

**FELIPE DE CARVALHO MORAES
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA O EMPREGO DE TRANSFORMADORES DE
NÚCLEO AMORFO - ESTUDO DE CASO APLICADO A EMPRESA APA
CONFECÇÕES**

**CARATINGA
2018**

**FELIPE DE CARVALHO MORAES
FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA**

**ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA O EMPREGO DE TRANSFORMADORES DE
NÚCLEO AMORFO - ESTUDO DE CASO APLICADO A EMPRESA APA
CONFECÇÕES**

**Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Engenharia
Elétrica das Faculdades Doctum de
Caratinga, como requisito parcial à
obtenção do título de Bacharel em
Engenharia Elétrica.**

**Área de Concentração: Eficiência
Energética.**

**Orientador: Prof. Joildo Fernandes
Costa Júnior.**

CARATINGA

2018

TERMO DE APROVAÇÃO

O Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA O EMPREGO DE TRANSFORMADORES DE NÚCLEO AMORFO - EDTUDO DE CASO APLICADO A EMPRESA APA CONFECÇÕES, elaborado pelo(s) aluno(s) FELIPE DE CARVALHO MORAES foi aprovado por todos os membros da Banca Examinadora e aceito pelo curso de ENGENHARIA ELÉTRICA das FACULDADES DOCTUM DE CARATINGA, como requisito parcial da obtenção do título de

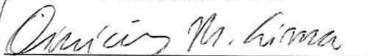
BACHAREL EM ENGENHARIA ELÉTRICA.

Caratinga 05/12/2018



JOILDO FERNANDES COSTA JÚNIOR
Prof. Orientador

REGINALDO EUSTÁQUIO
Prof. Avaliador 1



VINICIUS MURILO LIMA RODRIGUES
Prof. Examinador 2

*Agradeço em primeiro lugar a Deus que
iluminou o meu Caminho durante essa
caminhada.*

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por conceder o maior presente que poderia ter recebido que é o dom da vida. Aos meus pais Paulo Enéas e Enilda Moraes, meu irmão Enéias Moraes, esposa Núbia Skristell e cunhada Kethney Wenceslau por ter estado sempre ao meu lado e dado sempre o melhor para poder vencer a todos os obstáculos.

Às escolas que eu passei ao longo da minha caminhada desde o ensino fundamental ao ensino médio que forneceram todos os ensinamentos a respeito do universo acadêmico. Principalmente o CEFET-MG Campus III Leopoldina - MG que abriu as maiores possibilidades no âmbito profissional com um curso técnico de qualidade.

A Energisa Soluções agradeço pelo acolhimento ainda como estagiário que possibilitou em grandes avanços na minha vida profissional e pessoal. Não poderia esquecer a participação nas PCHs São Sebastião do Alto e Novo Horizonte no início da carreira de técnico de operação de usina. Agradeço a toda equipe da PCH Areia Branca, por todos ensinamentos e experiências compartilhadas neste lugar que definitivamente mudou minha vida. Nominalmente agradeço a Luã Martins pela sua amizade e por todas as portas que abriu em minha vida profissional, sem suas intervenções certamente não estaria alcançando esse objetivo.

A Faculdade Doctum Campus Caratinga por esse período de aprendizado e transformação. Ao coordenador Joildo Fernandes pela amizade e companheirismo sempre motivando a ser sempre melhor. Aos meus mestres obrigado pelo conhecimento transferido. Aos meus amigos Carlos da Mata e Igor Nery que estiveram comigo do início ao fim nesta caminhada.

RESUMO

Este trabalho apresenta para o setor elétrico uma avaliação completa do desempenho dos transformadores com núcleo amorfo, bem como a respostas a respeito da viabilidade para sua implantação.

Através de um estudo que utilizou bases teóricas, examinou-se as perdas à vazio que estavam ocorrendo no núcleo dos transformadores da APA Confecções e simulou-se o impacto financeiro que uma possível substituição por transformadores mais eficientes proporcionaria.

Análises de comparação entre as perdas à vazio de transformadores com ambos os núcleos também foram executados, utilizando como base transformadores classes de tensão semelhantes aos que são empregados nas redes de distribuição, com intuito de apresentar às concessionárias um levantamento técnico a respeito do desempenho dos transformadores que estão sendo utilizados atualmente.

Também foram mensurados os ganhos envolvendo a redução do consumo e demanda que a substituição dos transformadores representariam. Por fim, determinou-se o payback, ou seja o período de tempo em que a empresa levaria para obter retorno do investimento realizado para substituição dos transformadores que estão instalados atualmente.

Palavras chave: Transformadores de núcleo amorfo. Eficiência energética. Perdas à vazio em transformadores.

ABSTRACT

This work presents for the electrical sector a complete evaluation of the performance of the amorphous core transformers, as well as the answers regarding the feasibility for its implantation.

Using a theoretical study, the vacuum losses that were occurring in the core of the APA Confecções transformers were examined and the financial impact that a possible substitution by more efficient transformers would be simulated.

Comparison between the losses in the vacuum of transformers with both cores were also performed, using transformers as voltage classes similar to those used in the distribution networks, in order to present to the concessionaires a technical survey on the performance of the transformers which are currently being used.

The gains involving the reduction of consumption and demand that the substitution of transformers would also represent were measured. Finally, it was determined the payback, that is the period of time in which the company would take to obtain return of the investment realized to substitute of the transformers that are currently installed.

Key words: Amorphous core transformers. Energy efficiency. Loss on vacuum in transformers.

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	<i>Associação Brasileira de Normas Técnicas</i>
ANEEL	<i>Agência Nacional de Energia Elétrica</i>
AT	<i>Alta Tensão</i>
BT	<i>Baixa Tensão</i>
CM	<i>Centímetro</i>
EPE	<i>Empresa de Pesquisa Energética</i>
IBGE	<i>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística</i>
HM	<i>Hectômetro</i>
KM/h	<i>Quilômetro por hora</i>
KWh	<i>Quilowatt Hora</i>
M	<i>Metros</i>
MWh	<i>Mega Watt Hora</i>
TWh	<i>Tera Watt Hora</i>
PCH	<i>Pequena Central Hidrelétrica</i>
W/Kg	<i>Watt por Quilo</i>
SEP	<i>Sistema Elétrico de Potência</i>
MG	<i>Minas Gerais</i>
PB	<i>Paraíba</i>
UHE	<i>Usina Hidrelétrica</i>

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Comparativo de Perdas à vazio - Transformadores Monofásicos	37
Tabela 2: Comparativo de Perdas à Vazio - Transformadores Trifásicos	38
Tabela 3: Características Técnicas dos Transformadores da APA Confecções	39
Tabela 4: Comparativo com os resultados dos ensaios de perdas à vazio entre os núcleos de aço silício e núcleo amorfo.....	40
Tabela 5: Quantificação das Perdas à Vazio	41
Tabela 6: Perdas à Vazio em Horários de Ponta e Fora de Ponta.....	42
Tabela 7: Totalização das Perdas à Vazio para o mês de setembro / 2018	43
Tabela 8: Estrutura Tarifária Energisa Minas Gerais – Consumo	43
Tabela 9: Quantificação econômica das Perdas à vazio	44
Tabela 10: Estrutura Tarifária Energisa Minas Gerais – Demanda	45
Tabela 11: Estrutura Tarifária Energisa Minas Gerais – Demanda	45
Tabela 12: Orçamento dos Transformadores.....	46

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Núcleo do Tipo Envolvido.....	22
Figura 2: Núcleo do Tipo Envolvido.....	22
Figura 3: Núcleo do Tipo Envolvente	23
Figura 4: Núcleo do Tipo Envolvente	24
Figura 5: a) Estrutura Amorfa / b) Estrutura Cristalina	27
Figura 6: Curva de magnetização	28
Figura 7: Comparativo das Perdas em W/kg.....	29
Figura 8: Comportamento de temperatura a) núcleo amorfo / b) Aço silício	30

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	13
2 DESENVOLVIMENTO	17
2.1 Transformadores	17
2.1.1 Evolução dos materiais utilizados na construção do núcleo de transformadores de distribuição	18
2.1.2 Perdas	19
2.1.3 Aspectos construtivos	21
2.2 Tipos de núcleo	21
2.2.1 Núcleo do tipo envolvido	22
2.2.2 Núcleo do tipo envolvente	23
2.2.3 Materiais usados no núcleo dos transformadores	24
2.2.3.1 Aço silício	25
2.2.3.2 Ligas amorfas	26
2.2.3.3 Comparação entre ligas amorfas e aço silício	26
2.3 Rendimento de um transformador	30
2.4 Corrente de excitação	31
2.5 Ensaio	31
2.5.1 Ensaio de perdas a vazio	31
3 METODOLOGIA	33
3.1 Viabilidade técnica e econômica	33
3.2 Estudo de caso aplicado a empresa Apa Confecções	34
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	35
4.1 Ensaio dos transformadores	35
4.1.1 Comparativo de perdas em vazio	36
4.1.1.1 Perdas a vazio em transformadores monofásicos	36
4.1.1.2 Perdas a vazio em transformadores trifásicos	37
4.2 Estudo de caso aplicado a APA confecções	38
3.2.1 Perdas à vazio nos transformadores da Apa Confecções	39
3.2.2 Quantificação das perdas à vazio	40
3.2.1 Contabilização financeira das perdas à vazio	41

3.2.2 <i>Payback</i>	46
Após a quantificação financeira do impacto das perdas a vazão dos transformadores em ambos os núcleos será possível estabelecer o cálculo da amortização desses valores num possível investimento de substituição dos transformadores da APA Confeções.	
3.2.2.1 <i>Payback Simples</i>	47
4. CONCLUSÃO.....	49
4.1 <i>Trabalhos futuros</i>	49
4.1.1 <i>Quantificação do impacto das Perdas à Vazão no Sistema Elétrico Brasileiro</i> .	49
BIBLIOGRAFIA	50
ANEXOS	53
ANEXO A: FATURA DE ENERGIA APA CONFECÇÕES SETEMBRO 2018 (FRENTE).....	53
ANEXO B: FATURA DE ENERGIA APA CONFECÇÕES SETEMBRO - 2018 (VERSO)	54
ANEXO C: LAUDO TÉCNICO DO TRANSFORMADOR 1 DA APA CONFECÇÕES COM OS RESULTADOS DOS ENSAIOS.....	55
ANEXO D: LAUDO TÉCNICO DO TRANSFORMADOR 2 DA APA CONFECÇÕES COM OS RESULTADOS DOS ENSAIOS.....	56
ANEXO E: LAUDO TÉCNICO DO TRANSFORMADOR 3 DA APA CONFECÇÕES COM OS RESULTADOS DOS ENSAIOS.....	57
ANEXO G: ORÇAMENTO DO TRANSFORMADOR COM NÚCLEO AMORFO 300 KVA VIJAI.....	59
ANEXO H: DECLARAÇÃO PARA USO DE INFORMAÇÃO	60

1 INTRODUÇÃO

Com a crescente demanda de energia elétrica recorrente atualmente, uma discussão que têm se apresentado cada vez com mais frequência é a redução das perdas no processo de geração, transmissão e distribuição de energia. Estima-se que atualmente no Brasil, 15% de toda a geração de energia elétrica é perdida e o sistema de distribuição é o responsável pela maioria destas perdas.

Um dos equipamentos responsáveis por estas perdas nos sistemas de distribuição de energia são os transformadores. Estes equipamentos são empregados em grande número em toda a rede e são responsáveis por adequar os níveis de tensão da rede primária às necessidades de consumo.

Tendo em vista o impacto que o setor de distribuição detém nas perdas ocorridas em todo sistema elétrico brasileiro e a importância dos transformadores de distribuição neste contexto, este trabalho contribuirá de forma significativa apresentando um estudo sobre o desempenho destes transformadores e formas de melhoria da eficiência destes equipamentos.

A eficiência de um transformador está diretamente ligada as perdas técnicas ocorridas. Estima-se que as perdas ocorridas nos transformadores de distribuição usados atualmente, correspondem a um terço das perdas totais ocorridas no sistema elétrico. Estas perdas causam redução da oferta de energia, prejuízos financeiros e são razão da realização de vários estudos ao redor do mundo com intuito de pesquisar alternativas mais eficientes para substituição destes equipamentos (CASTRO, 2010).

Os transformadores de distribuição de núcleo amorfo prometem reduzir as perdas em vazio em aproximadamente 75% quando comparado com os transformadores que são utilizados atualmente. Estas perdas ocorrem devido a corrente de Foucault e a histerese magnética. Estes transformadores utilizam uma corrente de excitação menor e também trabalham em temperaturas reduzidas. A importância do emprego destes transformadores nos sistemas de distribuição se dá pela redução do consumo e do desperdício de energia além da redução ocorrida também nos investimentos em geração de energia elétrica.

A aplicação de ligas amorfas em núcleos de transformadores teve início em 1975. O primeiro transformador de núcleo amorfo a ser disponibilizado no mercado

só veio ocorrer em 1976. Naquela oportunidade, o Laboratório Lincoln do Instituto Tecnológico de Massachusetts nos Estados Unidos produziu as primeiras amostras. Estas primeiras peças apresentaram melhora nos índices de eficiência destes transformadores quando comparado aos transformadores com núcleo de aço-silício. Os resultados dos ensaios realizados a época no tocante as perdas em vazio mostraram uma redução de 87,5%. O índice de corrente de excitação que é outro fator importante a ser levado em consideração também apresentou queda considerável.

