador é parcial e limitado. O objetivo da amostra é de produzir informações aprofundadas e ilustrativas: seja ela pequena ou grande, o que importa é que ela seja capaz de produzir novas informações.

A natureza da pesquisa considera-se como um trabalho inédito, pois ainda não foi realizado nenhuma análise de viabilidade quando substituído o OMI pelo OVI na empresa.

O objetivo é definido como explicativo, onde a pesquisa irá aprofundar o conhecimento o mais próximo da realidade, explicando o porquê das coisas.

O procedimento utilizado será o estudo de caso, pois como está sendo analisado um processo existente as novas descobertas serão a partir da análise dos dados dentro de um recorte histórico. Para Fonseca (2002) em um estudo de caso o pesquisador não pretende intervir sobre o objeto a ser estudado, mas revela-lo tal como ele o percebe.



2.2. Materiais

Alguns materiais serão necessários para a realização da coleta de dados, tabulação e análise dos dados durante o trabalho e estão apresentados nos presentes itens:

- a) Microsoft Excel® 2010: utilizado para lançar os dados e realizar a análise dos mesmos, realizar possíveis cálculos, construção de tabelas e gráficos que facilitam e melhoram o processo de análise da pesquisa;
- b) Microsoft Word® 2010: Utilizado para redigir o trabalho científico;
- c) Notebook para redigir os dados da pesquisa em forma de trabalho científico;
- d) Livros e artigos para embasamento do trabalho de pesquisa.

2.3. Métodos

Para que o estudo seja realizado, primeiramente será necessário realizar uma revisão da literatura sobre o assunto. Então será necessário realizar um estudo de caso dentro de um recorte histórico dentro da empresa X. Após será necessário realizar um estudo de campo dentro da empresa X e por fim realizar um levantamento de dados para confrontar com os demais dados coletados.

2.4. Coleta de dados

O estudo tem como objetivo avaliar a viabilidade em substituir o OMI pelo OVI na fabricação de transformadores, portanto a fonte de pesquisa será a própria empresa. Os dados serão coletados através de um estudo de caso através de um recorte histórico a partir do ano de 2010 dentro da empresa X e através de um estudo de campo que será realizado na mesma empresa. Estes dados serão coletados, analisados, comparados e transformados em informações para responderem as questões de pesquisa e definirem se os objetivos foram alcançados.

2.5. Processamento dos dados

Todos os dados utilizados no trabalho foram extraídos do sistema de ERP (*Enterprise Resource Planning*) da empresa. Os dados extraídos do sistema de ERP, foram importados em formato de tabelas para o Excel®, onde foram organizados e transformados em gráficos, para que pudessem ser apresentados no decorrer do trabalho. As informações fornecidas pela empresa Cargill, foram disponibilizadas em formato de manuais informativos, as mesmas foram utilizadas para confrontar com as informações trocadas com colaboradores da empresa objeto de estudo.

2.6. Limitações da pesquisa

A empresa X objeto de estudo restringe as informações que poderão ser divulgadas, não permitindo a divulgação de seu nome. A data limite inferior para extrair os dados foi o ano de 2010, ou seja, dados anteriores a este ano não foram possíveis ser extraídos.

3. RESULTADOS

3.1. Utilização de óleo isolante na empresa objeto de estudo

A utilização de óleo isolante em transformadores é essencial para o funcionamento do transformador a óleo, todos os transformadores fabricados na empresa X utilizam algum tipo de líquido isolante para seu correto funcionamento tendo como padrão o OMI. Porém, está se tornando mais



comum, clientes especificarem OVI em seus transformadores. A Tabela 1 apresenta a quantidade de óleo isolante utilizado na empresa X desde o ano de 2010 até o mês de setembro de 2015.

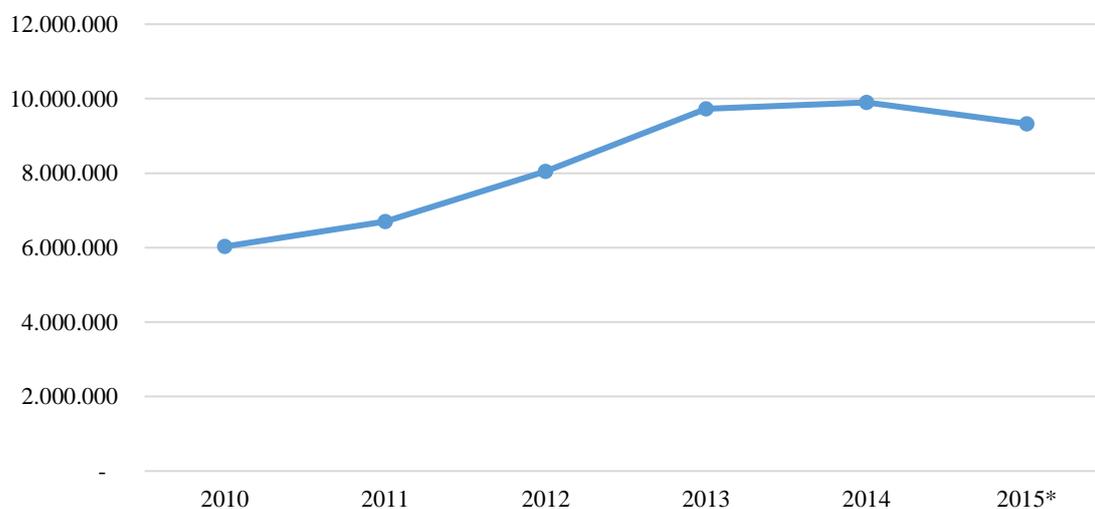
Tabela 1 – Consumo total de óleo isolante na empresa X

