

## **Priorização de ações de melhoria no processo de fabricação de transformadores elétricos com a utilização de QFD e FMEA**

“Artigo a ser submetido ao periódico Produção Online”

André Reis de Oliveira Martins  
[doutorandre@gmail.com](mailto:doutorandre@gmail.com)  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Carla ten Caten  
[tencaten@producao.ufrgs.br](mailto:tencaten@producao.ufrgs.br)  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

Camila Costa Dutra  
[camila@producao.ufrgs.br](mailto:camila@producao.ufrgs.br)  
Universidade Federal do Rio Grande do Sul

### **Resumo**

É comum as empresas utilizarem as ferramentas QFD (*Quality Function Deployment*) e FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) para melhoria na qualidade do produto, no entanto, por terem focos diferentes geralmente não são aplicadas conjuntamente, embora tenham grande potencial para serem integradas. Este artigo tem como objetivo integrar as ferramentas QFD e FMEA para priorizar ações de melhoria em uma indústria de transformadores elétricos. Essa priorização é importante para as empresas direcionarem tempo e recursos em ações que propiciem um resultado nítido de melhoria na qualidade do produto sob o foco do cliente. O método proposto contemplou seis etapas e os principais ganhos obtidos foram a realização de ações de melhoria direcionadas, melhor gerenciamento dos recursos, aumento da confiabilidade do produto e satisfação dos clientes.

**Palavras-chave:** QFD; FMEA; melhorias.

### **Abstract**

It is common for companies to use the tools QFD (*Quality Function Deployment*) and FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*) to improve product quality, however, because they have different focuses are not usually applied together, although they have great potential to be integrated. This article aims to integrate QFD and FMEA tools to prioritize actions for improvement in an electrical transformer industry. This prioritization is important for driven

company time and resources in actions that provide a clear result of improvement in product quality on customer focus. The method consisted of six steps and the main gains have been carrying out improvement actions targeted, better management of resources, increased product reliability and customer satisfaction.

**Key words:** *QFD; FMEA; improvements.*

## **1. Introdução**

As estratégias de qualidade das empresas estão cada vez mais alinhadas com o foco no cliente. Um produto ou serviço de qualidade é aquele que atende de forma confiável, segura e no tempo certo às necessidades dos clientes (VIANA *et al.*, 2010). A qualidade não deve ser conceituada como um conjunto de elementos internos à empresa, pois tem um significado bem mais amplo que incorpora a sua relação com o ambiente externo, criando mecanismos que tendem a envolver todos os recursos da organização de forma sistêmica (PALADINI, 2008).

Smith (1998) aborda um conceito mais gerencial, onde um problema de qualidade pode ser definido como um *gap* entre o estado atual e o estado desejado, ou seja, uma situação que necessita ser melhorada. O autor afirma ainda, que é necessário a atuação de todas as pessoas da empresa como efetivos solucionadores de problemas, com a adoção e aplicação sistematizada de um método para identificação de possíveis melhorias. De acordo com Skyszka (2001), define-se sistema de garantia da qualidade como todas as atividades de função gerencial que determinam a política, objetivos e responsabilidade para obter-se o planejamento, controle, garantia e a melhoria da qualidade.

O foco do sistema de garantia da qualidade é elaborar ações que busquem solucionar os problemas que geram produtos defeituosos, analisando e propondo melhorias que venham a contribuir para um melhor resultado final. Vieira (1999) afirma que por mais eficiente e planejado que sejam os processos, eles estão sujeitos a apresentar algum tipo de problema. Neste caso, a diferença está em identificar um problema e conduzir sua análise corretamente. Resolver um problema requer uma análise apurada de dados e informações que possibilitem uma ação eficaz.

Diante da necessidade de obter um foco na qualidade percebida, Akao (1990) define QFD (*quality function deployment*) como um sistema para traduzir exigências dos clientes em especificações técnicas de produto. A aplicação desta ferramenta se faz necessária devido a elevação nas exigências de qualidade por parte dos clientes.

Considerando-se que o transformador é um equipamento indispensável na interligação de sistemas elétricos, vem crescendo nos últimos anos a importância do desempenho e da confiabilidade deste equipamento. Uma aplicação eficaz da ferramenta FMEA (*failure modes and effects analysis*) proporciona um mapeamento das principais falhas que podem afetar o produto, contribuindo para a otimização da confiabilidade.

Este artigo tem como objetivo integrar as ferramentas QFD e FMEA para priorizar ações de melhoria em uma indústria de transformadores elétricos. Essa priorização é necessária para atender a necessidade das organizações que não querem despende tempo e recursos em ações que não propiciem um resultado nítido de melhoria na qualidade do produto sob o foco do cliente. Este artigo está organizado em mais 4 seções, como segue: a seção 2 apresenta a revisão da literatura sobre o assunto, a seção 3 representa uma descrição dos procedimentos metodológicos utilizados, na seção 4 os resultados da implementação são discutidos e, por fim, na seção 5 são apresentadas as considerações finais do artigo.

## **2. Referencial Teórico**

O referencial teórico deste artigo é composto por 4 subseções. A subseção 2.1 aborda ferramentas para identificação e solução de problemas, tendo como principal delas o PDCA. Na sequência as subseções 2.2 e 2.3 detalham a aplicação de QFD e FMEA, respectivamente. Por fim na última subseção apresenta estudos de caso com a aplicação destas ferramentas em conjunto.