O interesse inicial pelo emprego dos transformadores com núcleo amorfo nas redes de distribuição ocorreu de forma tímida em todo o mundo até meados dos anos 90. A motivação por esse desinteresse se dava pelo alto preço para aquisição destes equipamentos quando comparado aos transformadores com núcleo de aço silício.

Estratégias para o aumento da aplicação destes transformadores com núcleo amorfo ao redor do mundo tem sido intensificadas com intuito de reduzir as perdas eliminando os desperdícios para melhoria da eficiência dos sistemas elétricos. Estados Unidos e Japão tem dado incentivo para que as distribuidoras invistam nesses equipamentos devido a necessidade de ampliação da oferta de energia.

Estudos realizados na Europa indicam que as perdas de energia elétrica nos transformadores representam um terço das perdas ocorridas nos sistemas de distribuição e transmissão. Estima-se que se os 950 mil transformadores de distribuição de núcleo de aço silício que estão instalados nas redes de distribuição fossem substituídos por transformadores com núcleo amorfo a redução dos respectivos índices de perdas poderiam ser reduzidos em até 51,9% e isto representa 11,4TW/h/ano (CASTRO, 2010).

Na Ásia o Japão foi o pioneiro na aplicação de transformadores com núcleo amorfo em suas redes de distribuição. Atualmente o Japão possui ao menos quatro fabricas destes transformadores e uma fábrica de metal amorfo. Outros países da região como Austrália, China, Coréia, Filipinas e Tailândia possuem fábricas destes transformadores.

A Hitachi é a maior fabricante mundial destes transformadores e possui uma capacidade de produção de 140 mil peças anuais. Esta fábrica atende o mercado Europeu.

No Brasil por muitos anos o estudo se limitou a ensaios experimentais no ambiente acadêmico. Atualmente o Brasil já possui fabricantes destes transformadores em território nacional, porém a implantação destes transformadores ainda é tímida.

Neste contexto, a apresentação deste estudo será de extrema importância para que as concessionárias e as indústrias tenham mais confiança para fazer o investimento de forma segura.

O objetivo central deste trabalho é a análise da viabilidade técnica e econômica para implantação de transformadores com ligas amorfas em redes de distribuição

Alguns objetivos específicos que foram aplicados para o alcance do objetivo central são:

- A) Avaliação das perdas nos transformadores de distribuição com núcleo amorfo e com núcleo de silício por meio de resultados de ensaios.
- B) Analisar as vantagens e desvantagens do emprego de ambos os tipos de transformadores nos sistemas de distribuição;
- C) Comparativo do custo operacional destes transformadores;
- D) Payback comparativo para análise do investimento entre os transformadores;

Este trabalho trará para o setor elétrico uma avaliação completa do desempenho dos transformadores com núcleo amorfo, bem como as respostas a respeito da viabilidade econômica para sua implantação.

Estudos realizados nos Estados Unidos da América indicam as perdas ocorridas no núcleo constituem em 60% das perdas totais em um transformador de distribuição padrão e 45% do total das perdas que ocorrem em toda a rede de distribuição (Da Silva, 2015).

Caso seja viável, a implementação destes transformadores proporcionará uma importante redução do custo efetivo do sistema elétrico e aumento da oferta de energia. A abertura desta alternativa para as concessionárias distribuidoras poderá representar ganhos econômicos e sociais com a redução dos custos e será de grande valia para o alcance de um sistema elétrico que apresente maior

rentabilidade para seus acionistas e até uma depreciação do custo deste serviço para a sociedade.

2 DESENVOLVIMENTO

Nesse tópico serão discutidos alguns aspectos a respeito dos transformadores de distribuição com núcleo de aço silício e com núcleo utilizando metal amorfo e serão colocadas em evidência as visões de autores sobre o assunto. É importante conhecer alguns conceitos para uma maior compreensão do estudo proposto.

2.1 Transformadores

Um transformador, em sua essência, pode ser definido como uma máquina elétrica estática, sem partes móveis, no qual sua função é transformar um nível primário de tensão em um segundo ou mais níveis de tensão, através de dois ou mais enrolamentos que são acoplados por meio de um fluxo magnético comum regido pelas fundamentações da lei de Faraday e lei de Lenz (Fitzgerald, 2006).

O princípio de funcionamento de um transformador se baseia na indução magnética. Esse fenômeno foi descoberto por dois cientistas, o inglês Michael Faraday e o americano Joseph Henry, porém de forma independente.

Faraday apresentou uma série de experiências comprovou o princípio de Indução Eletromagnética de forma convincente. Ele descobriu que uma corrente que flui em uma bobina de fio enrolado a um pedaço de ferro converteria o ferro em um ímã e que se fosse inserido em outra bobina com um galvanômetro ligado a seus terminais haveria circulação de corrente. Porém percebeu que essa corrente durava pouco tempo, assim ao variar o campo magnético ao ligar e desligar a outra bobina surgia uma corrente elétrica na outra bobina. A invenção de Faraday continha toda a base teórica dos elementos dos transformadores que são duas bobinas independentes e um núcleo de ferro formando um circuito fechado (Da Silva, 2015).

Os estudos realizados por Joseph Henry constataram que a interrupção de corrente induzia uma alta tensão na bobina devido a rápida variação de fluxo (Lucas, 2000).

A descoberta de Faraday e Henry ficou restrita a aplicação até o surgimento dos sistemas elétricos de corrente alternada para a distribuição de energia.

Em 1882 Sebastian Ziani de Ferranti projetou um dos primeiros sistemas de energia de corrente alternada juntamente com Wilian Thonson. Para esse sistema foi criado o primeiro transformador. Gaulard e Gibbs mais tarde projetaram um transformador semelhante, porém este transformador teria sido construído com o núcleo aberto e não se mostrou eficiente (Lucas, 2000).

O primeiro transformador prático foi inventado pelos engenheiros Karoly Zipernowsky, Otto Blanty e Miksa Déri em 1885. Eles foram responsáveis por determinar que os transformadores com núcleo aberto eram impraticáveis pois não eram capazes de regular a tensão de modo confiável. Propuseram então a utilização de um núcleo fechado em uma forma toroidal. Algumas melhorias foram aparecendo também nessa época como a construção do núcleo a partir de chapas de ferro isoladas por folhas de papel finas e o emprego de lacunas ajustáveis para regular o campo magnético presente no enrolamento secundário (Lucas, 2000).

Por fim, em 1889 o engenheiro Mickhail Dolivo desenvolveu o primeiro transformador trifásico.

2.1.1 Evolução dos materiais utilizados na construção do núcleo de transformadores de distribuição

O desempenho e a eficiência dos transformadores estão diretamente ligados aos materiais que são empregados durante o processo de fabricação do núcleo destes equipamentos. A descoberta de matérias e adoção de novas técnicas de fabricação ao longo dos anos foram responsáveis pela gradual melhora dos índices de eficiência destes equipamentos (Da Silva, 2015).

O núcleo dos primeiros transformadores era fabricado com ferro forjado e era um projeto do tipo a seco usando o ar como isolante dielétrico e fluido de arrefecimento.

A tecnologia de fabricação de materiais especializados para serem empregados nesses equipamentos se iniciou por volta de 1900. A adição de pequenas quantidades de silício ou alumínio ao aço de baixo carbono propiciou a época uma melhora dos índices das perdas por histerese, aumento da permeabilidade magnética, aumento da resistividade assim como a redução das perdas por correntes parasitas (Lucas, 2000).

Os primeiros núcleos de aço silício foram produzidos usando aço de grão não orientado. Esses aços são obtidos através de um processo de laminação à quente em que os grãos são dispostos de maneira aleatória de modo que as propriedades magnéticas sejam independentes da direção da laminação proporcionando assim uma facilidade para passagem de fluxo magnético (Da Silva, 2015). Nessa mesma época ocorreu o desenvolvimento de um fluido para aplicação dielétrica. A partir do estudo desenvolvido a respeito da propriedade deste fluido, começou a ser produzido óleo mineral projetado especificamente para aplicação em transformadores (Da Silva, 2015).

Na década de 30, foi implementada a laminação a frio de aço silício de grãos orientados, sendo este um método de produção de chapas de aço com orientação dos grãos onde tanto as perdas no núcleo quanto a permeabilidade magnética variam dependendo da direção do fluxo magnético em função da direção na qual o material foi laminado.

Em 1968 teve início de produção o aço silício em forma de grãos orientados de elevada permeabilidade magnética. A permeabilidade alcançada era três vezes maior do que o melhor grão orientado de aço laminado a frio (MCLYMAN, 2004). Estes aços silício de grãos orientados representaram uma redução de 40% no ciclo de histerese, obtendo uma redução de energia dissipada a cada ciclo, conseqüentemente reduzindo a perda magnética e melhorando o desempenho (Islam, 2012).

O desenvolvimento de ligas amorfas para aplicação nos núcleos de transformadores tiveram início em 1975. O primeiro transformador com núcleo amorfo foi produzido na Laboratório Lincoln do Instituto Tecnológico de Massachusetts dos Estados Unidos em 1976 (Campos, 2006).

Na década de 90, foi desenvolvido uma nova classe de fluidos isolantes para aplicação em transformadores, o qual foi obtido a partir do óleo vegetal, sendo esses fluidos denominados fluidos ecologicamente corretos devido a sua característica biodegradável e renovável (Uhren, 2007).

2.1.2 Perdas

Segundo (Cardoso, 2005), o estudo da eficiência de transformadores de distribuição, que tem sido amplamente difundido na Europa, é motivado pelas

perdas de energia que, no sistema elétrico mundial como um todo, é da ordem de 1.279 TWh. Este valor varia para cada país entre 3,7% e 26,7% do consumo de energia e demonstra um grande potencial de melhoria tanto no aspecto técnico, quanto no econômico.

O potencial de economia de energia anual para uma planta com 2,5 milhões de transformadores de distribuição de 30 KVA, para uma determinada demanda, é em torno de 502.750 MWh/ano para concessionárias resultando em uma economia de R\$ 46,95 milhões por ano (Picanço, 2006).

Em alguns países europeus, por exemplo, o potencial anual de economia de eletricidade em transformadores de distribuição, avaliado segundo PROPHET – *Promotion Partnership for High Efficiency Transformers* é em torno de 22 TWh para concessionárias além da não emissão de 9 Mt/ano de CO₂ (Leonardo, 2006).

Segundo (Nogueira, 2009), as perdas são conhecidas como “escoamento de potência”, que fazem com que a potência de saída do transformador seja diferente da potência de entrada.

As perdas dos transformadores são divididas em perdas a vazio, que são constantes e independentes do regime de cargas e perdas sob carga. As perdas impõem dois problemas distintos aos sistemas elétricos. O primeiro é relacionado com a necessidade de potência disponível, ou seja, capacidade instalada de geração. Já o segundo é relacionado com a disponibilidade de energia. Deste modo, o custo das perdas pode ser dividido em duas parcelas uma relacionada com os requisitos de demanda e a outra com os requisitos de consumo, ou em última análise, custos de expansão e fornecimento (NOGUEIRA, 2009).

As perdas no núcleo são determinadas pelo fluxo estabelecido no circuito magnético e são constantes em uma dada tensão para cada transformador. Elas aparecem sempre que o transformador é ligado à rede e independem da carga que está sendo alimentada. As características construtivas do transformador e as propriedades magnéticas das ligas de aço-silício interferem diretamente no valor das perdas no núcleo (STINGANT, S. A. and FRANKLIN, A. C., 1973), (NOGUEIRA, 2009) apresentaram as características das perdas que ocorrem no núcleos dos transformadores:

A) Perdas no Cobre

É decorrente do Efeito Joule que ocorre nos condutores dos enrolamentos do transformador ao serem percorridos pela corrente elétrica. É proporcional ao quadrado da corrente do enrolamento.

B) Correntes de Foucault

São também conhecidas como correntes parasitas. Estas correntes circulam no interior do núcleo do transformador quando este é submetido a um fluxo variante, provocando perdas por efeito Joule. Esta perda é proporcional ao quadrado da tensão aplicada no transformador.

C) Histerese

Está associada a reorganização dos momentos magnéticos atômicos do material ferromagnético que compõe o núcleo do transformador. Cada vez que o ciclo de histerese é percorrido, uma parcela de energia é gasta para que estes momentos magnéticos sejam realinhados.

D) Fluxo de dispersão

Os fluxos magnéticos que concatenam com apenas um enrolamento e cujas trajetórias são definidas majoritariamente através do ar são denominados fluxos de dispersão. Estes fluxos apresentam uma indutância própria para as bobinas.

2.1.3 Aspectos construtivos

Nesta seção serão abordados os tipos de construção dos enrolamentos no núcleo, e os tipos de lâminas que podem ser empregadas para formar o núcleo de um transformador.

2.2 Tipos de núcleo

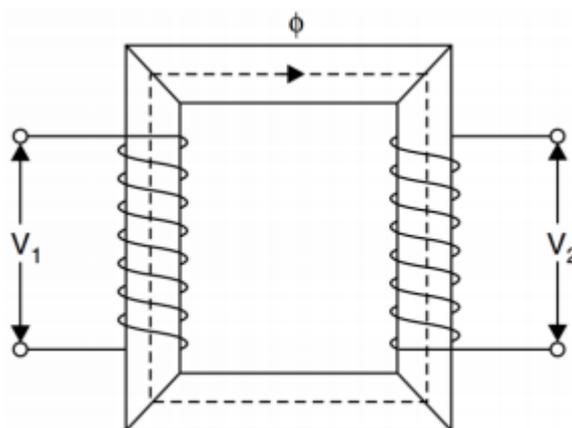
Em geral, os transformadores de potência são construídos sob a forma de dois tipos de núcleo, do tipo envolvido ou do tipo envolvente. Essa denominação

refere-se a maneira como os enrolamentos estão dispostos no núcleo (CHAPMAN, 2013).