Ano	Consumo total óleo isolante (litros)
2010	6029031
2011	6697292
2012	8043793
2013	9729276
2014	9898843
2015*	9325557

*Valores até setembro de 2015.

Conforme apresentando na Tabela 1 o consumo de óleo isolante na empresa X vem aumentando ano a ano, tendo como tendência para o ano de 2015 este aumento se repetir novamente, uma vez que o consumo apresentando até o mês de setembro já está próximo ao consumo do ano de 2014. Pode-se observar melhor este aumento no consumo de óleo na empresa X na Figura 2. Este forte crescimento no consumo de óleo se dá ao forte crescimento registrado na empresa X nos últimos anos, conforme apresentando na Figura 3.

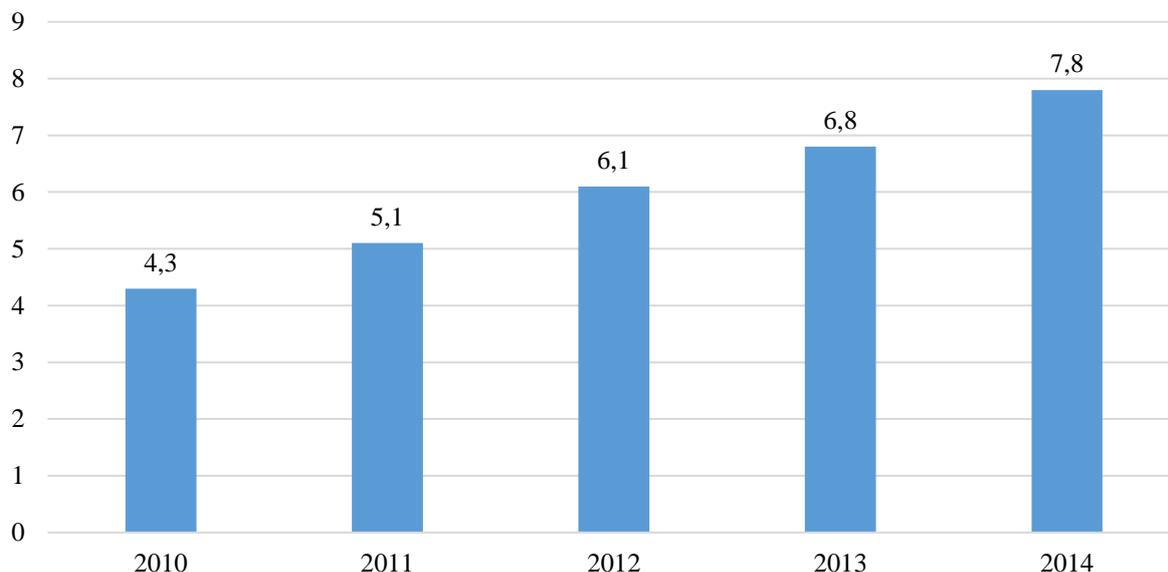
Figura 2 – Consumo total de óleo isolante (litros)



*Valores até setembro de 2015.