### **2.1 Ferramentas aplicadas para análise e solução dos problemas**

A ferramenta PDCA (*plan, do, check and action*) demonstra ser uma ferramenta eficaz e amplamente utilizada na busca de soluções de problemas. De acordo com Fonseca *et al.* (2006), o PDCA pode ser visto como um método de tomada de decisões para a resolução de problemas organizacionais, ou seja, ele indica a direção a ser seguida para que os objetivos definidos possam ser alcançados. Neste contexto é preciso empregar técnicas ou ferramentas para a obtenção, processamento e disposição das informações necessárias à condução das etapas do PDCA.

Existem outros métodos semelhantes ao PDCA, como o método DMAIC: *Define* (definir), *Measure* (medir), *Analyse* (analisar), *Improve* (melhorar) e *Control* (controlar) do programa Seis Sigma, em que as fases ou estágios básicos mais comumente empregados são descritos por Aguiar (2002). Além dos métodos de solução de problemas de múltiplos passos e baseados no estudo das causas, como o PDCA e DMAIC, o autor também afirma que é

preciso conhecer outros métodos que utilizam abordagens de criatividade na resolução de problemas da qualidade, para trilhar por caminhos muitas vezes completamente diversos em relação ao que seria seguido pelas abordagens tradicionais.

Como Palady e Olyai (2002) salientam, é o problema que servirá de base para definir o método mais adequado, que pode não ser um único, mas uma combinação de diversos métodos. É preciso procurar todos os métodos existentes de aplicabilidade já comprovada para definir qual o mais adequado, além da disciplina e o total comprometimento das pessoas que vão atuar neste processo.

Existem técnicas consagradas, como QFD e FMEA, para identificação de pontos mais importantes ou relevantes relacionados a características de produtos, serviços ou processos de produção. Na prática as empresas trabalham com essas técnicas para identificar onde há maior necessidade de atuação na busca pela melhoria contínua, mas sem uma grande preocupação de relacioná-las entre si.

## **2.2 QFD**

Como afirma Slack *et al.* (2007), o objetivo principal do desdobramento da função qualidade é garantir que as expectativas dos clientes sejam atendidas pelo produto oferecido ou serviço prestado. Esta ferramenta permite que as necessidades dos clientes sejam identificadas, priorizando-as. Após, deve-se determinar o nível de qualidade exigida para cada necessidade, pois análise dos dados priorizados é de vital importância para o trabalho de planejamento, visto que fornece um direcionamento para avaliar a melhor estratégia adotada pela empresa DRUMOND (1995).

Segundo Akao (1996) o QFD é uma ferramenta para estabelecer a qualidade em um projeto, efetuando um desdobramento das exigências e necessidades dos clientes, estabelecendo pontos prioritários do desenvolvimento do produto até o estágio de produção. A base do QFD é a voz do cliente, o qual atribui a importância em relação à qualidade demandada que deve ser desdobrada sucessivamente até a fabricação do produto. Na Figura 1 Gustafsson *et al.* (1997) dividem o QFD em 7 fases, que traduz as demandas para satisfação do cliente em requisitos no processo produtivo.

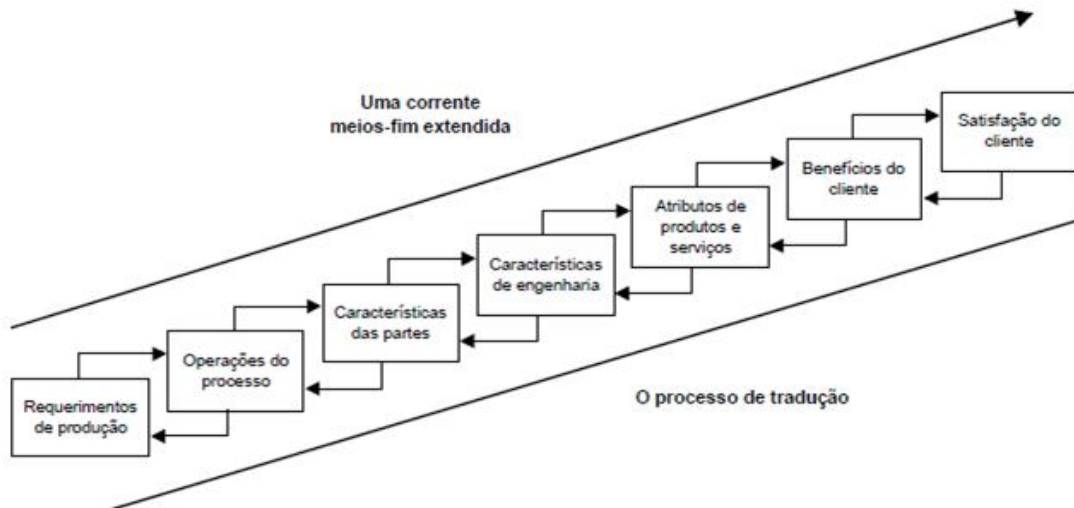


Figura 1 – Estrutura para unir qualidade nos processos internos e satisfação do cliente.

### 2.3 FMEA

Para alcançar a maior satisfação dos clientes é preciso atuar nos pontos que apresentem falhas mais significativas e, nesta atividade o método mais indicado é o FMEA (Análise de Modos e Efeitos de Falha) (NOGUEIRA e *TOLEDO*, 1999). Este método permite identificar falhas potenciais em sistemas, processos ou serviços, caracterizando seus efeitos e suas causas, para a partir disso definir ações para reduzir ou eliminar o risco associado a essas falhas que vão levar, conseqüentemente, a priorização das ações de melhoria (NOGUEIRA e *TOLDEDO*, 1999).