2.2.1 Núcleo do tipo envolvido

Neste tipo de núcleo, o fluxo magnético percorre um único caminho, como verificado na Figura 1, e a parte do núcleo que contém o enrolamento, é comumente chamada de perna ou coluna.

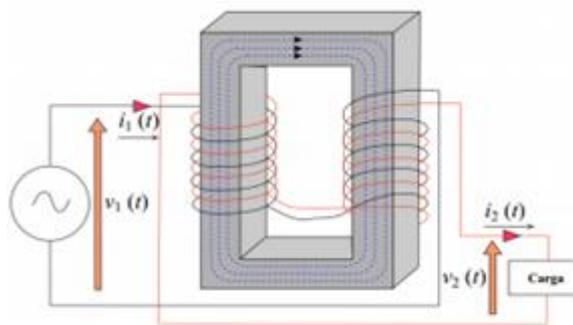
Figura 1: Núcleo do Tipo Envolvido



Fonte: Dasgupta, 2009

De acordo com a Figura 2, os enrolamentos são montados ao redor das pernas de forma cilíndrica e concêntrica; na grande maioria das vezes, o enrolamento de Baixa Tensão (BT) é localizado na parte mais interna do cilindro, e o enrolamento de Alta Tensão (AT) na parte mais externa; para balancear o peso e aproveitar melhor a distribuição do fluxo magnético. Há divisão das bobinas, de modo que fique, aproximadamente, metade dos enrolamentos de BT e AT em cada uma das pernas, as principais vantagens para esse tipo de núcleo são fácil reparo, melhor resfriamento e construção simplificada (AGUIAR, 2007).

Figura 2: Núcleo do Tipo Envolvido

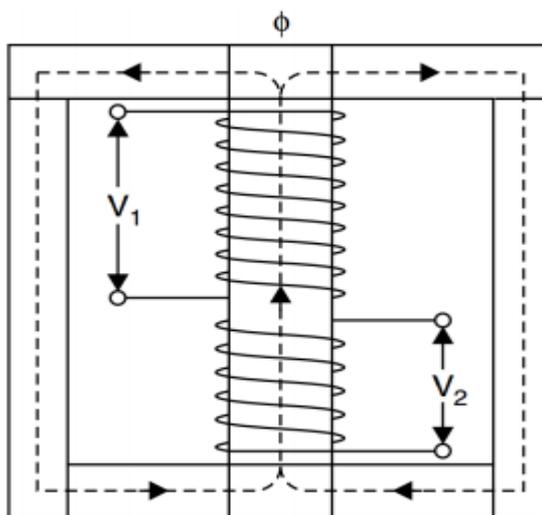


Fonte: Aguiar, 2007

2.2.2 Núcleo do tipo envolvente

Neste tipo de núcleo, o fluxo magnético percorre mais de um caminho, como pode ser verificado na Figura 3, ou seja, os enrolamentos estão sobre uma perna central, por onde passa o fluxo magnético total, e em seguida, o fluxo percorre as colunas laterais (as quais possuem a metade da seção reta da perna que contém os enrolamentos).

Figura 3: Núcleo do Tipo Envolvente

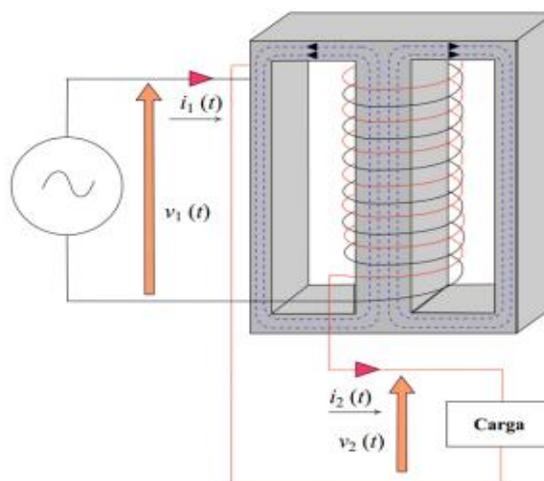


Fonte: Dasgupta, 2009

Os enrolamentos são dispostos sobre a perna central e formando camadas alternadas, entre baixa e alta tensão, como verificado na Figura 4.

A vantagem deste tipo de arranjo está relacionada quando, exposto a sistemas desequilibrados e presença de harmônicos haverá caminho independente para os fluxos de sequência zero (Aguiar, 2007).

Figura 4: Núcleo do Tipo Envolvente



FONTE: Aguiar, 2007

2.2.3 Materiais usados no núcleo dos transformadores

O desempenho e a eficiência dos transformadores estão diretamente relacionados ao tipo de material utilizado na construção do núcleo. Ao longo dos anos, a descoberta de novos materiais, as técnicas de fabricação e isolamento das chapas foram progressivamente qualificadas, conduzindo a significativas melhorias no desempenho dos transformadores.

Para melhor condução do fluxo magnético e redução o fluxo disperso o núcleo do transformador deve ser composto por material ferromagnético. Para reduzir os efeitos causados por correntes parasitas, o núcleo deve ser laminado, ou seja, no lugar de usar material maciço utiliza-se lâminas do material ferro magnético, que são isoladas entre si. Materiais utilizados em núcleo de transformadores possuem ferro e ligas adicionais, e através de tratamentos especiais obtém-se as propriedades ideais para fabricação de lâminas para ser utilizadas em máquinas elétricas.

Abaixo serão apresentadas alguns materiais ferromagnéticos que são empregados em transformadores de distribuição:

- A) Aço Silício;
- B) Ferro Níquel;
- C) Ferro Cobalto;
- D) Ligas Amorfas.

2.2.3.1 Aço silício

No começo do século XX, o metalurgista Robert Hadfield estudou as propriedades eletromagnéticas das ligas de ferro-silício (Fe-Si), e observaram que a resistividade do Fe era bastante aumentada com a adição do silício, o que contribuía para a redução das perdas causadas por correntes parasitas.

Com este estudo, ocorreu o início do desenvolvimento tecnológico da fabricação e utilização do aço silício. No início, foram desenvolvidos os aços de grão não orientados, nos quais a estrutura cristalina não possui orientação definida, proporcionando facilidade de passagem do fluxo magnético em qualquer direção. Esse tipo de aço é particularmente indicado para uso em estatores de máquinas elétricas rotativas. Em 1934, Norman Goss criou um método de produção de chapas de aço silício de grãos orientados (GO), cuja estrutura cristalina possui uma direção preferencial de magnetização, potencializando assim a sua utilização em núcleos de transformadores.

Segundo (Teixeira, 2011), o silício apresenta algumas características favoráveis e outras desfavoráveis, são elas:

- Características favoráveis:
 - A) Diminuição da magnetostricção;
 - B) Diminuição da anisotropia magnetocristalina;
 - C) Aumento da resistividade elétrica;

- Características desfavoráveis:
 - A) Diminuição da ductibilidade;
 - B) Diminuição da saturação magnética.

2.2.3.2 Ligas amorfas

Segundo (Flores, 1989), na década de 60 foram descobertas as propriedades ferromagnéticas dos metais amorfos, embora as mesmas já tivessem sido previstas por simulações, e feitas as primeira fitas de material uniforme. Estas ligas amorfas tem uma interessante combinação de propriedades como consequência de sua estrutura molecular incomum.

Segundo (Teixeira, 2011), o Metal Amorfo é uma liga que possui uma estrutura não-cristalina, que é formada pelo resfriamento rápido do metal fundido a taxas de resfriamento de 10^6 °C/sec. Os átomos não ficam organizados em uma estrutura orientada de grãos (GO), mas, sim, distribuídos aleatoriamente. Depois do recozimento sob um campo magnético, esta liga exhibe baixas perdas e ganha excelentes propriedades Magnéticas e Químicas, quando comparada ao material convencional.

Segundo (Salotti, 1999), as ligas amorfas para aplicação em transformadores de distribuição começaram a ser desenvolvidas em 1976 e até os períodos atuais estudos vêm sendo realizados e desenvolvendo melhoras significativas no rendimento final destes transformadores.

Segundo (Flores, 1989), as ligas amorfas apresentam as seguintes características:

- A) Facilmente magnetizável;
- B) Alta resistividade elétrica;
- C) Baixos níveis de perdas magnéticas por histerese;
- D) Alta resistência elétrica;
- E) Estabilidade térmica;
- F) Longa vida útil;
- G) Alta resistência à corrosão;
- H) Alta dureza;
- I) Extrema ductibilidade.

2.2.3.3 Comparação entre ligas amorfas e aço silício

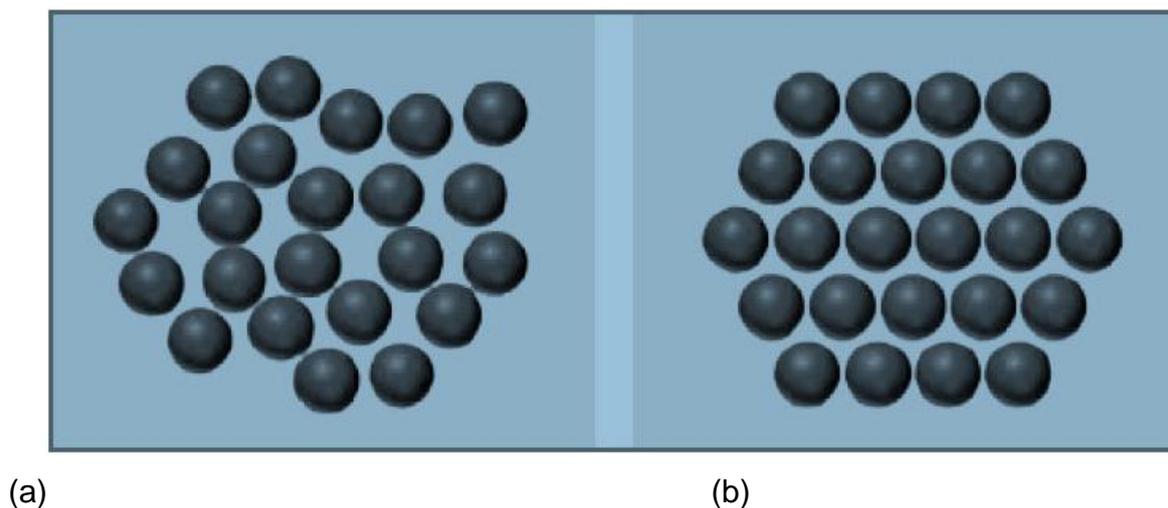
As características do metal amorfo são bem diferentes daquelas dos aços silício que são empregados atualmente na confecção dos núcleos dos

transformadores. As ligas metálicas como o aço silício, possuem estruturas atômicas cristalinas, onde os átomos estão arranjados em uma rede ordenada e repetida (Pronto, 2010). Diferentemente destas ligas os metais amorfos têm seus átomos distribuídos de um modo praticamente aleatório e desprovidos de ordem à longa distância, como nos vidros (Islam, 2012).

Os metais amorfos apresentam características magnéticas conhecidamente favoráveis ao estabelecimento da indução magnética. A ausência de uma estrutura cristalina em metal amorfo permite fácil magnetização do material (Da Silva, 2012).

A Figura 5 apresenta a diferença entre a estrutura do metal amorfo e o aço silício de grão orientado.

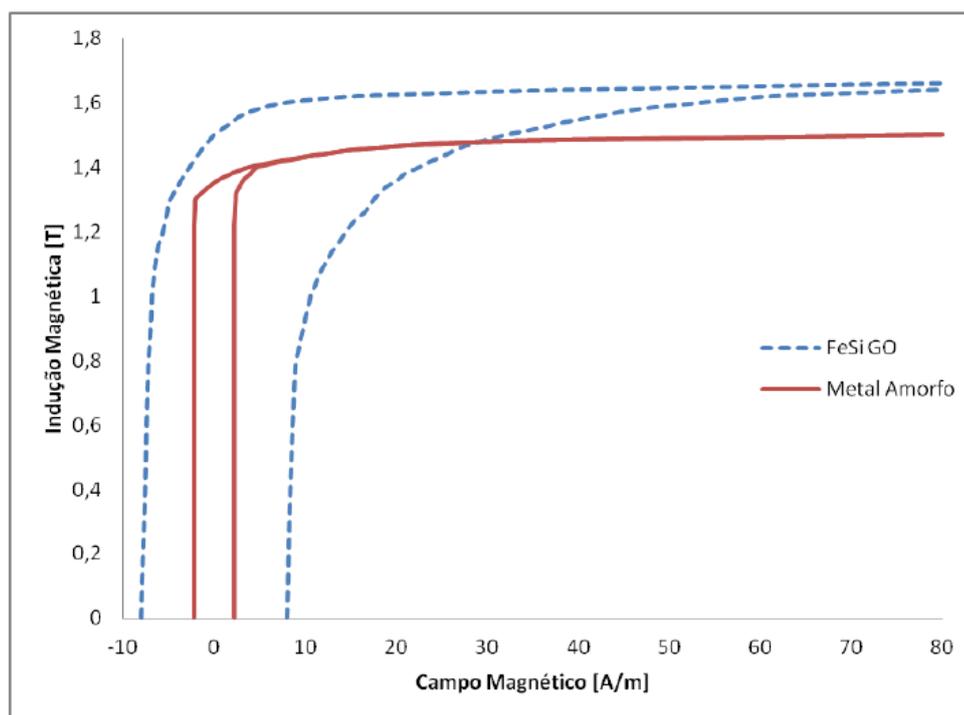
Figura 5: a) Estrutura Amorfa / b) Estrutura Cristalina



Fonte: Da Silva, 2012

A curva de histerese de um material reflete essa facilidade de magnetização conforme apresenta a Figura 6:

Figura 6: Curva de magnetização



Fonte: Da Silva, 2012

A área interna do laço criado devido a magnetização e desmagnetização do material e é entendida como a energia perdida durante o processo, ou seja as perdas do núcleo são determinadas pela área da curva de histerese. Ainda pôde-se observar que a curva de magnetização da liga amorfa possuiu uma pequena magnetização. Esse fato ocorre devido à baixa coercividade, o que permite a rápida inversão de fluxo magnético e a excelente permeabilidade magnética desses metais (Da Silva, 2012). Esses fatores são determinantes para a melhoria da eficiência magnética refletindo em perdas menores com relação ao aço silício.