Figura 3 – Receita operacional líquida da empresa X (R\$ bilhões)

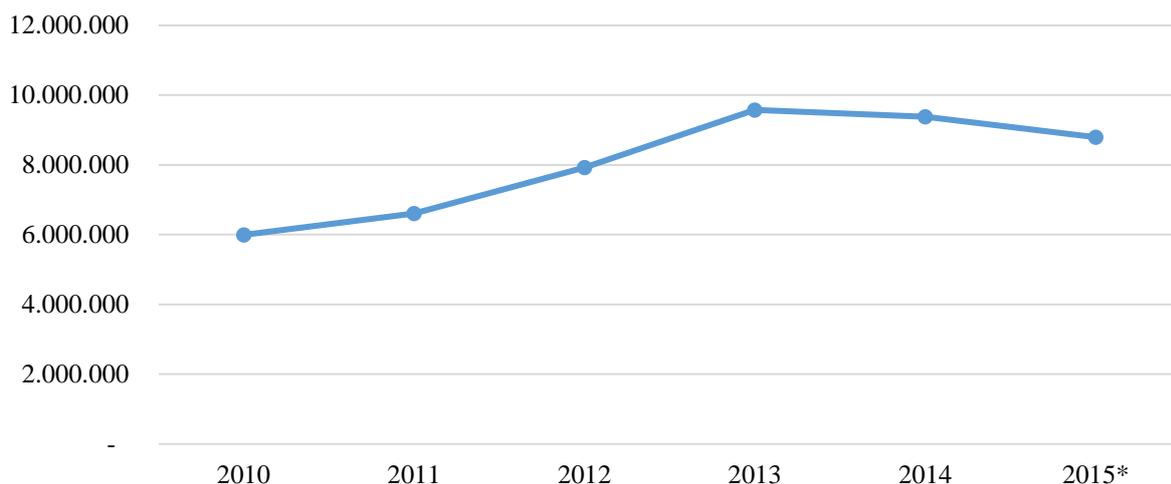


Com base nas informações contidas nas Figuras 2 e 3, pode-se destacar a importância do crescimento da empresa para o aumento no consumo de óleo isolante.

3.2. Quantidade de OMI utilizado

O OMI é o líquido isolante mais utilizado na empresa X, podemos observar melhor seu consumo na Figura 4.

Figura 4 – Consumo de OMI



*Valores até setembro de 2015.

Conforme pode-se observar na Figura 4, o consumo de OMI na empresa X mostrou crescimento até o ano de 2013 onde atingiu aproximadamente 9,6 milhões de litros, no ano de 2014



pode-se observar que o consumo diminuiu para aproximadamente 9,4 milhões de litros, tendo como tendência para o ano de 2015 o consumo se manter no mesmo nível do ano de 2014. Está parada no crescimento aconteceu devido ao crescimento no consumo de OVI. A Tabela 2, apresenta o consumo em litros de OMI na empresa X.

Tabela 2 – Consumo de OMI na empresa X (litros)

Ano	Consumo de OMI (milhões)
2010	5,6
2011	6,6
2012	7,9
2013	9,6
2014	9,4
2015*	8,8

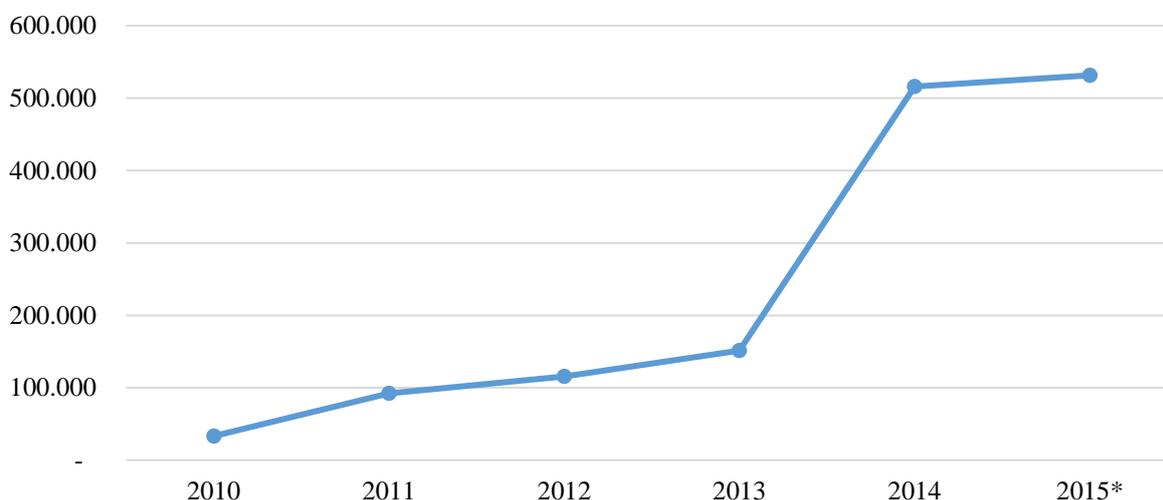
*Valores até setembro de 2015.

O fator determinante na parada de crescimento do OMI na empresa X, é a forte procura que o OVI vem apresentando. Devido suas vantagens quando comparado ao OMI.

3.3. Quantidade de OVI utilizado

O OVI vem crescendo seu consumo na empresa X nos últimos anos conforme pode ser observado na Figura 5.