A ferramenta FMEA avalia a severidade de cada falha e o impacto causado aos clientes, sua probabilidade de ocorrência e de detecção antes de chegarem às mãos dos clientes. Com base nestes três elementos (severidade, ocorrência e detecção), o FMEA demonstra a classificação dos modos de falha que acarretam os maiores riscos ao cliente e que, portanto, merecem atenção (PUENTE *et al.*, 2002). O autor afirma ainda que dentro da estratégia de aumento de confiabilidade a adoção de medidas preventivas tornou-se indispensável e neste cenário o uso da FMEA é adequada para priorizar ações preventivas.

Os principais passos para a execução de um FMEA são: i) identificar modos de falha conhecidos e potenciais; (ii) identificar os efeitos de cada modo de falha; (iii) avaliar sua respectiva severidade, identificar as causas possíveis para cada modo de falha e a probabilidade de ocorrência de falhas relacionadas a cada causa.

Segundo Stamatis (2003), existem três tipos principais de FMEA: a) FMEA de sistema; b) FMEA de produto; e c) FMEA de processo. O FMEA de sistema (ou conceito) é utilizado para avaliar as falhas em sistemas nos estágios iniciais de conceituação e projeto. O

FMEA de produto tem o objetivo de avaliar possíveis falhas no projeto do produto antes da sua liberação para a manufatura, definindo necessidade de alterações no projeto do produto e estabelecendo prioridades para as ações de melhoria, auxilia na definição de testes e validação do produto. Enquanto, o FMEA de processo é utilizado para avaliar as falhas em processos estabelecendo prioridades para as ações de melhoria e controle dos processos de manufatura e montagem.

Roos e Rosa (2008) fizeram um comparativo entre método de aplicação do FMEA, tradicional, gráfico e Grey. O método tradicional de priorização propõe que para a obtenção do RPN (número de prioridade de risco ou *risk priority number*) do modo ou causa de falha, se multiplique a pontuação dada para as classificações de severidade, ocorrência e detecção. No método gráfico, são plotadas as coordenadas severidade e ocorrência de cada modo ou causa de falha. O método baseado na teoria de Grey permite que você pondere o grau de importância e relevância para cada critério (severidade, ocorrência e detecção). O autor então identifica e compara quais dos três métodos trazem uma maior priorização de pontos de melhoria em uma empresa do segmento de transporte terrestre e aéreo de cargas. O estudo concluiu que quanto ao nível de detalhamento das priorizações os métodos tradicional e de Grey são os mais vantajosos. O método gráfico tem como desvantagem uma menor confiabilidade, pois não considera a probabilidade de detecção na análise.

#### **2.4 Priorização de ações de melhoria através da integração das ferramentas QFD e FMEA**

Notadamente, as ferramentas QFD e FMEA visam verificar a percepção do cliente em relação às funções do produto. Ambos os métodos visam às relações causa-efeito como eixo central de análise e desenvolvimento, priorizando funções críticas para o cliente (FERNANDES e REBELATO, 2006).

Fernandes e Rebelato. (2006) realizaram uma integração do método QFD e FMEA aplicado a empresas que demandam altos níveis de qualidade final, como a indústria microeletrônica, espacial e aeronáutica que buscam o zero defeito. O método desenvolvido no estudo possibilitou medir o impacto de uma falha para o cliente final e como ela afeta a expectativa do cliente. Os resultados do QFD determinaram o peso adotado na severidade do FMEA, tornando a avaliação dos riscos um indicador muito mais fiel. Dessa forma a ferramenta FMEA teve seus modos de falha ligados diretamente aos requisitos do QFD.

Fernandes (2005) propõe um estudo para integrar o FMEA ao QFD ligando os modos de falha às necessidades e requisitos do QFD. Com a severidade diretamente ligada ao QFD,

qualquer medida que seja definida e tenha impacto na severidade exige imediatamente uma revisão do QFD. Desta forma, as ações são justificadas com base no risco associado ao modo de falha, evitando-se ações desnecessárias, garantindo que o risco potencial reflita o último status em relação às modificações e ações no projeto e processo. O autor propõe a adoção de uma tabela de severidade única para QFD e FMEA, simplificando a possibilidade de unificação dos métodos. Os conceitos e proposições apresentados se aplicam a qualquer sistema de gestão da qualidade, sendo este complexo ou não, sendo este de produto ou serviço.

Carpinetti (2000) apresenta uma proposta de um modelo conceitual para o gerenciamento do processo de desdobramento de ações de melhoria a partir da expectativa dos clientes. O autor apresenta uma sistemática de desdobramento e priorização das ações de melhoria que contribuem mais efetivamente para o alcance dos objetivos estratégicos com a utilização de matrizes de QFD. A metodologia desenvolvida é mais aplicada em empresas que dependem principalmente da eficiência e eficácia das operações para ganhar vantagem competitiva sobre a concorrência. Após o desenvolvimento do método, o artigo conclui que à medida que as empresas melhoram o desempenho de suas operações, as necessidades e ações de melhorias tornam-se menos evidentes e, portanto, nesses casos uma sistemática estruturada pode-se fazer necessária.

A abordagem proposta por Frank *et al.* (2008) permite a integração das visões do QFD e FMEA para a obtenção de um só indicador, de forma a integrar o índice de risco calculado do FMEA aos pesos das partes do produto, obtidos na matriz QFD do produto. A proposta resultou em um indicador que assinala quais componentes mais críticos devem ser enfatizados no desenvolvimento do produto, valorizando a qualidade e a confiabilidade. A priorização dos componentes através da integração das ferramentas foi mais abrangente do que se as mesmas fossem utilizadas separadamente.