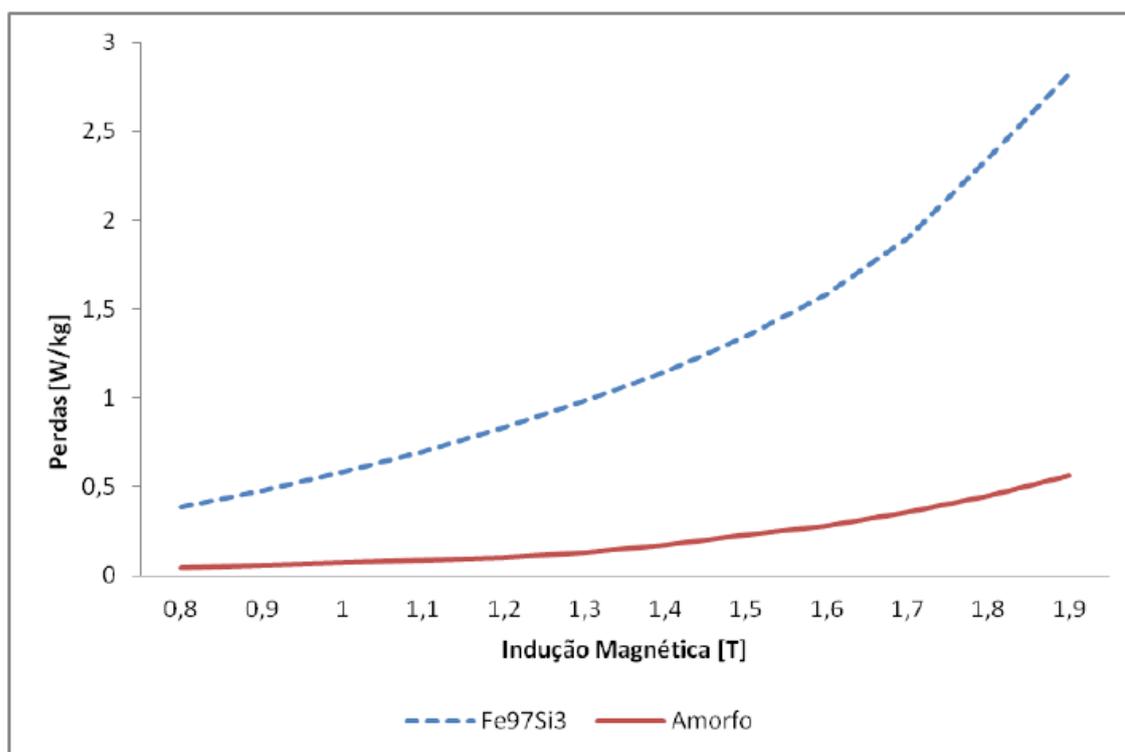
Além disso, o metal amorfo satura em um nível menor de magnetização. As ligas amorfas apresentam uma indução de saturação 20% menor quando comparado ao aço silício para mesma temperatura. Somado a isto, as perdas devido a corrente de Foucault são também menores no metal amorfo, devido a combinação de sua baixa espessura e uma elevada resistividade elétrica (Da Silva, 2012).

Os valores das perdas nos materiais utilizados para confecção dos transformadores são fornecidos pelos fabricantes em W/kg em função da indução. Neste contexto, a Figura 7 mostra o comparativo dos valores dessas perdas em ambos os materiais.

Nota-se que as perdas em W/kg do metal amorfo são significativamente menores do que as do aço silício. Essa característica é uma das grandes vantagens da utilização do metal amorfo na fabricação de núcleos de transformadores, pois esse material proporciona uma grande perda à vazio (Da Silva, 2012).

Outra grande vantagem do metal amorfo é que o mesmo admite uma espessura das lâminas do núcleo da ordem de magnitude 10 vezes menor do que o aço silício (Soltazandeh, 2012). Como se pôde observar os autores apresentaram três características muito positivas dos transformadores de núcleo amorfo são elas: redução das perdas por histerese, redução da espessuras das lâminas e a resistividade do material.

Figura 7: Comparativo das Perdas em W/kg

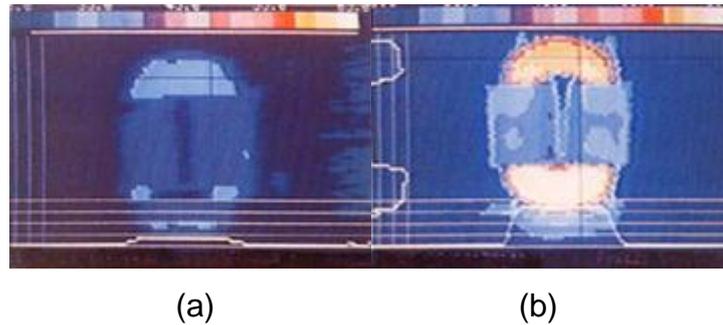


Fonte: Da Silva, 2012

A Figura 8 apresentada abaixo demonstra a distribuição da temperatura das perdas do núcleo quando observado através de uma câmera de raios infravermelho.

O Núcleo Amorfo indica uma elevação menor de temperatura devido à baixa perda inerente do Núcleo quando comparado ao aço silício.

Figura 8: Comportamento de temperatura a) núcleo amorfo / b) Aço silício



Fonte: VIJAI, 2018

2.3 Rendimento de um transformador

Segundo (Lisita, L.R, 2004), o rendimento de um transformador é a razão entre a potência ativa aplicada na carga e a potência ativa proveniente da fonte entregue ao transformador. Conforme a Equação (1) apresenta abaixo:

$$n = \frac{\text{Potência}_{saída}}{\text{Potência}_{entrada}} \cdot 100 \quad (1)$$

Para que possa ser cumprida as perdas envolvidas no processo de transformação, é necessário que a potência de entrada seja igual a potência de saída incluindo a potência das perdas, como verificado abaixo na equação 2:

$$\text{Potência}_{entrada} = \text{Potência}_{saída} + \text{Potência}_{condutor} + \text{Potência}_{ferro} \quad (2)$$

Desta forma, a Equação 1 pode ser reescrita de acordo com a Equação 3.

$$n = \frac{\text{Potência}_{saída}}{\text{Potência}_{saída} + \text{Potência}_{condutor} + \text{Potência}_{ferro}} \cdot 100 \quad (3)$$

De acordo com (Chapman, 2013), a potência de saída do transformador pode ser determinada de acordo com a Equação 4, em que $\cos(\theta)$ é o fator de potência da carga.

$$\text{Potência}_{saída} = V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \theta \quad (4)$$

As equações de perdas no cobre e perdas no ferro foram determinadas com base na massa, ou seja, de posse da massa dos enrolamentos e do núcleo é possível determinar as perdas nestes elementos, desta maneira, o rendimento pode ser determinado de acordo com a Equação 4.

$$n = \frac{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \theta}{V_2 \cdot I_2 \cdot \cos \theta \cdot \delta^2 \cdot M_{condutor} + \frac{1}{2} M_{ferro} \cdot M_{ferro}} \cdot 100\% \quad (5)$$

É visto que as massas dos elementos que compõem o transformador influenciam em seu rendimento, pois quanto maior a massa menor será o rendimento. Desta forma, informações sobre os aspectos de construção e dos elementos construtivos são de fundamental importância para determinar quais diretrizes a serem aplicadas no projeto de um transformador.

2.4 Corrente de excitação

Segundo (Teixeira, 2011), a corrente de excitação de um transformador é a corrente drenada da fonte conectada ao seu primário quando o secundário encontra-se em aberto. Para o transformador ideal considera-se a corrente de excitação como nula.

2.5 Ensaios

Os ensaios constituem importantes testes realizados em transformadores para o estabelecimento de parâmetros e verificação do funcionamento dos mesmos e dependendo dos resultados, as características dos equipamentos podem ser mantidas ou alteradas com o objetivo de fornecer maior estabilidade e segurança durante o seu funcionamento.

2.5.1 Ensaio de perdas a vazio

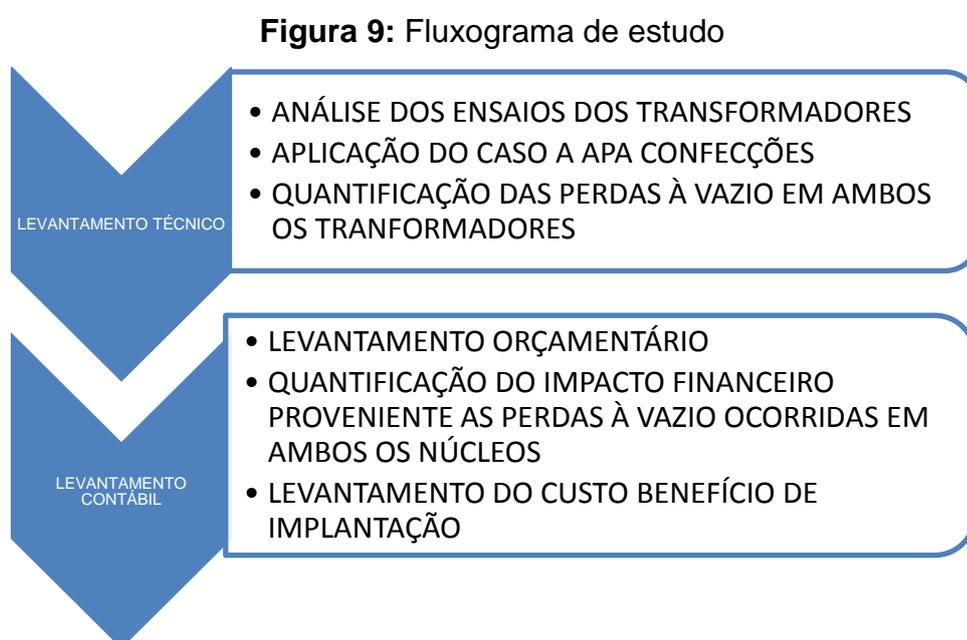
O ensaio a vazio é utilizado para detectar as perdas do núcleo, neste ensaio o transformador fica em circuito aberto. Normalmente o ensaio é feito com enrolamento de baixa tensão (secundário) em aberto, não ligado a nada. Desta

forma, o transformador está então a vazio pois não há carga conectada ao secundário. Como não há carga no secundário a corrente neste enrolamento é nula, e a corrente no primário é mínima, suficiente apenas para promover a magnetização do núcleo. Aplica-se tensão nominal no primário e no secundário do transformador não há circulação de corrente. A corrente do primário tem valor muito baixo sendo responsável apenas pela magnetização do núcleo do transformador. Dessa maneira, podemos desprezar as perdas joule dos enrolamentos e as dispersões de fluxos, sendo somente consideradas as perdas no núcleo (KOSOW, 2015).

As duas principais perdas em vazio são: perdas por histerese (que são provocadas pela propriedade dos materiais ferromagnéticos de apresentarem um atraso entre a indução magnética e campo magnético) e as perdas por correntes parasitas (FERREIRA E FINOQUIO, 2016).

3 METODOLOGIA

Para execução deste estudo serão considerados dois levantamentos. Um levantamento de viabilidade econômica e outro com levantamento com o detalhamento da viabilidade técnica para a aplicação dos transformadores com núcleo amorfo em um determinado estudo de caso. A Figura 9 apresenta as etapas do estudo:



FONTE: Autoria própria, 2018

3.1 Viabilidade técnica e econômica

Para comprovação da viabilidade técnica serão realizadas análises dos ensaios de perdas à vazio em que transformadores de distribuição de núcleo amorfo e núcleo de aço silício foram submetidos após o término da fabricação para comprovar grau de eficiência de ambos.

Para um comparativo preciso, foram utilizados nos ensaios transformadores com a mesma potência nominal, número de fases iguais e mesmas classes de tensão. Com isso conseguiremos dados detalhados a respeito da eficiência energética de cada um destes transformadores.

Para comprovação econômica, este estudo irá mensurar o impacto causado pelas perdas em ambos os núcleos. Serão levadas em consideração as possíveis reduções de custos operacionais geradas a partir da substituição dos transformadores.

A viabilidade econômica da aplicação destes transformadores será realizada através de cálculos relacionados ao custo benefício de implantação levando em consideração o custo evitado de energia.

Serão feitos levantamentos orçamentais para implantação dos transformadores que utilizam núcleo amorfo e núcleo de silício para determinação do custo benefício de cada um deles em uma projeção por um determinado período de tempo de utilização em longo prazo.