Figura 5 – Consumo de OVI



*Valores até setembro de 2015.

A Tabela 3, apresenta o consumo em litros de OVI na empresa X.



Tabela 3 – Consumo de OVI na empresa X (litros)

Ano	Consumo de OVI (litros)
2010	33230
2011	92389
2012	115699
2013	151378
2014	515788
2015*	531540

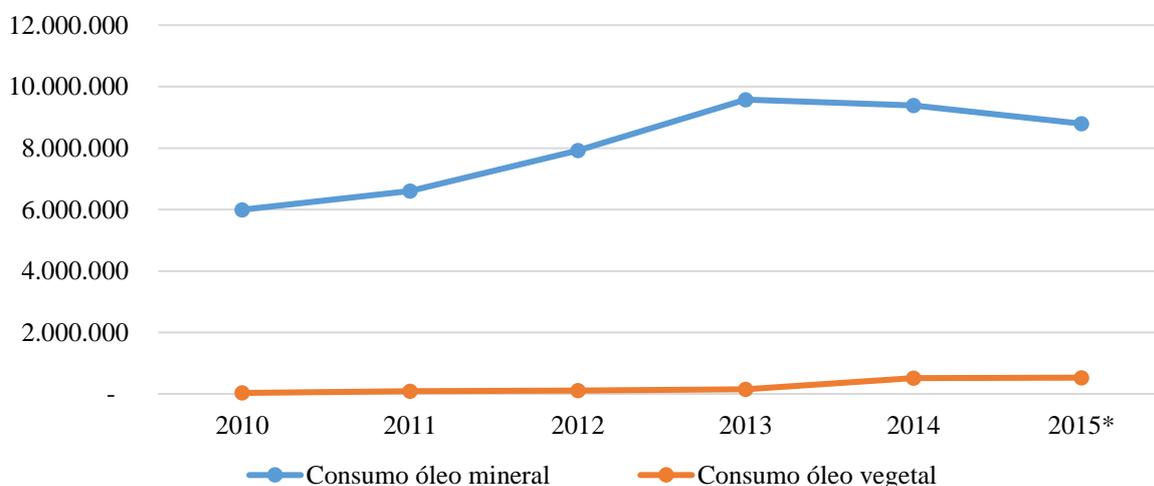
*Valores até setembro de 2015.

Pode-se observar que no ano de 2015 o consumo já ultrapassou os 530 mil litros de óleo, superando o consumo do ano de 2014 que foi de aproximadamente 516 mil litros. Este aumento no consumo do OVI vem acontecendo devido as vantagens do mesmo em relação ao OMI.

3.4. Comparação entre consumo de OVI pelo consumo de OMI na empresa

A Figura 6 apresenta o consumo de OVI e OMI na empresa X, onde se pode visualizar que o OMI ainda é o líquido isolante mais utilizado em transformadores na empresa X. Para Preis (2013), está enorme diferença se dá principalmente pelo fato do OVI ainda ser considerado uma novidade no mercado do setor elétrico, principalmente nas indústrias de transformadores.

Figura 6 – Consumo de OVI / OMI



*Valores até setembro de 2015.

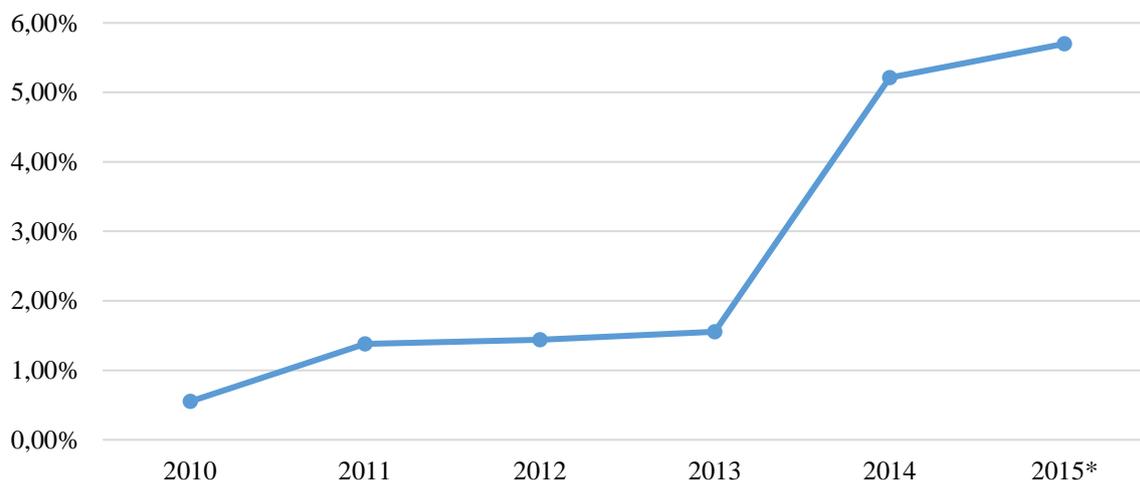
É possível visualizar na Figura 6 que a tendência para a empresa X nos próximos anos é de que o consumo de OMI comece a cair e o consumo de OVI continue aumentando, seguindo a tendência das empresas que “impulsionadas pelo surgimento de novas legislações que estimulam cada vez mais o uso de materiais que causem menos danos ambientais e à saúde” (SOARES, 2013).