### **3. Procedimentos Metodológicos**

Apresenta-se nesta seção a descrição do cenário e os métodos de pesquisa e de trabalho desenvolvido no artigo.

#### **3.1 Descrição do Cenário**

A priorização de ações de melhoria através da utilização dos métodos QFD e FMEA foi aplicada em uma fábrica de transformadores de uma multinacional do setor de equipamentos elétricos, localizada na região metropolitana de Porto Alegre, Rio Grande do

Sul, que tem como principais clientes concessionárias de geração e transmissão de energia da América Latina.

O processo de fabricação de transformadores de até 230kV, é classificado como tipo projeto, ou seja, possui alta customização e baixo volume de produção, com um processo de baixa automação e alto *lead time*. O processo é dividido em 4 principais atividades, sendo: (a) produção de componentes, como núcleo e bobinas; (b) montagem e ligações; (c) tratamento de umidade da parte ativa; (d) montagem final no tanque e de componentes auxiliares.

### 3.1 Método de trabalho

Nesta seção será apresentado o método de trabalho aplicada composta de 6 etapas. A Figura 2 apresenta um fluxograma da metodologia aplicada e as saídas de cada etapa.

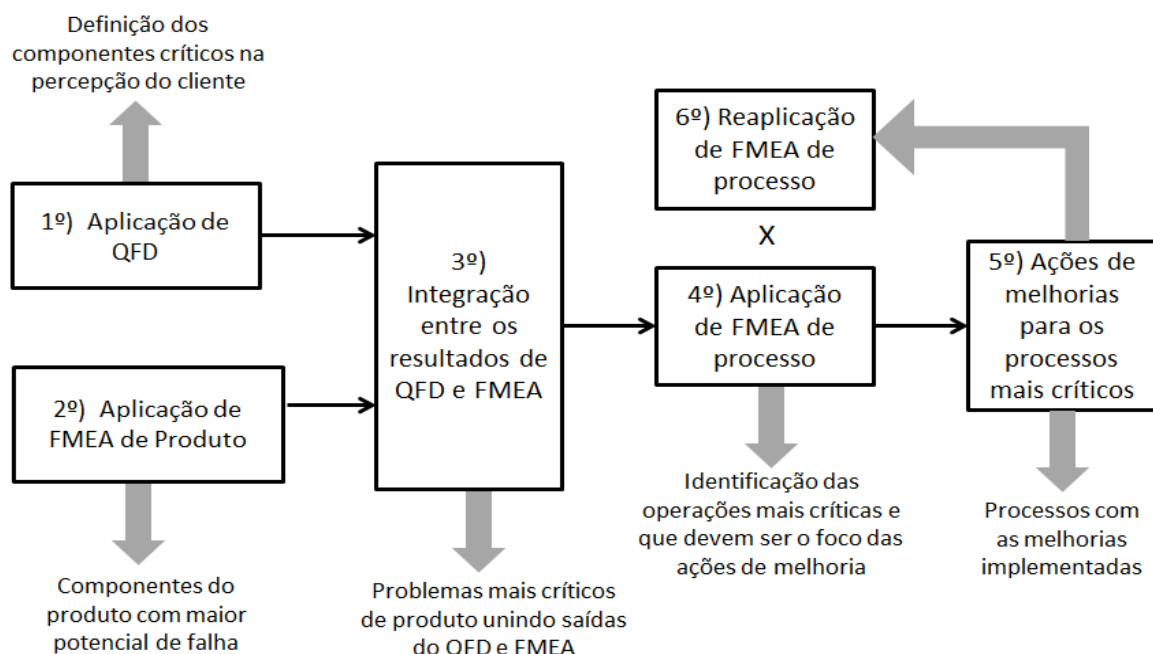


Figura 2 – Fluxograma da metodologia e saídas de cada etapa.

A primeira etapa constitui-se na aplicação do QFD. Esta ferramenta tem o objetivo de desdobrar os requisitos do cliente em especificações técnicas do produto. Primeiramente, levantam-se os principais requisitos de qualidade para o cliente, obtidos através de pesquisas de satisfação dos clientes, dados históricos da assistência técnica e vendas e reuniões com representantes dos clientes. Após, estes dados são compilados para gerar a entrada do QFD, que juntamente com os requisitos técnicos do produto geram os resultados esperados com a aplicação do QFD.



Para avaliar a relação entre os requisitos dos consumidores e os requisitos técnicos a simbologia utilizada foi a característica das matrizes de QFD: i) forte correlação, com peso nove; ii) moderada correlação, com peso três; iii) fraca correlação, com peso um. Assim foi possível obter o peso de importância para cada requisito técnico, que servirá como um critério na priorização destes requisitos.

Na segunda etapa realiza-se o FMEA de produto ponderado. Primeiramente realizou-se a formação de uma equipe multidisciplinar composta por 7 pessoas, 2 projetistas mecânicos, 2 projetistas eletricitas, 1 líder de produção, 1 analista de qualidade do produto e o engenheiro responsável técnico do produto. Após a escolha, os integrantes da equipe receberam um treinamento sobre a FMEA, onde foi apresentada a planilha padrão a ser utilizada.