3.2 Estudo de caso aplicado a empresa Apa Confecções

O estudo de caso será aplicado a uma empresa do setor têxtil que possui em suas instalações três transformadores com núcleo de aço silício. Serão executados levantamentos para quantificar as perdas à vazio que ocorrem nestes transformadores e projeções das perdas à vazio em transformadores com núcleo amorfo com as mesmas especificações técnicas para pôr fim determinar a viabilidade técnica e econômica para implementação destes transformadores.

Para isto serão analisados os resultados dos ensaios de perdas à vazio dos transformadores que estão empregados na APA Confecções e os resultados dos ensaios de perdas à vazio que foram executados pela VIJAI que é a fabricante dos transformadores com núcleo amorfo no Brasil.

Após a determinação das perdas em ambos os núcleos, serão mensurados a redução do consumo e demanda propiciado pela substituição e o consequente impacto financeiro resultante.

Por fim, após uma análise de orçamentos será possível definir o tempo em que investimento resultante da substituição dos transformadores levará para proporcionar retorno aos investidores.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este tópico trará uma abordagem sistemática dos resultados e discussões desta pesquisa. Inicialmente, este tópico apresenta comparativos entre as perdas à vazios em transformadores monofásicos e trifásicos para exemplificar de modo geral o ganho energético alcançado pelas baixas perdas que os transformadores com núcleo amorfo apresentam nas diversas classes de potência.

Serão detalhados também os resultados dos ensaios que foram realizados pela Romagnole nos transformadores que estão instalados na APA Confecções e compará-los com os resultados dos ensaios executados pela VIJAI em seus transformadores com núcleo amorfo para comprovação da viabilidade técnica para implantação dos transformadores com núcleo amorfo. Essa comparação será importante para o alcance do diagnóstico a respeito das perdas que estão ocorrendo atualmente nos transformadores com núcleo de aço silício que estão empregados na empresa.

O levantamento técnico trará uma abordagem sistemática da quantidade de energia desperdiçada atualmente pela APA Confecções devido as perdas à vazios que ocorrem em seus transformadores e ainda apresentará simulações com o detalhamento das perdas à vazios que ocorreriam caso fosse implantado o transformador de núcleo amorfo com as mesmas especificações técnicas.

Este tópico apresentará ainda o detalhamento da viabilidade econômica para implantação dos transformadores com núcleo amorfo na Apa Confecções através da contabilização do impacto financeiro causado pelos transformadores que lá estão instalados. Também serão executadas contabilizações referentes a economia que a implementação de transformadores de núcleo amorfo proporcionaria com a energia consumida e demanda evitada. E por fim a simulação de quanto tempo a APA Confecções levaria para obter retorno, o chamado payback.

4.1 Ensaios dos transformadores

Estes ensaios foram executados no Laboratório de ensaios elétricos da VIJAI Elétrica do Brasil localizado em João Pessoa-PB. A VIJAI é uma empresa que

fabrica tanto o transformador com núcleo de metal amorfo como o núcleo de aço silício.

Além dos testes realizados previamente em seus sub-componentes, cada transformador é ensaiado no laboratório de ensaios imediatamente após o processo de produção para assegurar-se a entrega do produto dentro dos parâmetros normativos.

4.1.1 Comparativo de perdas em vazio

Este ensaio é realizado nos transformadores para detecção das perdas que ocorrem no núcleo, por isto o detalhamento de seus resultados é de suma importância para comprovação da viabilidade técnica.

As duas principais perdas em vazio são: perdas por histerese (que são provocadas pela propriedade dos materiais ferromagnéticos de apresentarem um atraso entre a indução magnética e campo magnético) e as perdas por correntes parasitas.

4.1.1.1 Perdas a vazio em transformadores monofásicos

A Tabela 1 representada abaixo apresenta uma análise entre a diferença do comportamento das perdas em vazio nos transformadores de distribuição monofásicos que utilizam núcleo amorfo e núcleo de aço silício utilizando como base a classe 15KV. A Tabela apresenta uma analogia com os resultados deste ensaio para transformadores com a mesma classe de potência, aplicado a lotes de 5KVA a 100KVA.

Tabela 1: Comparativo de Perdas à vazio - Transformadores Monofásicos

Monofásico - Classe 15KV			
Potência (KVA)	Perdas em vazio no transformador com núcleo amorfo (W)	Perdas em vazio no transformador com núcleo de aço silício (W)	Redução das Perdas Amorfo x Aço Silício (W)
5	10	50	80%
10	14	60	76,67%
15	19	86	77,91%
25	28	120	76,67%
37,5	40	160	75,00%
100	70	280	75,00%
	Média		77%

Fonte: Vijai Elétrica, 2018

Como podemos observar na Tabela 1, as perdas em vazio nos transformadores monofásicos se apresentou em média 77% menor nos transformadores com núcleo amorfo. Essa diferença pode chegar a 80% para os transformadores monofásicos de 5KV, transformador esse que é muito empregado em zonas rurais.

4.1.1.2 Perdas a vazio em transformadores trifásicos

A Tabela 2 representada abaixo, apresenta uma análise entre a diferença do comportamento das perdas em vazio nos transformadores de distribuição trifásicos que utilizam núcleo amorfo e núcleo de aço silício utilizando como base a classe 15KV. A tabela traz uma analogia com os resultados deste ensaio para transformadores com a mesma classe de potência, aplicado a lotes de 15KVA a 300KVA.

Tabela 2: Comparativo de Perdas à Vazio - Transformadores Trifásicos

Trifásicos - Classe 15KV			
Potência (KVA)	Perdas no Núcleo Amorfo (W)	Perdas no Núcleo de Aço Silício (W)	Ganho Amorfo x Aço Silício (W)
15	30	100	70%
45	53	220	75,91%
75	90	330	72,73%
112,5	105	440	76,14%
150	135	540	75,00%
300	270	950	71,58%
	Média		74%

Fonte: Vijai Elétrica, 2018

Como podemos observar na Tabela 2, as perdas em vazio nos transformadores trifásicos se apresentou em média 74% menor nos transformadores com núcleo amorfo. Essa diferença pode chegar a 76,14% para os transformadores trifásicos de 112,5KV, transformador esse que é muito empregado nas regiões centrais das cidades.

4.2 Estudo de caso aplicado a APA confecções

Para comprovação da viabilidade econômica da implantação dos transformadores de núcleo amorfo este estudo de caso foi aplicado a uma empresa de grande porte do setor têxtil situada na cidade de Leopoldina – MG.

Foram feitos levantamentos para análises dos transformadores com núcleo de aço silício instalados nesta fábrica para posterior comparação com o modelo de um transformador de núcleo amorfo com as mesmas características. A APA Confecções

possui em sua fábrica 3 transformadores trifásicos com núcleo de aço silício que foram fabricados pela Romagnole. As características técnicas destes transformadores estão dispostas na tabela abaixo:

Tabela 3: Características Técnicas dos Transformadores da APA Confeccões

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DOS TRANSFORMADORES DA EMPRESA APA CONFECÇÕES	
QUANTIDADE	3
FABRICANTE	ROMAGNOLE
POTÊNCIA NOMINAL	300 KVA
CONEXÃO	DYN1
TENSÃO PRIMÁRIA	13800 A 10200V
CORRENTE PRIMÁRIA	12,55 A
FREQUÊNCIA	60 Hz
NUMERO DE FASES	3
TENSÃO SECUNDÁRIA	220 / 127
CORRENTE SECUNDÁRIA	787,3
DESLOCAMENTO ANGULAR	30

Fonte: Romagnole, 2015

3.2.1 Perdas à vazio nos transformadores da Apa Confeccões

O Relatório de Ensaios dos transformadores que estão instalados na Apa Confeccões apresentaram as altas perdas à vazio que ocorrem nos transformadores com núcleo de aço silício. Os resultados destes ensaios evidenciaram a possibilidade de melhoria dos índices de perdas à vazio e consequente redução dos desperdícios com uma possível substituição por transformadores de núcleo amorfo.

Abaixo são apresentados na Tabela 4 os índices de perdas à vazio que foram detectadas no ensaio realizado pela Romagnole que é a fabricante dos transformadores que estão instalados na APA Confeccões e índices de perdas a vazio registradas em transformadores de núcleo amorfo com as mesmas especificações técnicas:

Tabela 4: Comparativo com os resultados dos ensaios de perdas à vazio entre os núcleos de aço silício e núcleo amorfo

COMPARATIVO DOS RESULTADO DOS ENSAIOS DE PERDAS A VAZIO			
NÚCLEO AÇO SILÍCIO 300 KVA		NÚCLEO AMORFO 300 KVA	
TRAFO 1	1182,42 W	TRAFO 1	170 W
TRAFO 2	1199,45 W	TRAFO 2	170 W
TRAFO 3	1243,88W	TRAFO 3	170 W
TOTAL	3625,75 W	TOTAL	510 W

Fonte: Romagnole, 2015 e VIJAI, 2018

O comparativo entre os ensaios de perdas à vazio mostram que as perdas que ocorrem no núcleo de ligas amorfas são em média 85,94% menores que nos núcleos de ligas de aço silício.

3.2.2 Quantificação das perdas à vazio

Para determinar a viabilidade técnica da implantação dos transformadores de núcleo amorfo da Apa Confeções é necessário quantificar as perdas à vazio que ocorreram no período de um mês.

Para isto foi necessário aplicar os valores das perdas à vazio de ambos os transformadores que foram obtidas através dos ensaios, levando em consideração a quantidade de horas e a metodologia de cobrança imposta pela distribuidora, com isso será possível determinar a quantidade de energia perdida conforme a Equação 5 apresenta:

$$PV = \sum HS . \sum PV \quad (5)$$

Onde:

PV = Perdas à vazio;

$\sum HS$ = Somatório de Horas (Mês);

$\sum PV$ = Somatório de Perdas à vazio dos transformadores.

Os resultados da aplicação da Equação 5 estão dispostos na Tabela 5 abaixo:

Tabela 5: Quantificação das Perdas à Vazio

QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS - TRAFOS APA CONFECÇÕES E TRAFOS AMORFO		
QTDE. DE HORAS – SETEMBRO	PERDAS À VAZIO ATUAIS (AÇO SILÍCIO)	PERDAS À VAZIO – MODELO PROPOSTO (AMORFO)
720	2610,9 KW/h	367,2 KW/h

Fonte : Autoria Própria, 2018

A Tabela 5 apresenta a disparidade entre perdas à vazio registradas entre os núcleos. Percebe-se que uma possível substituição dos transformadores de aço silício na APA Confeções resultaria em uma significativa redução do consumo de energia daquela empresa. Se aplicados, os 3 transformadores com núcleo amorfo reduziriam o consumo da Apa Confeções em 2243,7KW/h no mês de estudo, o que representaria uma redução em média de 85,94%.

3.2.1 Contabilização financeira das perdas à vazio

Para determinar a viabilidade econômica da implantação dos transformadores de núcleo amorfo na APA Confeções é necessário contabilizar o impacto causado pelas perdas à vazio em sua fatura de energia.

No Brasil, as unidades consumidoras são classificadas em dois grupos tarifários: Grupo A, que tem tarifa binômica e Grupo B, que tem tarifa monômica. O agrupamento é definido, principalmente, em função do nível de tensão em que são atendidos e também, como consequência, em função da demanda (kW).

O enquadramento tarifário em que a APA Confeções pertence é subgrupo A4 que corresponde aos clientes industriais que utilizam nível de tensão entre 2,3 a 25KV. Neste grupo, a estrutura tarifária binômica que é aplicada a tarifação no consumo mensal e demanda máxima atingida. Neste caso o cliente contrata uma demanda máxima de potência ativa a ser obrigatoriamente e continuamente disponibilizada pela concessionária. Essa modalidade tarifária exige um contrato

específico com a concessionária, no qual se pactua a demanda pretendida pelo consumidor (Demanda Contratada), independentemente da hora do dia (ponta ou fora de ponta). A fatura de energia elétrica desses consumidores é composta da soma de parcelas referentes ao consumo (na ponta e fora dela), demanda e ultrapassagem.

Assim, as perdas à vazio registradas no mês foram divididas de forma que a tarifação delas ocorram dentro da metodologia estabelecida pela concessionária considerando horários de ponta e fora de ponta, conforme descrito pela Equação 6.

$$PV = \sum_{HS} FP \cdot \sum_{PV} TF + \sum_{HS} P \cdot \sum_{PV} TF \quad (6)$$

Onde:

PV = Perdas à vazio;

$\sum_{HS} FP$ = Somatório de Horas Fora de Ponta (Mês);

$\sum_{P.V}$ = Somatório de Perdas à vazio Transformadores 1, 2 e 3;

$\sum_{HS} P$ = Somatório de Horas de Ponta (Mês);

A partir da aplicação da Equação 6 foi possível dividir as perdas conforme estrutura tarifária da APA Confeccões. Os valores obtidos estão descritos abaixo na Tabela 6:

Tabela 6: Perdas à Vazio em Horários de Ponta e Fora de Ponta

QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS À VAZIO - HORÁRIO DE PONTA E FORA DE PONTA (SETEMBRO / 18)					
QTDE DE HORAS FORA DE PONTA	QTDE DE HORAS DE PONTA	TRAFO AÇO SILÍCIO - HORÁRIO DE PONTA	TRAFO AMORFO - HORÁRIO DE PONTA	TRAFO AÇO SILÍCIO - HORÁRIO FORA DE PONTA	TRAFO AMORFO - HORÁRIO FORA DE PONTA
663	57	206,70 KW/h	29,07 KW/h	2404,20 KW/h	338,13 KW/h

Com isso foi possível definir a quantidade total de energia desperdiçada nos transformadores instalados na APA Confeções para o mês de setembro e também projetar a quantidade de energia desperdiçada caso no mesmo período estivessem instalados na empresa transformadores de núcleo amorfo. Os resultados podem ser vistos na Tabela 7:

Tabela 7: Totalização das Perdas à Vazio para o mês de setembro / 2018

QUANTIFICAÇÃO DAS PERDAS A VAZIO - APA CONFECÇÕES - SETEMBRO 2018		
NÚCLEO DE AÇO SILÍCIO (KW/h)	NÚCLEO AMORFO (KW/h)	GANHO DE ENERGIA (KW/h)
2610,9	367,2	2243,7

Fonte: Autoria Própria, 2018

O medidor localizado na APA Confeções registra sua memória de massa a cada 15 minutos o consumo da empresa distinguindo os horários de ponta e fora de ponta conforme disposições definidas na estrutura tarifária.