É possível visualizar melhor o crescimento no consumo do OVI em relação ao OMI na empresa X quando comparado em forma de porcentagem, conforme apresentado na Figura 7. Onde no ano de 2014 o OVI chegou a 5,21% em relação ao consumo total de óleo isolante na empresa X, este



valor é maior que a média nacional, conforme indicado pela BAIN & COMPANY (2014), “cerca de 3% dos transformadores utilizam o OVI como isolante no Brasil”.

Figura 7 – Consumo de OVI em relação ao consumo total de óleo isolante na empresa X



*Valores até setembro de 2015.

No o ano de 2015 o consumo de OVI na empresa X já superou o consumo do ano de 2014, chegando a 5,7% em relação ao consumo total de óleo isolante. É possível comparar melhor o consumo de OVI sobre o consumo total de óleo isolante na empresa X na Tabela 4.

Tabela 4 – Consumo de OVI sobre o consumo total de óleo isolante na empresa X

Ano	Consumo de OVI sobre o consumo total de óleo isolante na empresa X
2010	0,55%
2011	1,38%
2012	1,44%
2013	1,56%
2014	5,21%
2015*	5,70%

*Valores até setembro de 2015.

A utilização de OVI em novos transformadores vem se mostrando como tendência para os próximos anos na empresa X, ainda mais quando comparáramos o consumo de OVI na empresa X com os Estados Unidos onde cerca de “20% dos transformadores utilizam o OVI em seus transformadores” (BAIN & COMPANY, 2014).

3.5. Impactos causados pela troca do OMI pelo OVI na empresa X

Em estudo de campo dentro da empresa X, de modo a avaliar tecnicamente as vantagens na troca do OMI pelo OVI se faz necessário listar quais são os impactos e dificuldades quando realizado a troca do OMI pelo OVI na empresa X. A estrutura química do OVI é diferente do OMI. Por isso,



algumas práticas consolidadas para equipamentos impregnados com OMI não devem ser aplicadas aos equipamentos impregnados com OVI. Neste contexto, a empresa X, como fabricante de transformadores de diferentes tipos, classes de tensões e potência, com a tecnologia e experiência consolidada para a fabricação de equipamentos impregnados com OMI, deve aplicar as variações e adequações necessárias a seus procedimentos na fabricação de equipamentos impregnados com OVI.

3.6. Oxidação do OVI

Um dos grandes problemas encontrados pela empresa X na utilização do OVI está em sua rápida oxidação quando exposto ao oxigênio, umidade e/ou outros contaminantes. Estes são os principais fatores que aceleram a degradação do OVI. Finas camadas dos OVI tendem a degradar mais rapidamente que o OMI. Por isso, é necessário evitar toda e qualquer exposição do OVI ao ar atmosférico. Conforme Mildemberger (2014), o OVI apresenta insaturações que são suscetíveis ao ataque de agentes oxidantes, radicais livres e metais que atuam como catalisadores de processos oxidativo. A empresa objeto de estudo toma todas as medidas possíveis para evitar uma exposição contínua e prolongada do OVI ao ar atmosférico e aos raios solares. É prática na empresa X o acondicionamento do OVI pressurizado com gás inerte, tal como gás nitrogênio super seco. Assim como evitar procedimentos que envolvam a possibilidade de exposição do OVI ao atmosférico.

A empresa X ainda estabelece que os materiais após a utilização com OVI devem ser evitados a exposição ao ar atmosférico, caso forem novamente reutilizados, deverão ser limpos adequadamente, de modo que nenhum vestígio de OVI venha a oxidar durante seu armazenamento.

A empresa X desenvolve em parcerias com seus fornecedores de OVI tecnologias em seus processos de fabricação que impeçam a exposição do OVI durante seu manuseio ao oxigênio. Com base em informações de seus fornecedores de OVI a empresa X procura implantar em seus processos de fabricação procedimentos que garantam que as propriedades do OVI sejam mantidas durante seu manuseio no processo de fabricação de seus transformadores. Toda esta preocupação no controle do oxigênio está relacionado em assegurar uma vida útil satisfatória do transformador, conforme Primieri (2012), um OVI deve possuir algumas propriedades específicas para um desempenho confiável, em um sistema de isolamento, tais como: resistência à oxidação adequada para assegurar uma vida útil satisfatória.