A aplicação deste método de FMEA se diferencia do tradicional porque permite aplicar um grau de importância para cada fator (severidade, ocorrência e detecção), ou seja, ponderar a contribuição dos fatores no resultado final. Considerando a natureza do produto, ao fator severidade determina-se o grau quatro, devido ao grande impacto que qualquer falha gera ao cliente. Para ocorrência determina-se grau dois devido às dificuldades nas intervenções de manutenção. Para detecção não há modificação no grau um. As falhas utilizadas no método são provenientes de dados históricos dos ensaios ou testes finais de produto da própria empresa e pesquisa teórica em publicações.

O método utilizado para se medir o risco associado a cada modo de falha foi a multiplicação ponderada da pontuação dada para as classificações da severidade, ocorrência e detecção:  $(4 * \text{Severidade}) \times (2 * \text{Ocorrência}) \times (1 * \text{Detecção})$ . Essa multiplicação gera o resultado final chamada de RPN ou número potencial de risco.

Para adequação de escala e a fim de obter um comparativo entre os valores gerados pelo FMEA e QFD, o índice de risco do FMEA deve ser dividido por 10.

Na terceira etapa os resultados obtidos com as ferramentas QFD e FMEA são integrados os resultados com pontuação acima de 300 pontos para QFD e FMEA para gerar um *ranking* comum. Assim é possível obter a lista dos itens mais importantes para avaliação da qualidade do produto e identificação dos problemas ou falhas que necessitam de maior atenção e acompanhamento por parte da empresa. Enquanto o QFD fornece as características baseadas na percepção do cliente, o FMEA foca a análise dos riscos potenciais de falha na confiabilidade do produto.

Nos processos produtivos responsáveis pelos principais itens advindos do cruzamento de QFD e FMEA, realiza-se na quarta etapa um FMEA de processo, para determinar as

operações mais críticas e que merecem ser o foco das ações de melhoria, por causarem maiores impactos na visão do cliente, na qualidade dos produtos e no processo produtivo. O objetivo desta etapa é fornecer subsídios para a priorização das ações de melhoria atendendo a uma necessidade real das organizações que não querem despende tempo e recursos em ações que não propiciem um resultado nítido de melhoria na qualidade do produto sob o foco do cliente.

Na quinta etapa são planejadas e aplicadas ações de melhoria para os processos mais críticos visando minimizar os impactos destas operações no produto final. Na sexta etapa é reaplicado a ferramenta FMEA de processo nas operações críticas que tiveram melhorias já implementadas para gerar uma comparação com os RPNs (número de prioridade de risco ou *risk priority number*) encontrados anteriormente.

Caso os RPNs não reduzissem para valores inferiores a 300 RPNs, outras melhorias deveriam ser implementadas e um novo RPN deveria ser calculado. Este método de trabalho está associado a metodologia do PDCA, planejar, fazer, checar e agir.

#### **4. Resultados e Discussão**

A primeira etapa do método consistiu-se na aplicação da matriz de planejamento do produto ou casa da qualidade do QFD que possui como principal saída o desdobramento dos requisitos do cliente em especificações técnicas do produto.

Para formar esta matriz apresentada na Figura 3, primeiramente foram coletados os principais requisitos do cliente obtidos através de pesquisas de satisfação dos clientes, dados históricos da assistência técnica e vendas e reuniões com representantes dos clientes. Estes requisitos foram classificados em 6 grandes grupos: integridade, confiabilidade, conformidade, prazo, eficiência e preço.

Após foram levantados os principais requisitos técnicos ou características de qualidade do transformador, itens controláveis do produto determinados na empresa para garantir que os requisitos dos consumidores sejam satisfeitos. Para a matriz foram relacionados 14 componentes, que estão apresentados no rótulo das colunas da matriz, que podem ser encontrados na Figura 3.

Nesta análise obteve-se como resultado o percentual de 64,3% das relações classificadas como fracas ou moderadas. Esta análise permitiu identificar a relação das características com grupos de componentes. Os requisitos de integridade do produto apresentam relação mais forte com componentes da parte externa. Os requisitos de confiabilidade e eficiência estão mais relacionadas com as partes internas (elétricas) do

transformador. O requisito de conformidade relaciona-se fortemente com quase todos os itens por se tratar de um produto que precisa atender uma série de normas regulamentadoras, onde para cada componente existem critérios rigorosos para serem seguidos. Para o requisito prazo a principal correlação está nos componentes importados e, por fim, para o requisito preço a maior correlação esta com os componentes cuja matéria-prima possui o mais alto valor.

O segundo passo de preenchimento da matriz é a constituição do telhado da casa da qualidade, o qual permite uma visualização das relações entre os componentes e a influência de um sobre o outro em caso de modificações técnicas. A simbologia utilizada foi a seguinte: a) positiva forte (++) ; b) positiva (+) ; c) sem correlação (espaço em branco); d) negativa fraca (-); e) negativa forte (--).

O terceiro passo constitui-se de uma comparação do produto da empresa com outro concorrente, de modo que o cliente avaliou a sua percepção de cada característica, obedecendo aos seguintes critérios: a) muito satisfeito, nota 5; b) satisfeito, nota 4; c) satisfação regular, nota 3; d) pouco satisfeito, nota 2; e) não satisfeito, nota 1. Como resultados observa-se uma forte competitividade em quase todos os requisitos avaliados pelo cliente, pois o resultado da empresa teve apenas 7 pontos a mais do que a empresa concorrentes.

Como resultado da aplicação do QFD foi possível identificar os principais requisitos técnicos, aplicando uma linha de corte de 300 pontos no grau de importância que foi calculado a partir do preenchimento da matriz para gerar o *ranking* demonstrado na Tabela 1.