Tabela 8: Estrutura Tarifária Energisa Minas Gerais – Consumo

ESTRUTURA TARIFÁRIA	
ENERGISA MINAS GERAIS – CONSUMO	
PONTA	FORA DE PONTA
ALÍQUOTA POR (KW/h)	ALÍQUOTA POR (KW/h)
R\$ 1,63	R\$ 0,08

Fonte: Energisa Minas Gerais

Os valores expostos na Tabela 8 estão contemplando a cobrança dos tributos federais (PIS / COFINS) e estaduais (ICMS).

Para quantificar economicamente as perdas à vazio em ambos os núcleos dos transformadores foi necessário aplicar o total de perdas a vazio de cada transformador nas Equações 7 e 8:

$$THP = \sum_{PV} HP \cdot \$HP \quad (7)$$

Onde:

THP = Tarifa Horário de Ponta;

$\sum_{PV} HP$ = Somatório de Perdas a Vazio na Hora de Ponta;

$\$HP$ = Alíquota cobrada na Hora de Ponta.

$$THFP = \sum_{PV} HFP \cdot \$HFP \quad (8)$$

Onde:

THP = Tarifa Horário Fora de Ponta;

$\sum_{PV} HFP$ = Somatório de Perdas a Vazio no Horário Fora de Ponta;

$\$HFP$ = Alíquota cobrada no Horário Fora de Ponta.

Com isso, foi possível quantificar economicamente as perdas técnicas dos transformadores da APA Confecções no mês de estudo e simular às perdas à vazio que ocorreriam no mesmo espaço de tempo nos transformadores de núcleo amorfo.

A Tabela 9 apresenta o resultado da quantificação econômica das perdas à vazio:

Tabela 9: Quantificação econômica das Perdas à vazio

QUANTIFICAÇÃO ECONÔMICA DAS PERDAS À VAZIO – SETEMBRO/2018			
	HORÁRIO DE PONTA (R\$)	HORÁRIO FORA DE PONTA (R\$)	TOTAL (R\$)
TRAFO AÇO SILÍCIO	R\$ 336,20	R\$ 189,38	R\$ 525,58
TRAFO AMORFO	R\$ 47,28	R\$ 26,63	R\$ 73,91

Fonte: Autoria própria, 2018

A Tabela 9 apresentou a quantificação financeira das perdas à vazio nos transformadores que estão instalados na empresa e o resultado da simulação das

perdas nos transformadores com núcleo amorfo. Os transformadores com núcleo amorfo representariam uma economia de R\$ 451,67 frente aos transformadores de aço silício. Isso representaria uma economia anual de R\$ 5420,04.

Outro cálculo que deve ser feito para verificar a viabilidade financeira é mensurar os custos provenientes da redução da demanda consumida. Atualmente a empresa contrata junto a distribuidora Energisa Minas Gerais uma demanda de 510KW. A cobrança dessa demanda se dá conforme metodologia estabelecida pela distribuidora local, conforme a Tabela 10:

Tabela 10: Estrutura Tarifária Energisa Minas Gerais – Demanda

ESTRUTURA TARIFÁRIA ENERGISA			
MINAS GERAIS – DEMANDA			
CONSUMIDO	NÃO CONSUMIDO	ALÍQUOTA POR KW UTILIZADO	ALÍQUOTA POR KW NÃO UTILIZADO
506,1	3,9	R\$ 25,86	R\$ 20,99

Fonte: Autoria própria, 2018

A demanda referente as perdas à vazios se caracterizam como um custo que também deve ser considerado no cálculo de viabilidade econômica.

Porém essa redução de custo obtida com a redução das perdas também deve ser avaliada, para isto foi necessário calcular impacto desta redução de custo.

Tabela 11: Estrutura Tarifária Energisa Minas Gerais – Demanda

ESTRUTURA TARIFÁRIA ENERGISA MINAS GERAIS – DEMANDA					
TIPO DE NÚCLEO	CONSUMIDO (KW)	NÃO CONSUMIDO (KW)	ALÍQUOTA POR KW CONSUMIDO	ALÍQUOTA POR KW NÃO CONSUMIDO	TOTAL (R\$)
AÇO SILÍCIO	506,1	3,9	25,85623	20,99096	R\$ 13.167,70
AMORFO	502,98425	7,01575	25,85623	20,99096	R\$ 13.152,54

Fonte: Autoria Própria, 2018

O impacto nos custos que a redução da demanda conforme modelo de tarifação, resultaria numa redução de R\$ 15,16 durante o mês de setembro e simulando esse custo para um período de um ano esse valor poderia chegar a R\$ 181,92. Haveria a possibilidade de redução da demanda contratada mensal que poderia ser realizado pela APA Confeccões junto a distribuidora, o que resultaria em outros possíveis ganhos financeiros.

3.2.2 Payback

Após a quantificação financeira do impacto das perdas a vazios dos transformadores em ambos os núcleos será possível estabelecer o cálculo da amortização desses valores num possível investimento de substituição dos transformadores da APA Confeccões.

Segundo ABRAVA (2008) o Payback tanto o simples quanto o descontado, proporcionam informações nítidas a respeito da liquidez dos projetos desenvolvidos indicando ainda quanto tempo levará até que o valor do investimento seja recuperado, sendo esta uma maneira de apresentar as informações de maneira facilmente interpretável por empreendedores.

Análises orçamentárias foram realizadas para certificação dos preços dos transformadores de ambos os núcleos, como pode ser visto na Tabela 12:

Tabela 12: Orçamento dos Transformadores

ORÇAMENTOS DOS TRANSFORMADORES	
AÇO SILÍCIO	AMORFO
R\$ 16.850,00	R\$ 19.816,00

Fonte: Autoria Própria, 2018

Os orçamentos apresentaram uma diferença significativa do valor entre os preços dos transformadores. Os transformadores com núcleo amorfo custam R\$

2966,00 a mais que os transformadores com núcleo de aço silício. Essa diferença de preço é uma das maiores causas da rejeição destes transformadores por parte das concessionárias e empresas.

3.2.2.1 *Payback Simples*

O método *Payback simples* calcula o tempo de retorno do investimento inicial realizado. É um método limitado no sentido que sua análise não engloba correções monetárias, riscos, entre outros fatores.

Tendo em mãos os orçamentos e a quantificação financeira do impacto das perdas a vazão é possível definir o tempo de retorno do investimento no caso da escolha do transformador com núcleo amorfo. Aplicando esses valores nas Equações 9:

$$TR = (PNAS - PNA) \div (RC + RD) \cdot QT \quad (9)$$

Onde:

TR = Tempo de retorno;

RC = Quantificação Financeira da Redução do consumo;

RD = Quantificação Financeira da Redução da demanda;

PNAS = Preço do transformador de núcleo de aço silício;

PNA = Preço do transformador de núcleo amorfo;

QT = Quantidade de Transformadores.

A amortização da diferença entre o transformador com núcleo amorfo e o transformador de aço silício possuem em média um tempo de retorno de dezenove meses.

3.2.2.2 *Payback Descontado (PBD)*

O termo *Payback* por si só consiste em determinar o número de períodos necessários para que o investidor possa recuperar seu investimento no projeto. Este é considerado o método mais simples para verificar-se o prazo de recuperação do investimento, dentro de um período esperado.

Seguindo o mesmo raciocínio, o *Payback* descontado consiste em representar o período de retorno do capital investido, só que considerando agora a taxa de juros e possíveis variações econômicas. Para a realização desta análise utiliza-se a Equação 10:

$$PBD = n \text{ QUANDO } \left(\sum_{t=1}^n \frac{FC_t}{(1+i)^t} \right) - I = 0 \quad (10)$$

Onde:

n = corresponde ao período de recuperação do investimento/tempo de pagamento em meses ou anos;

FC_t = Fluxo de caixa líquido no período;

i = Trata-se da Taxa de juros empregada;

I = Investimento inicial;

t = Período do tempo do investimento.

Os resultados do *Payback* descontado apresentaram um panorama parecido com o *Payback* simples. O tempo amortização do investimento registrado neste método foi de 25 meses considerando 16% ao ano de taxa livre de riscos e projeção do Banco Central de reajuste médio de 4,8% ao ano para a fatura de energia. O investimento se mostrou viável levando em consideração a longa vida útil desses equipamentos.

4. CONCLUSÃO

Esse trabalho apresentou para as distribuidoras uma comprovação de que os transformadores com núcleo amorfo são viáveis, com a amortização do investimento inicial ao longo dos anos de operação destes equipamentos.

Ganhos importantes a partir da implantação deste estudo em todo o setor surtiriam grandes efeitos e a divulgação deste estudo pode resultar em uma confiança maior por parte das concessionárias e empresas durante a escolha de desses equipamentos.

Com relação ao estudo de caso aplicado a APA Confeccões, a substituição dos transformadores com núcleo de aço silício por transformadores com núcleo amorfo resultaria em uma significativa redução do consumo de energia da empresa e demanda consumida, isso iria gerar uma economia financeira à longo prazo significativa levando em consideração a vida útil estimada de 30 anos dos transformadores.

O *Payback* definiu entre dezenove e vinte e cinco meses o tempo de retorno para o investimento, que equivale um período curto. Isto avaliza a necessidade da implantação destes transformadores no sistema elétrico levando em consideração a rápida amortização do investimento e a redução das perdas à vazio.

4.1 Trabalhos futuros

4.1.1 *Quantificação do impacto das Perdas à Vazio no Sistema Elétrico Brasileiro*

Durante pesquisa para o desenvolvimento deste trabalho, constatou-se que aparentemente nunca houve um estudo do impacto das perdas à vazio que ocorrem no sistema elétrico brasileiro devido a utilização de transformadores ineficientes. Estudos parecidos foram desenvolvidos na Europa e Estados Unidos e após a apresentação dos resultados destes estudos os órgãos responsáveis passaram a estimular o emprego de transformadores com núcleo amorfo através de subsídios para a compra por parte das concessionárias distribuidoras.

BIBLIOGRAFIA

ABRAVA – Associação Brasileira de Refrigeração, Ar Condicionado, Ventilação e Aquecimento. **Manual de Capacitação em projetos de aquecimento Solar**. 138p. 2008. Disponível em: <<http://www.forumclima.pr.gov.br/arquivos/File/manual2008.pdf>>. Acesso em: Novembro 2018>.

AGUIAR, Ezequiel R. D. **Análise de Resposta em frequência aplicada em transformadores de potência**. Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte: UFMG, 2007. 114 p. Disponível em: Acesso em: Julho 2018.

CAMPOS, M.L.B. **Estudo de Aplicação Experimental e Viabilidade de Utilização de Transformadores de Distribuição com Núcleo Amorfo**. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, 2006.

CARDOSO, B. P. **Eficiência de Transformadores de Distribuição**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá – 2005.

CASTRO, W.B. **Transformadores de distribuição de energia elétrica com núcleo de metal amorfo**. Universidade Federal de Campina Grande. 2010.

CHAPMAN, Stephen J. **Fundamentos de Máquinas Elétricas**. 5ª. ed. Porto Alegre. AMGH, 2013. 65-141 p.

DASGUPTA, Indrajit. **Power Transformers Quality Assurance. Greater Noida: New Age International**, 2009. 14-29 p. ISBN ISBN 978-81-224-2889-6.

DA SILVA, Paulo. **Otimização de projetos de transformadores de distribuição que empregam núcleo amorfo e óleo vegetal isolante**. Dissertação de mestrado – Universidade Federal de Santa Maria, 2015.

Frau, J.; **Energy eficiente distribution transformers in Spain: new trends** PP 1-4, 2007.

FERREIRA,J; FINOQUIO,M. **Simulação das perdas em vazio em transformadores trifásicos de distribuição da classe 15 com materiais amorfo e ferro silício**. Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia CONTECC – 2016.

FITZGERALD, A. E.; KINGSLEY JUNIOR, Charles; UMANS, Stephen D. **Máquinas Elétricas**. 6ª. ed. Porto Alegre: Bookman, 2006.

FLORES, Aly. **Transformador utilizando metal amorfo**. Tese de Pós Graduação – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 1989.

ISLAM, M. A. **Prospective Analysis of Energy Efficient Amorphous Metal Distribution Transformer (AMDT)**. Asia Pacific Power and Energy Engineering Conference (APPEEC), 2012. P. 1-4.

IRREK,W.; **Uso de transformadores mais eficientes na indústria e no comércio**. **Revista Eletricidade Moderna**. Aranda Editora, Ano 38 Edição 435 P 114 – 131, Junho 2018.