3.7. Manuseio do OVI

O OVI é miscível e compatível com OMI. Sendo assim, o manuseio dos óleos isolantes deve seguir procedimentos estabelecidos pela empresa X para que tanto o óleo como o produto final sejam preservados. Tais misturas entre OMI e OVI devem ser evitadas nos transformadores devido a um possível impacto negativo nas características químicas, de biodegradabilidade e toxidez dos óleos isolantes, de segurança ambiental e incêndio do OVI. Outro fator determinante que faz com que a empresa X evite a contaminação de OVI com OMI no seu manuseio, está na garantia do fluido ser de alto ponto de combustão, onde o OVI deve apresentar ponto de combustão mínimo de 300 °C. Conforme estabelece a NBR 13231 do ano de 2014, fluidos de alto ponto de combustão ou classe K são líquidos isolantes para uso em transformadores ou outros equipamentos, que possuem ponto de combustão mínimo de 300 °C.

Uhren (2007), comenta que em uma de suas pesquisas onde houve mistura de OVI com OMI o ponto de fulgor caiu para 235 °C, ficando abaixo do mínimo exigido pela norma. Essa diminuição no ponto de fulgor é justificada pela mistura realizada, em proporção desconhecida, dos dois óleos.

A empresa objeto de estudo visando garantir que não haja nenhuma mistura entre OVI e OMI realiza todo o manuseio interno de OVI em tambores IBC conforme figura.

Após o manuseio do OVI o tambor IBC deve ser pressurizado com gás inerte, pois camadas finas de OVI acabam oxidando, o que acaba danificando o tambor IBC. De modo a evitar estas oxidações



a empresa X verifica todas as condições de armazenamento, onde bujões e capas são utilizadas quando o tanque IBC não estiver em uso.

3.8. Armazenamento do OVI

Os recipientes de armazenamento com OVI, bem como as embalagens vazias que continham OVI e que serão reutilizadas, devem ser hermeticamente selados com gás inerte, como nitrogênio super seco. A empresa objeto de estudo recomenda que sejam estocados à temperatura ambiente inferior a 35°C, em áreas abrigadas, sem incidência de luz solar direta, isoladas e bem ventiladas, longe de fontes de ignição ou calor. O armazenamento deve ser em tambores metálicos de 200L, devendo seguir a especificação técnica da empresa X para o revestimento externo. O revestimento interno deve ser compatível com OVI. Toda estocagem deve seguir o padrão da empresa X, onde, o tambor deve ser mantido na posição horizontal ou vertical. Se horizontal os bujões deverão estar alinhados horizontalmente de modo a impedir a entrada de umidade e ar atmosférico.

O OVI possui uma maior segurança contra incêndios, o que proporciona um menor risco patrimonial a empresa X, o que permitiu a empresa X estocar quantidades de OVI maiores por longos períodos.

Conforme Stocco (2009), o armazenamento de OVI por longos períodos em baixas temperaturas pode alterar as propriedades de escoamento e seu ponto de fluidez podem não prognosticar adequadamente. Com isto é prática na empresa X orientar seus clientes onde o transformador vai operar em locais de baixas temperaturas a não manterem por mais de 12 meses o OVI estocado. Quando o período de estocagem for superior a 12 meses, a empresa recomenda que seja realizado os ensaios físico-químicos do OVI.

3.9. Tratamento de transformadores impregnados com OVI

Caso um dos enrolamentos dos transformadores já tenha sido impregnado com OVI, deve-se avaliar as condições operacionais do tratamento para que não ocorra o comprometimento dos materiais construtivos da parte ativa. O processo de tratamento de que envolve o rompimento do vácuo, com possibilidade de entrada de ar atmosférico (Oxigênio), como exemplos de estufas com circulação de ar, estufas com impregnação à vácuo, e que esteja envolvido materiais impregnados com OVI deve ser avaliado e procedimentos devem ser implantados para a utilização de gás inerte, tal como nitrogênio super seco.

Como forma de padronização na empresa X, todo tratamento de transformadores impregnados com OVI deve ser realizado em estufas tipo vapor *fazer* ou em autoclaves, onde todo o tratamento da parte ativa do transformador é realizado na presença de gás inerte. Antes de iniciar o tratamento da parte ativa do transformador os equipamentos de secagem devem ser previamente qualificados para atender aos requisitos de compatibilidade química com a finalidade de identificar eventuais componentes que pelo seu tamanho, material ou formato possam requerer tempo maiores de tratamento.