Tabela 1 – Priorização dos componentes resultantes do QFD.

Posição	Descrição	Pontuação
1º	Comutador	494
2º	Buchas	367
3º	Tanque e tampa	366
4º	Bobinas	354
5º	Cabos e ligações da parte ativa	306

A Figura 3 apresenta a casa da qualidade com o resultado da implantação da matriz QFD.

		<table border="1"> <tr><td>Núcleo de aço silício</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Bobinas e Enrolamentos</td><td>++</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Cabos e ligações da parte ativa</td><td>+</td><td>++</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Comutador</td><td>-</td><td></td><td>++</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Tanque e Tampa</td><td>-</td><td></td><td>+</td><td>+</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Radiadores</td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td>+</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>++</td><td></td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Ventiladores</td><td>-</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>++</td><td></td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Painel e dispositivos auxiliares</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>+</td><td>+</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>++</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Relés e sistemas de proteção</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>++</td><td></td></tr> <tr><td>Transformadores de corrente</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>+</td><td>++</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Buchas</td><td></td><td></td><td>++</td><td>+</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>+</td><td>++</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Tubulações rígidas e flexíveis</td><td></td><td></td><td></td><td>-</td><td>++</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>+</td><td>+</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Tanque de expansão (conservador)</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>++</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>+</td><td></td><td></td></tr> <tr><td>Óleo isolante</td><td>-</td><td></td><td></td><td>-</td><td>+</td><td>++</td><td>++</td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td></td><td>+</td><td>++</td></tr> <tr><td colspan="2">Direcionador de melhoria &gt;&gt;&gt;&gt;</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td><td>○</td></tr> </table>														Núcleo de aço silício																Bobinas e Enrolamentos	++															Cabos e ligações da parte ativa	+	++														Comutador	-		++													Tanque e Tampa	-		+	+												Radiadores	-				+						++					Ventiladores	-											++				Painel e dispositivos auxiliares					+	+							++			Relés e sistemas de proteção														++		Transformadores de corrente												+	++			Buchas			++	+								+	++			Tubulações rígidas e flexíveis				-	++							+	+			Tanque de expansão (conservador)					++								+			Óleo isolante	-			-	+	++	++							+	++	Direcionador de melhoria >>>>		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	Bechmarking de Mercado	
Núcleo de aço silício																																																																																																																																																																																																																																																																	
Bobinas e Enrolamentos	++																																																																																																																																																																																																																																																																
Cabos e ligações da parte ativa	+	++																																																																																																																																																																																																																																																															
Comutador	-		++																																																																																																																																																																																																																																																														
Tanque e Tampa	-		+	+																																																																																																																																																																																																																																																													
Radiadores	-				+						++																																																																																																																																																																																																																																																						
Ventiladores	-											++																																																																																																																																																																																																																																																					
Painel e dispositivos auxiliares					+	+							++																																																																																																																																																																																																																																																				
Relés e sistemas de proteção														++																																																																																																																																																																																																																																																			
Transformadores de corrente												+	++																																																																																																																																																																																																																																																				
Buchas			++	+								+	++																																																																																																																																																																																																																																																				
Tubulações rígidas e flexíveis				-	++							+	+																																																																																																																																																																																																																																																				
Tanque de expansão (conservador)					++								+																																																																																																																																																																																																																																																				
Óleo isolante	-			-	+	++	++							+	++																																																																																																																																																																																																																																																		
Direcionador de melhoria >>>>		○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○	○																																																																																																																																																																																																																																																		
		RT: Requisitos do Técnicos																																																																																																																																																																																																																																																															
		Parte Externa					Parte Interna																																																																																																																																																																																																																																																										
		Núcleo de aço silício	Bobinas e Enrolamentos	Cabos e ligações da parte ativa	Comutador	Tanque e Tampa	Radiadores	Ventiladores	Painel e dispositivos auxiliares	Relés e sistemas de proteção	Transformadores de corrente	Buchas	Tubulações rígidas e flexíveis	Tanque de expansão (conservador)	Óleo isolante	Grau de importância para o cliente	Nosso Produto	Concorrente X																																																																																																																																																																																																																																															
Integridade	Integridade do tanque	1	1	1	3	9	3	1	3	1	1	3	3	3	1	4	3	4																																																																																																																																																																																																																																															
	Integridade dos componentes	1	1	1	9	9	9	1	9	1	1	9	9	9	1	4	4	4																																																																																																																																																																																																																																															
Confiabilidade	Não ter falha elétrica (curto circuito)	3	9	9	9	3	3	3	3	9	3	9	1	3	3	5	4	4																																																																																																																																																																																																																																															
	Não ter vazamentos	1	1	1	3	9	9	1	1	1	3	9	1	9	9	4	2	3																																																																																																																																																																																																																																															
	Não sofrer intervenções de manutenção	1	1	1	3	9	9	9	9	3	1	3	9	3	1	3	4	4																																																																																																																																																																																																																																															
	Período de garantia	1	3	3	3	9	9	9	9	3	3	3	9	9	1	3	4	4																																																																																																																																																																																																																																															
Conformidade	Atender normas vigentes	9	9	9	9	9	3	3	3	9	9	9	1	9	9	4	5	5																																																																																																																																																																																																																																															
	Produto atender os requisitos solicitados	9	9	9	9	9	3	3	3	9	9	9	1	9	9	5	4	4																																																																																																																																																																																																																																															
	Não superaquecer	3	3	3	3	9	9	9	1	3	1	1	1	9	9	4	4	4																																																																																																																																																																																																																																															
Prazo	Prazo de entrega	1	1	3	9	3	3	1	1	3	1	9	1	3	3	3	4	3																																																																																																																																																																																																																																															
Eficiência	Redução de perdas de transformação	9	9	9	9	1	1	1	1	1	1	3	1	1	1	4	4	4																																																																																																																																																																																																																																															
	Resposta rápida da assistência técnica	1	1	9	9	3	3	1	9	3	1	9	1	3	3	4	5	3																																																																																																																																																																																																																																															
	Durabilidade do equipamento	1	3	3	9	9	9	3	3	3	3	3	3	3	9	5	4	4																																																																																																																																																																																																																																															
Preço	Preço adequado	9	9	1	9	3	3	1	1	3	1	1	1	1	1	2	4	3																																																																																																																																																																																																																																															
	Custo de manutenção baixo	1	9	3	9	1	1	1	9	1	1	9	1	1	1	2	4	3																																																																																																																																																																																																																																															
Grau de importância (req. produto)		290	354	306	494	366	250	180	267	225	171	367	158	291	205	3924,8		220	213																																																																																																																																																																																																																																														