JANUARIO, M. **Análise de rendimento de Transformadores que alimentam cargas Tipo Linear e Não Linear** – ACET 2014

KOSOW, I.L. **Máquinas Elétricas e Transformadores**. 15ª ed. São Paulo: Globo, 2005.

LEO, M. **Uma contribuição ao estudo do Transformador com núcleo amorfo para aplicação em sistemas elétricos de alta frequência** – (Tese de Mestrado) – UNESP – 2003

Leonardo Energy. **“Global Energy Savings Potencial from High Efficiency Distribution Transformers”**. European Copper Institute - 2004.

LISITA, L. R.; **Determinação de Perdas, Eficiência e Potência Máxima de Transformadores de Distribuição Alimentando Cargas Não Lineares**. Universidade Federal de Goiás (2004).

LUCAS, J. R. **Historical Development of the transformer**. The Institution of Electrical Engineers, Sri Lanka, 2000.

MCLYMAN, C . W. T. **Transformer and Inductor design handbook**. 3ª Edição. Ed. California, 2004.

NOGUEIRA, D.. **Transformadores – Teoria e Aplicação**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro - RJ – 2009.

PICANÇO, A. F. **“Avaliação Econômica de Transformadores de Distribuição com Base no Carregamento e Eficiência Energética”**. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Itajubá - 2006.

PRONTO, A. M. G. **Análise de Perdas em Sistemas de Energia que Empregam Materiais Supercondutores de Alta Temperatura.** Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, p159. 2010.

SALOTTI, A. **Estudo de aplicação experimental de transformadores Amorfo em Redes de Distribuição.** 1999. Artigo Científico – USP

SOLTAZANDEH, K. **Effects of Amorphous Core Distribution Transformers in Improvement the functioning of the electricity Distribution System.** IEE Xplore Digital Library, 2012.

STIGANT, S. A., and FRANKLIN, A. C. **The JP Transformer Book, A practical technology of the power transformer, vol.3.** 1973.

TEIXEIRA, d. **Análise de Viabilidade Financeira para aplicação de Transformadores de Núcleo Amorfo em subestação aérea de 75kv.** Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Ceará - 2011.

UHREN, W. **Aplicação de óleo vegetal como meio isolante em equipamentos elétricos, em substituição ao óleo mineral isolante.** Curitiba, 2007. 123 p. Dissertação (Mestrado Profissionalizante - PRODETEC) - Instituto de Tecnologia para o Desenvolvimento e Instituto de Engenharia do Paraná.

VIJAI. **Vantagens do Núcleo de Metal Amorfo** Disponível em <
<http://www.vijai.com.br/br/amorphous.php>> Acesso em: 16 de Maio de 2018.

ANEXOS

ANEXO A: FATURA DE ENERGIA APA CONFECCOES SETEMBRO 2018
(FRENTE)

Endereço da Unidade Consumidora: APA CONFECCOES S/A RUA VILTE SETE DE ABRIL, 260 - CEP: 38.750-000 FABRICA LEOPOLDINA (AG: 63)		 USADA NA SUA ENERGIA								
Classe/Subcl.: IND MVF A4-13596/INDUSTRIAL-INDUSTRIAL Rotômetro: 041 - 0053 - 000 - 3900 Nº do Medidor: 775867 MATRICULA: 000002936-2018-09-4 DOM. ENT.:		LIGAÇÃO: TRIFASICO DOM. BANC.: CNPJ/CPF: 33.835.497/0003-89 Insc. Est.: 3847325630082								
Atendimento ao Cliente: ENERGISA Ao ligar, tenha sempre em mãos a conta.		Acesse: www.energisa.com.br								
Emissão: 01/10/2018		Identificador para Débito Automático: 000002936-3								
CONTA REFERENTE A	APRESENTAÇÃO	DATA PREVISTA DA PRÓXIMA LEITURA	UC - UNIDADE CONSUMIDORA							
Setembro/2018	04/10/2018	31/10/2018	1/2936-3							
DEMONSTRATIVO										
CCI Descrição	Quantidade	Tarifa c/ Tributos	Valor Total (R\$)	Base Calc. ICMS (R\$)	Aliq. ICMS	ICMS (R\$)	Base Calc. PIS/COFINS (R\$)	PIS(R\$) (0,7741%)	COFINS(R\$) (3,5657%)	
0606 TUSD em kWh - Ponta	3.134,000	1,626500	5.097,47	5.097,47	18	917,54	5.097,47	39,47	181,76	
0606 TUSD em kWh - Fora Ponta	58.280,000	0,078770	7.742,40	7.742,40	18	1.393,63	7.742,40	59,93	276,07	
0601 Energia Real Exced em kWh Livre - Ponta	396,000	0,359030	141,82	141,82	18	25,53	141,82	1,10	5,05	
0601 Energia Real Exced em kWh Livre - FPonta	1.455,000	0,359030	522,40	522,40	18	94,03	522,40	4,04	18,63	
0606 TUSD em kW Medida - Fora Ponta	506,100	25,856230	13.085,83	13.085,83	18	2.355,45	13.085,83	101,30	466,60	
0602 TUSD em kW Não Consumida - F. Ponta	3,900	20,990960	81,86	0,00	0	0,00	81,86	0,63	2,92	
0607 Encargo de Conexão de Distribuição			1.296,22	1.296,22	18	233,12	1.296,22	10,03	46,22	
LANÇAMENTOS E SERVIÇOS										
0607 CONTRIBUICAO ILLUM PUBLICA			23,44	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0606 DEBITO DA TUSD KW - APCEI 06/2018			16,24	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0606 DEB. DA TUSD KW-APCEI- N CONS. 06/2018			0,13	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0606 DEBITO TUSD KWH PONTA-APCEI 06/2018			9,70	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0902 CREDITO DA TUSD KW - APCEI 09/2018			-6.081,24	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0902 CRED. TUSD KW-APCEI - N CONS. 09/2018			-38,16	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
0902 CREDITO TUSD KWH PONTA-APCEI 09/2018			-1.883,49	0,00	0	0,00	0,00	0,00	0,00	
CCI: Código de Classificação do Item			Total:	20.113,62		27.856,14	5.019,50	27.968,00	216,50	997,25
COMPOSIÇÃO DO CONSUMO			VENCIMENTO		TOTAL A PAGAR					
DISCRIMINAÇÃO			21/10/2018		R\$ 21.013,62					
SERVICO DISTRIBUICAO ENERGISANG	VALOR (R\$)	%								
COMPRA DE ENERGIA	5.929,24	21,17								
	11.941,07	42,62								

ANEXO B: FATURA DE ENERGIA APA CONFECÇÕES SETEMBRO - 2018 (VERSO)

CANAL DE CONTATO		FATURAS EM ATRASO		ATENÇÃO	
		VENCIMENTO	VALOR (R\$)		

Consumo dos últimos doze meses

MÊS	PONTO		FORA DE PONTO		PONTO		FORA DE PONTO		RESERVADO	
	CONSUMO FATURADO	DEMANDA	CONSUMO FATURADO	DEMANDA	ERE	ORE	ERE	ORE	CONSUMO	ERE
AGO	3186	182,84	91909	475,56	244		962			
JUL	3161	160,68	73585	455,58	347		1365			
JUN	4843	427,15	92869	470,91	311		875			
MAI	5687	392,89	105153	470,80	361		664			
ABR	5826	410,66	102872	492,85	376		1104			
MAR	6595	410,90	115805	516,27	299		1073			
FEV	3575	216,66	89919	515,58	375		1319			
JAN	4718	312,23	81594	500,32	338		973			
DEZ	2293	243,67	44102	481,27	354		1233			
NOV	3037	186,72	118493	519,30	538		1484			
OUT	5451	423,35	121621	521,43	401		1025			
SET	5780	363,72	105348	500,28	333		889			

Receba sua fatura por e-mail.

Mais comodidade para o seu dia a dia.

Cadastre-se em nossos canais:

Agência de Atendimento

4930 032 0196 | www.energia.com.br

Estrutura do consumo

Período de Leitura: 31/08/2018 a 30/09/2018 Dias: 30 Demanda Contratada Ponta: Fora Ponta: 510

UN. Posto	Dados da leitura							Dados do consumo	
	Atual	Anterior	K	Perdas(%)	Fat. Pot.	Aj. Fator Pot	Medido	Faturado	
KWH Ponta	3134	0	1	0	0	0	3134	3134	
KWH FPonta	98280	0	1	0	0	0	98280	98280	
KW Ponta	408,25	0	1	0	0	0	408,25	0	
KW FPonta	506,1	0	1	0	0	0	506,1	510	
ERE Ponta	395	0	1	0	0	0	395	395	
ERE FPonta	1455	0	1	0	0	0	1455	1455	
DRE Ponta	109,48	0	1	0	0	0	109,48	0	
DRE FPonta	196,21	0	1	0	0	0	196,21	0	

Indicadores de Qualidade

	LIMITES DA ANEEL	APL. RADO
DIC MENSAL	3,68	0,00
DIC TRIMESTRAL	7,36	
DIC ANUAL	14,73	
FIC MENSAL	2,29	0,00
FIC TRIMESTRAL	4,58	
FIC ANUAL	9,16	
DMIC	2,00	0,00
DICRI	9,77	

Conjunto: Leopoldina
Referência: 07/2018
Tensão Contratada: 11,2
Limite Adequado: 11,2 a 11,8

ANEXO C: LAUDO TÉCNICO DO TRANSFORMADOR 1 DA APA CONFECÇÕES COM OS RESULTADOS DOS ENSAIOS

 ROMAGNOLE TRANSFORMADORES		Sistema de Gestão da Qualidade	
RELATÓRIO DE ENSAIOS DE TRANSFORMADOR			
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
INTERESSADO: APA CONFECÇÕES S/A	NM. LÍCEN. 1		
NUM. FABRICAÇÃO: 307967	NUM. TOMBAMENTO:		
MARCA: ROMAGNOLE	ODC/PEDIDO:		
POTÊNCIA NOMINAL: 300 kVA	NUM FASES: 3		
CONEXÃO: Y/0	TIPO: TSET AL. 300/15/0,4		
TENSÃO PRIMÁRIA: 13200 & 10200 V	TENSÃO SECUNDÁRIA: 230 / 127 V		
CORRENTE PRIMÁRIA I L: 12,50 A	CORRENTE SECUNDÁRIA I 2: 787,30 A		
FREQÜÊNCIA: 60 Hz	DESLOCAMENTO ANGULAR: 30		
NORMA: NBR 10295/11	DIAGRAMA DE LIGAÇÃO: P1-2454		
POLARIDADE: SET/11	PL N°: 2,454		
DATA FABRICAÇÃO:	NBL: 95		
RESULTADO DOS ENSAIOS			
RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO		RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO	
AT / BT: 121000 M Ω	TAP 1 FASE 1 108,08000 TAP 1 FASE 2 108,86500 TAP 1 FASE 3 108,86500		
AT / MASSA: 117000 M Ω	TAP 2 FASE 1 104,14000 TAP 2 FASE 2 104,12000 TAP 2 FASE 3 104,14000		
BT / MASSA: 114000 M Ω	TAP 3 FASE 1 99,40800 TAP 3 FASE 2 99,38000 TAP 3 FASE 3 99,40100		
TENSÃO APLICADA AO DIELETRICO	TAP 4 FASE 1 94,66600 TAP 4 FASE 2 94,64900 TAP 4 FASE 3 94,66700		
AT / BT LIGADO A MASSA: 30 kV	TAP 5 FASE 1 07,73100 TAP 5 FASE 2 07,71500 TAP 5 FASE 3 07,73200		
BT / AT LIGADO A MASSA: 4 kV	TAP 6 FASE 1 05,19200 TAP 6 FASE 2 05,17900 TAP 6 FASE 3 05,19600		
DURAÇÃO DO ENSAIO: 60 Seg.	TAP 7 FASE 1 80,45900 TAP 7 FASE 2 80,44500 TAP 7 FASE 3 80,46100		
TENSÃO INDUZIDA			
TENSÃO: 440 V			
FREQÜÊNCIA: 30 Hz			
DURAÇÃO DO ENSAIO:			
ENSAIO DE PERDAS ELÉTRICAS			
TENSÃO DE ENSAIO: 13200 V	Valores		
TEMPERATURA DE ENSAIO: 32,00 °C	Garantido	Min	Max
RESISTÊNCIA ÔHMICA DO PRIMÁRIO: 5,3994 Ω			
RESISTÊNCIA ÔHMICA DO SECUNDÁRIO: 8,0611 Ω			
PERDAS EM VAZIO - PHE: 1,242,88 W	1,200	-	1,430
CORRENTE DE EXCITAÇÃO - IEXC: 1,05 %	1,08	-	1,30
PERDAS EM CARGA - PFC: 2.965,44 W			
PERDAS TOTAIS A 115 °C: 4.879,32 W	5,300	-	5,610
IMPEDÂNCIA A 115 °C (EZ): 4,91 %	5,00	4,61	5,38
TEMPERATURA RES: 122,00 °C			
CONCLUSÃO:			
AS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS ESTÃO DE ACORDO COM A NBR 10295/09. BOM DE PROTEÇÃO IP: 00. OS RESULTADOS FORAM ANALISADOS, E O TRANSFORMADOR ESTÁ APROVADO.			
23 DE OUTUBRO DE 2013			
MANDAGUAARI			
INSPECTOR		CONTROLE DE QUALIDADE	
O CERTIFICADO DE GARANTIA DO TRANSFORMADOR ESTÁ NO VERSO DESTA FOLHA.			