Navarro (2011), comenta que o equipamento para tratamento do OVI deve ser previamente qualificado para atender aos requisitos de: compatibilidade química; temperatura de operação; volume de tratamento; tamanho dos filtros; nível de vácuo. Onde deve ser definido o tempo de tratamento da parte ativa do transformador com base a um análise prévio.

4. CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos na empresa estudada e comparações realizadas, foi possível avaliar e comparar o consumo de OMI e OVI na empresa X, identificar vantagens em substituir o OMI pelo OVI e identificar quais impactos causados pela troca do OMI pelo OVI, desta maneira conseguiu-



se avaliar a viabilidade técnica na substituição do OMI pelo OVI na fabricação de transformadores, e alcançar todos os objetivos específicos propostos.

A partir da comparação do consumo de OMI e OVI, avaliou-se que a empresa X vem aumentando o uso do OVI em seus transformadores, seguindo as tendências do mercado em substituir o OMI pelo OVI, bem como os novos rumos praticados na atualidade pela sociedade rumo a sustentabilidade.

Listou-se os principais impactos causados pela troca do OMI pelo OVI, onde a principal dificuldade encontrada pela empresa está em controlar a rápida oxidação do OVI quando exposto ao oxigênio, procedimentos definidos pela empresa são necessários para conter estas oxidações sem comprometer o transformador, como por exemplo a pressurização com gás inerte, tal como gás nitrogênio super seco.

Outro ponto listado foi em relação ao manuseio dos óleos, pois como o OVI é miscível com o OMI, cuidados dobrados precisam ser tomados para garantir que tanto o óleo como o produto final estejam preservados, assim como a garantia do alto ponto de fulgor e combustão que deve atender no mínimo os 300 °C conforme estabelece a NBR 13231.

Com base no exposto, foi possível concluir que o OVI vem se tornando um provável substituto ao OMI, uma vez que se tem mostrado uma boa alternativa na indústria de transformadores, mais precisamente em locais onde a proteção ambiental é mais requerida, uma vez que inserimos no meio ambiente equipamentos com maior resistência ao fogo. Além de, conseguir ganhos financeiros para a empresa, especialmente com a redução nos valores dos seguros, pois o OVI torna o transformador menos inflamável quando em comparação ao OMI.

REFERÊNCIAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT. **NBR 5356** Transformador de Potência. Rio de Janeiro, 2014. 59 p.

_____. **NBR 13231**: Proteção Contra Incêndio em Subestações Elétricas. Rio de Janeiro, 2014. 31 p.

BAIN & COMPANY. Potencial de Diversificação da Indústria Química Brasileira. **Bain & Company**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 1, p.1-33, jan. 2014. Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/export/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/produtos/download/aep_fep/chamada_publica_FEPprospec0311_Lubrificantes.pdf>. Acesso em: 22 out. 2015.

BARBOSA, Gisele Silva. O Desafio do Desenvolvimento Sustentável. **Revista Visões**, Rio de Janeiro, v. 1, n. 4, p.1-11, 17 out. 2015. Disponível em: <http://www.fsma.edu.br/visoes/ed04/4ed_O_Desafio_Do_Desenvolvimento_Sustentavel_Gisele.pdf>. Acesso em: 17 out. 2015.

BERTACI, Guilherme Augusto da Silva. Tratamento De Solos Contaminados Por Óleo Mineral Isolante. 2014. 52 f. **Monografia (Especialização) - Curso de Engenharia Química, Universidade Federal de Uberlândia**, Uberlândia, 2014.

BRASIL. Decreto 4.136/2002 nº 4.136, de 20 de fevereiro de 2002. Dispõe Sobre a Especificação das sanções Aplicáveis às Infrações às Regras de Prevenção, Controle e Fiscalização da Poluição Causada por Lançamento de Óleos e Outras Substâncias Nocivas ou Perigosas em Águas sob Jurisdição Nacional, Prevista na Lei Nº 9.966, de 28 de abril de 2000. **Decreto do Executivo**.



COMUNICAÇÃO, S/A. **ABB Realiza Transporte de Maior Transformador HVDC do Mundo**. 2015. Disponível em: <<http://www.brasilengenharia.com/portal/noticias/destaque/1822-abb-realiza-transporte-de-maior-transformador-hvdc-do-mundo>>. Acesso em: 07 ago. 2015.

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resoluções**. 1993. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res93/res0693.html>>. Acesso em: 27 out. 2015.

DESLAURIERS, Jean Pierre; KERISIT, Michele. *O Delineamento de Pesquisa Qualitativa*. In: POUPART. **A pesquisa qualitativa: enfoques epistemológicos e metodológicos**. Petrópolis, 2008.