Figura 3 – Matriz Casa da Qualidade.

Na segunda etapa realizou-se o FMEA de produto. De acordo com a planilha da FMEA de produto que encontra-se no Apêndice I, foram levantados os modos de falha para cada componente.

Como resultado da aplicação da FMEA de produto foi possível classificar em ordem crescente os requisitos do produto com falhas potenciais mais graves através de um *ranking* demonstrado na Tabela 2, aplicando uma linha de corte de 300 pontos no RPN.

Tabela 2 – Priorização dos componentes resultantes do QFD.

Posição	Descrição	Pontuação
1º	Bobinas	480
2º	Cabos e ligações da parte ativa	432
3º	Válvula de alívio (sistemas auxiliares)	403
4º	Tanque e tampa	358
5º	Comutador	324

Na terceira etapa os resultados obtidos com as ferramentas QFD e FMEA foram integrados, analisados e classificados para obter a captação dos itens mais importantes para avaliação da qualidade do produto e identificação dos problemas ou falhas que necessitam de maior atenção e acompanhamento por parte da empresa.

Foram comparados o ranking da Figura 4 gerado pelo QFD e o ranking da Figura 5 gerado pela FMEA, que permitiu gerar uma lista mestre dos principais itens: bobinas, cabos e ligações da parte ativa, tanque e tampa; comutador, buchas (QFD) e válvula de alívio (FMEA).

Na etapa seguinte realizou-se um FMEA de processo que encontra-se no Apêndice II para os componentes da lista mestre, com o objetivo de determinar as operações mais críticas e que merecem ser o foco das ações de melhoria.

O resultado da aplicação desta ferramenta pode ser visualizado na Tabela 3, que relaciona o componente e a operação com mais alto RPN, referenciando o valor. O componente cabos e ligações da parte ativa obteve 900 pontos no RPN demonstrando ser a operação mais crítica do processo e, portanto, onde as melhorias se fazem mais necessárias.

Tabela 3 – Identificação das operações mais críticas do processo de fabricação.

<b>Componente</b>	<b>Operação com maior RPN</b>	<b>RPN</b>
Bobinas	Dobra e medições das saídas	648
Cabos e ligações da parte ativa	Crimpagem	900
Comutador	Conexão dos cabos	648
	Fechamento	420
Tanque e tampa	Pintura	360
	Componente de fixação	300
Buchas	Isoladores	360
Válvula de alívio	Instalação	480

Na quinta etapa foram planejadas e aplicadas ações de melhoria para as operações mais críticas identificadas na FMEA de processo de cada componente, com o objetivo de minimizar os impactos destas operações no produto final, conforme apresentado na Tabela 4 que relaciona a melhoria implementada em cada operação.

Tabela 4 – Tabela que apresenta as melhorias implementadas em cada operação crítica.

<b>Componente</b>	<b>Operação com maior RPN</b>	<b>Melhoria Implementada</b>
Bobinas	Dobra e medições das saídas	1. Inclusão de cotas nos desenhos 2. Desenvolvimento de um novo dispositivo de medição 3. Treinamento para conscientização dos colaboradores
Cabos e ligações da parte ativa	Crimpagem	1. Implementação de novos controles: dimensões da luva, matrizes, pressão aplicada e isolamento 2. Definição que as luvas devem ficar em posições deslocadas nos cabos paralelos
Comutador	Conexão dos cabos	1. Implementação do ensaio de resistência ôhmica após a conexão dos cabos do comutador.
	Fechamento	1. Modificação no material da vedação 2. Qualificação dos colaboradores
Tanque e tampa	Pintura	1. Ações do fornecedor
	Componente de fixação	1. Ações do fornecedor
Buchas	Isoladores	1. Treinamento em manuseio, montagem e desmontagem 2. Inspeção na montagem de campo
Válvula de alívio	Instalação	1. Ações do fornecedor

Na sexta e última etapa foi realizado um novo FMEA de processo nas operações que tiveram as melhorias implementadas para verificar e comprovar a eficácia das ações implementadas Na Tabela 5 é possível obter o comparativo entre a situação anterior e posterior a melhoria.

Tabela 5 – Comparativo entre RPN anterior a melhoria e RPN posterior a melhoria.