ANEXO D: LAUDO TÉCNICO DO TRANSFORMADOR 2 DA APA CONFECÇÕES COM OS RESULTADOS DOS ENSAIOS

 ROMAGNOLE TRANSFORMADORES		Sistema de Gestão da Qualidade	
RELATÓRIO DE ENSAIOS DE TRANSFORMADOR			
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
INTERESSADO: APA CONFECÇÕES S/A	NR. LAJE.....:		
NUM. FABRICAÇÃO.....: 100968	NUM. TOMBAMENTO.....:		
MARCA.....: ROMAGNOLE	ODC/PEDIDO.....:	3	
POTÊNCIA NOMINAL.....: 300	NUM FASES.....:		TSET AL 300/15/0,5
CONEXÃO.....: 3F3L	TIPO.....:		
TENSÃO PRIMÁRIA.....: 13800 ± 10290	V	TENSÃO SECUNDÁRIA.....: 220 / 127	V
CORRENTE PRIMÁRIA I 1.....: 12,55	A	CORRENTE SECUNDÁRIA I 2.....: 787,38	A
FREQUÊNCIA.....: 60	Hz	DESLOCAMENTO ANGULAR...: 30	
NORMA.....: NBR 10295/11		DIAGRAMA DE LIGAÇÃO.....: P1-2454	
POLARIDADE.....: BEI/15		PI N°.....: 2.454	
DATA FABRICAÇÃO.....: 02/15		NBL.....: 93	^ kV
RESULTADO DOS ENSAIOS			
ALTITUDE: 1000 msnm			
RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO		RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO	
AT / BT.....:	128000 M Ω	TAP 1 FASE 1 109,11324	TAP 1 FASE 2 109,11759
AT / MASSA.....:	124990 M Ω	TAP 2 FASE 1 104,38917	TAP 2 FASE 2 104,38207
BT / MASSA.....:	118000 M Ω	TAP 3 FASE 1 99,63393	TAP 3 FASE 3 99,64291
		TAP 4 FASE 1 94,87985	TAP 4 FASE 2 94,91483
		TAP 5 FASE 1 90,17017	TAP 5 FASE 2 90,18318
		TAP 6 FASE 1 85,39110	TAP 6 FASE 2 85,41729
		TAP 7 FASE 1 80,67760	TAP 7 FASE 2 80,59741
			TAP 3 FASE 3 99,64291
			TAP 4 FASE 3 94,91659
			TAP 5 FASE 3 90,17624
			TAP 6 FASE 3 85,36844
			TAP 7 FASE 3 80,66014
TENSÃO APLICADA AO DIELÉTRICO			
AT / BT LIGADO A MASSA.....:	3kV		
BT / AT LIGADO A MASSA.....:	4		
DURAÇÃO DO ENSAIO.....:	60	Seg.	
TENSÃO INDUZIDA			
TENSÃO.....:	440	V	
FREQUÊNCIA.....:	240	Hz	
DURAÇÃO DO ENSAIO.....:	30	Seg.	
ENSAIO DE PERDAS ELÉTRICAS			
TENSÃO DE ENSAIO.....:	13800 V	Valores	
TEMPERATURA DE ENSAIO.....:	32,00 °C	Garantido	Min Max
RESISTÊNCIA ÔHMICA DO PRIMÁRIO.....:	6,1797 Ω		
RESISTÊNCIA ÔHMICA DO SECUNDÁRIO.....:	0,3010 Ω		
PERDAS EM VAZIO...P ₀:	1.199,95 W	1,300	1,400
CORRENTE DE EXCITAÇÃO...I ₀:	1,78 A	4,00	1,00
PERDAS EM CARGA...P ₁₅:	3.975,84 W		
PERDAS TOTAIS...P ₁₅:	4.795,79 W	5,300	5,600
IMPEDÂNCIA...Z ₁₅:	1,02 Ω	5,00	4,63
TEMPERATURA RES : 122,00C			5,38
CONCLUSÃO:			
AS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS ESTÃO DE ACORDO COM A NBR 10295/06. OS RESULTADOS FORAM ANALISADOS, E O TRANSFORMADOR ESTÁ APROVADO.			
23 DE OUTUBRO DE 2015			
MANDAGUAÍRI			
_____ INSPECTOR		_____ CONTROLE DE QUALIDADE	
O CERTIFICADO DE GARANTIA DO TRANSFORMADOR ESTÁ NO VERSO DESTA FOLHA.			

ANEXO E: LAUDO TÉCNICO DO TRANSFORMADOR 3 DA APA CONFECÇÕES COM OS RESULTADOS DOS ENSAIOS

		Sistema de Gestão da Qualidade	
RELATÓRIO DE ENSAIOS DE TRANSFORMADOR			
CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS			
INTERESSADO: #PA CONFECÇÕES S/A	HR. LOTE.....7		
NUM. FABRICAÇÃO.....: 1009407	NUM. TOMBAMENTO.....:		
MARCA.....: ROMAGNOLE	ODC/PEDIDO.....:		
POTÊNCIA NOMINAL.....: 300 kVA	NUM FASES.....: 3		
CONEXÃO.....: DRL	TIPO.....: TSET AL 300/15/5,6		
TENSÃO PRIMÁRIA.....: 13800 ± 0,200 V	TENSÃO SECUNDÁRIA.....: 220 / 127 V		
CORRENTE PRIMÁRIA I 1.....: 12,55 A	CORRENTE SECUNDÁRIA I 2.....: 787,30 A		
FREQÜÊNCIA.....: 60 Hz	DESLOCAMENTO ANGULAR.....: 30		
NORMA.....: NBR 10275/11	DIAGRAMA DE LIGAÇÃO.....: PL-2454		
POLARIDADE.....: SET/15	Pl. N°.....: 2,454		
DATA FABRICAÇÃO.....:	NH.....: 95 kV		
RESULTADO DOS ENSAIOS			
NITIDE: 100 020			
RESISTÊNCIA DE ISOLAMENTO		RELAÇÃO DE TRANSFORMAÇÃO	
AT / BT.....: 12000 M Ω	TAP 1 FASE 1 106,76203	TAP 1 FASE 2 106,93193	TAP 1 FASE 3 109,52679
AT / MASSA.....: 12200 M Ω	TAP 2 FASE 1 104,21736	TAP 2 FASE 2 104,21284	TAP 2 FASE 3 104,17507
BT / MASSA.....: 119000 M Ω	TAP 3 FASE 1 99,48975	TAP 3 FASE 2 99,33119	TAP 3 FASE 3 99,45671
	TAP 4 FASE 1 94,75619	TAP 4 FASE 2 94,80575	TAP 4 FASE 3 94,72346
	TAP 5 FASE 1 90,00000	TAP 5 FASE 2 89,93607	TAP 5 FASE 3 89,87067
	TAP 6 FASE 1 85,23689	TAP 6 FASE 2 85,23923	TAP 6 FASE 3 85,22867
	TAP 7 FASE 1 80,57068	TAP 7 FASE 2 80,47835	TAP 7 FASE 3 80,49932
TENSÃO APLICADA AO DIELETRICO			
AT / BT LIGADO A MASSA.....: 34 kV			
BT / AT LIGADO A MASSA.....: 4 kV			
DURAÇÃO DO ENSAIO.....: 40 Seg			
TENSÃO INDUZIDA			
TENSÃO.....: 440 V			
FREQÜÊNCIA.....: 200 Hz			
DURAÇÃO DO ENSAIO.....: 30 Seg			
ENSAIO DE PERDAS ELÉTRICAS			
		Valores	
TENSÃO DE ENSAIO.....: 13800 V		Garantido	Min Max
TEMPERATURA DE ENSAIO.....: 25,00 °C			
RESISTÊNCIA ÔHMICA DO PRIMÁRIO.....: 6,2805 Ω			
RESISTÊNCIA ÔHMICA DO SECUNDÁRIO.....: 6,0011 Ω			
PERDAS EM VAZIO.....PHF.....: 1.102,40 W	1,200	-	1,400 W
CORRENTE DE EXCITAÇÃO.....IEXC.....: 1,76 %	4,00	-	4,00 %
PERDAS EM CARGA.....P ₁₅: 2,631,25 W			
PERDAS TOTAIS.....P ₁₅: 4.813,67 W	5,200	-	5,810 W
IMPEDÂNCIA.....Z ₁₅: 5,89 Ω	5,00	4,63	5,30 Ω
TEMPERATURA PCC.....: 25,00 °C (EZ)			
TEMPERATURA RES.....: 25,00 °C			
CONCLUSÃO:	AS CARACTERÍSTICAS CONSTRUTIVAS ESTÃO DE ACÓRD0 COM A NBR 10275/01. GRAU DE PROTEC0 1F: 00.		
	OS RESULTADOS FORAM ANALISADOS, E O TRANSFORMADOR ESTÁ APROVADO.		
	23 DE OUTUBRO DE 2015		
MANDAGUARI			
_____ INSPECTOR		_____ CONTROLE DE QUALIDADE	
O CERTIFICADO DE GARANTIA DO TRANSFORMADOR ESTÁ NO VERSO DESTA FOLHA.			

ANEXO F: ORÇAMENTO DO TRANSFORMADOR COM NÚCLEO DE AÇO SILÍCIO 300 KVA VIJAI

 <p>Vijai Elétrica do Brasil Ltda. Av. das Indústrias, 400 Distrito Industrial João Pessoa- Paraíba</p>	PROPOSTA DE PREÇOS	LG Transformadores Indústria e Serviços Rua Maria Pessotto Pucci Nº1050 Distrito Industrial João Pessoa – Paraíba Cep: 58.082011
	Proposta 105/ 010-2018	
	Transformadores Imersos a Óleo Isolante	
	FONE: 993061388	
	E-MAIL: derci@vijai.com.br	

CLIENTE: Felipe de Carvalho Moraes Energisa		CNPJ
SR. (A) E-mail		
FGT: Condições abaixo	ENTREGA	VALIDADE DA PROPOSTA 15 DIAS

ITEM	QUANT	UND	PRODUTOS	UNITARIO	TOTAL
01	01	PC	Transf. Trifásico 300 kva-13800/10:200-220/127 Volts – classe 15Kv-Frequência 60 Hz Padrão ABNT-NBR 5440 - Energisa – Selo Imersão- demais características conforme especificação NBR 5440.	18.850,00	18.850,00
			Perdas garantidas: 210 Watts-em vazio 4.000 perdas- sob carga- classe(A)		
			Condições Gerais:		
			Prazo de Entrega: 30 dias após aprovação		
			Pagamento: 4 vixta após entrega		
			Garantia: 24 meses		
			Escala: FOB		
			Valor Total da proposta		18.850,00

ANEXO G: ORÇAMENTO DO TRANSFORMADOR COM NÚCLEO AMORFO 300 KVA VIJAI

 <p>Vijai Elétrica do Brasil Ltda. Av. das Indústrias, 400 Distrito Industrial João Pessoa- Paraíba</p>	<p>PROPOSTA DE PREÇOS Proposta 105 / 010-2018</p>	<p>LG Transformadores Indústria e Serviços Rua Maria Pessotto Pucci Nº1050 Distrito Industrial João Pessoa – Paraíba Cep. 58.082011</p>
	<p>Transformadores Imersos a Óleo Isolante</p>	
	<p>FONE: 993061388 E-MAIL: dardl@vijai.com.br</p>	

<p>CLIENTE: Felipe de Carvalho Moraes Energisa</p>	CNPJ
SR. (A) E-mail	
<p>PGT: Condições abaixo</p>	<p>ENTREGA</p>
	<p>VALIDADE DA PROPOSTA 15 DIAS</p>

ITEM	QUANT	UND	PRODUTOS	UNITARIO	TOTAL
01	01	PÇ	Transf. Trifásico 300 kVA 13.800 / 10.200 / 220/127 Volts - classe 15kV .Frequência 60 Hz Padrão ABNT-NBR 5440 - Energisa - Selo Imetro e demais características conforme especificação NBR 5440.	19.916,00	19.916,00
			Perdas garantidas: 1,70 Watts em vazio 4.060 perdas em carga cobre/Al		
			Condições Gerais:		
			Prazo de Entrega: 30 dias após aprovação		
			Pagamento: à vista após entrega		
			Garantia 24 meses		
			Frete: FOB		
			Valor Total da proposta		19.916,00

ANEXO H: DECLARAÇÃO PARA USO DE INFORMAÇÃO

APA

DECLARAÇÃO

Declaro para os devidos fins, que a APA Confeccões, autoriza o uso e a divulgação dos dados necessários para elaboração do Trabalho de Conclusão de Curso do aluno Felipe de Carvalho Moraes, matriculado no 10º período do curso de Engenharia Elétrica do Instituto Tecnológico de Caratinga da DOCTUM Caratinga, intitulado "ANÁLISE DE VIABILIDADE PARA O EMPREGO DE TRANSFORMADORES DE NÚCLEO AMORFO – ESTUDO DE CASO APLICADO A APA CONFECÇÕES", orientado pelo professor Joildo Fernandes.

Dados constantes:

- Fatura de Energia do Mês de Setembro / 2018;
- Ficha técnica dos transformadores;

Atenciosamente,


João Paulo Vieira

APA CONFECÇÕES LTDA.

33835497/0003-89
APA CONFECÇÕES LTDA.
RUA 27 DE ABRIL, 200 - FUNDOS
CENTRO - CEP 36120-520
LEOPOLDINA - M.G.