FRIEDENBERG, Luiz Eduardo; SANTANA, Ruth Marlene Campomanes. Propriedades de óleos isolantes de transformadores e a proteção do meio ambiente. Porto Alegre: **IX Simpósio Internacional de Qualidade Ambiental**, 2014. 12 p. Disponível em: <<http://www.abes-rs.org.br/qualidade2014/trabalhos/id868.pdf>>. Acesso em: 20 out. 2015.

GOMES JUNIOR, Silas Batista. Avaliação Técnica e Econômica da Aplicação de Óleo Vegetal de Crambe como Isolante Elétrico em Comparação com Óleo de Soja. 2010. 137 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Tecnologia Para o Desenvolvimento (LACTEC)**, Curitiba, 2010. Disponível em: <<http://sistemas.institutoslactec.org.br/mestrado/dissertacoes/arquivos/SilasGomes.pdf>>. Acesso em: 10 out. 2015.

GÓMEZ, Neffer Arvey Gómez. Diagnóstico de Falhas em Transformadores Isolados com Óleo Vegetal Isolante a Partir da Análise de Gases Dissolvidos. 2013. 124 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, 2013. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/232.pdf>>. Acesso em: 10 jul. 2015

MILDEMBERGER, Larissa. Avaliação do Desempenho de Indicadores de Degradação de Sistemas Isolantes Papel/óleo Usados em Transformadores de Potência. 2014. 83 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, 2014. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/269.pdf>>. Acesso em: 09 set. 2015.

NAVARRO, Martin A. *et al.* Desenvolvimento de tecnologia para substituição de óleo isolante mineral por óleo isolante vegetal em transformadores de potência usados. **CINETEL**. 2011. 11 f. Disponível em: <http://w3.siemens.com.br/automation/br/pt/academies/links-energy/Documents/ArtigoCITENEL_PD%20oleo%20vegetal%2020111209.pdf>. Acesso em: 10 out. 2015.

PREIS, Christian Milanez. Diagnóstico da Gestão de Óleos isolantes de Transformadores de Potência nas Subestações de Transmissão de Energia Elétrica no Estado de Santa Catarina. 2013. 29 f. **TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Sanitária, Universidade Federal de Santa Catarina**, Florianópolis, 2013. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/124916/TCC-ChristianMilanezPreis.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 09 set. 2015.

PRIMIERY, Cornelio. Avaliação da Estabilidade a Oxidação de Óleo Vegetal de Crambe (Crambe abyssinica Hochst) como Fluido Isolante. 2012. 44 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Energia na Agricultura, Universidade Estadual do Oeste do Paraná**, Cascavel, 2012. Disponível em: <http://www4.unioeste.br/portalpos/media/File/energia_agricultura/pdf/Dissertacao_Cornelio_Primieri.pdf>. Acesso em: 09 ago. 2015.



SILVA, Claudia R. *et al.* Caracterização físico-química e dielétrica de óleos biodegradáveis para transformadores elétricos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 16, n. 2, p.229-234, abr. 2011. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v16n2/v16n02a15.pdf>>. Acesso em: 01 nov. 2015.

SOARES, Rogério Manhães. Avaliação técnica, mercadológica e de tendências da utilização de óleos lubrificantes de base vegetal. 2013. 114 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, Universidade Federal do Rio de Janeiro**, Rio de Janeiro, 2013. Disponível em: <<http://tpqb.eq.ufrj.br/download/avaliacao-da-utilizacao-de-oleos-lubrificantes-de-base-vegetal.pdf>>. Acesso em: 28 set. 2015.

STOCCO, Mônica Buffara Cecato. Avaliação do Potencial de Aplicação de óleos Vegetais Como Fluidos Isolantes em Transformadores de Distribuição da Rede Elétrica. 2009. 108 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Paraná**, Curitiba, 2009. Disponível em: <<http://www.pipe.ufpr.br/portal/defesas/dissertacao/165.pdf>>. Acesso em: 01 set. 2015

UHREN, Wilson. Aplicação de óleo vegetal como meio isolante em equipamentos elétricos, em substituição ao óleo mineral. 2007. 121 f. **Dissertação (Mestrado) - Curso de Desenvolvimento de Tecnologia, Instituto de Tecnologia Para O Desenvolvimento (LACTEC)**, Curitiba, 2007. Disponível em: <<http://sistemas.institutoslactec.org.br/mestrado/dissertacoes/arquivos/WilsonUhren.pdf>>. Acesso em: 12 ago. 2015.

WILHELM, Helena Maria; TULIO, Luciane; UHREN, Wilson. Produção e Uso de Óleos Vegetais Isolantes no Setor Elétrico. **Revista Brasil Engenharia**, 2009. p.120 – 124. Disponível em: <http://www.brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao592/Art_Eletrica_2.pdf>. Acesso em: 18 out. 2015.