Componente	Operação com maior RPN	Melhoria Implementada	RPN anterior a melhoria	RPN posterior a melhoria
Bobinas	Dobra e medições das saídas	1. Inclusão de cotas nos desenhos 2. Desenvolvimento de um novo dispositivo de medição 3. Treinamento para conscientização dos colaboradores	648	180
Cabos e ligações da parte ativa	Crimpagem	1. Implementação de novos controles: dimensões da luva, matrizes, pressão aplicada e isolamento 2. Definição que as luvas devem ficar em posições deslocadas nos cabos paralelos	900	243
Comutador	Conexão dos cabos	1. Implementação do ensaio de resistência ôhmica após a conexão dos cabos do comutador.	648	216
	Fechamento	1. Modificação no material da vedação 2. Qualificação dos colaboradores	420	84
Tanque e tampa	Pintura	1. Ações do fornecedor	360	80
	Componente de fixação	1. Ações do fornecedor	300	90
Buchas	Isoladores	1. Treinamento em manuseio, montagem e desmontagem 2. Inspeção na montagem de campo	360	135
Válvula de alívio	Instalação	1. Ações do fornecedor	480	160

## 5. Conclusão

A proposta do artigo de desenvolver uma método que utiliza as ferramentas QFD e FMEA para priorizar ações de melhoria em uma indústria de transformadores elétricos atingiu com sucesso os resultados esperados em 6 etapas: aplicação do QFD, aplicação da FMEA de produto, integração entre os resultados de QFD e FMEA, aplicação da FMEA de processo, implementação de ações de melhoria para processos mais críticos e reaplicação da FMEA de processo para comparação entre RPNs.

A principal vantagem da implementação deste método foi realizar as ações de melhoria direcionadas considerando a voz do cliente obtida no QFD sem minimizar a confiabilidade do produto obtida através da FMEA, elaborada pelo corpo técnico da empresa. Com a integração das saídas das duas ferramentas foi possível obter um melhor gerenciamento dos recursos despendidos com a implementação de melhorias, gerando maior foco em resultados. No decorrer do trabalho ficou evidente não só a necessidade, mas também a importância de unir as percepções dos clientes, cada vez mais exigentes, e da experiência do corpo técnico responsável pela confiabilidade do produto para identificar qual o processo de maior necessidade de atuação.

Outro ganho muito considerável nesta implementação foi a utilização das ferramentas QFD e FMEA juntas, pois na maioria das empresa elas são utilizadas separadamente.

O estudo de caso aprofundou o autor acerca da implementação de um método para priorização da ações de melhoria na indústria de equipamentos elétricos, mas o método

proposto neste artigo pode servir como guia para a implementação em outros ramos da indústria que trabalham com este nível de complexidade do produto. As saídas do QFD e da FMEA podem ser utilizadas não somente para melhorias em processo, mas também melhorias no projeto do produto.

### **Referências Bibliográficas**

AGUIAR, S. **Integração das Ferramentas da Qualidade ao PDCA e ao Programa Seis Sigma**. Belo Horizonte: Ed. de Desenvolvimento Gerencial, 2002.

AKAO, Y. **Quality Function Deployment**, *Productivity Press*, Cambridge, 1990.

AKAO, Yoji. **Manual da aplicação do desdobramento da função qualidade**: Introdução do desdobramento da qualidade. Belo Horizonte, Fundação Christiano Ottoni, Escola de Engenharia da UFMG, 1996.

CARPINETTI, Luiz. Proposta de um modelo conceitual para o desdobramento de melhorias estratégicas. **Revista Gestão e Produção**, v.7, 2000.

DRUMOND, F.B. Ouvindo o cliente para o planejamento do produto. In: CHENG, L.C. et al. **QFD: planejamento da qualidade**. Belo Horizonte: Littera Maciel, 1995. cap. 3, p. 57-88.

FERNANDES, José Marcio. **Proposição de abordagem integrada de métodos da qualidade baseada no FMEA**. 2005. Tese (Dissertação de Mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Paraná.

FERNANDES, José Marcio; REBELATO, Marcelo. Proposta de um método para integração entre QFD e FMEA. **Revista Gestão e Produção**, v.13, 2006.

FONSECA, Augusto; MIYAKE, Dario. **Uma análise sobre o Ciclo PDCA como um método para solução de problemas da qualidade**. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVI, 2006, **Anais**.

FRANK, Alejandro; PEDRINI, Danilo; ECHEVESTE, Marcia. **Integração das visões de QFD e FMEA por meio de um índice de falhas modificado**. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVIII, 2008, **Anais**.

GONÇALVES, José Ernesto Lima. As empresas são grandes coleções de processo. RAE. **Revista de Administração de Empresas**, v. 40, n. 1, p. 6-19, jan./mar. 2000.

EKDAHL, F.; GUSTAFSSON, A. **QFD: the Swedish experience**. In: *SYMPOSIUM ON QUALITY FUNCTION DEPLOYMENT*, 9., 1997. Michigan: Novi, 1997. p. 15-27.

HAMMER, M., STANTON, S. *How process enterprises really work*. **Harvard Business Review**, v. 77, n. 6, p. 108-118, 1999.



NOGUEIRA, M.A; TOLEDO, J. C. Uma abordagem para o uso do FMEA. **Revista Banas Qualidade**, Ano VIII, n. 90, 1999.

PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. 2 ed. São Paulo: Atlas, 2004.

PALADINI, E. P. **Gestão estratégica da qualidade** – princípios, métodos e processos. São Paulo: Atlas, 2008.

PALADY, P.; OLYAI, N.; *The status quo's failure in problem solving*. **Quality Progress**, August 2002.

PENA, Miguel. **Falhas em transformadores de potência**: uma contribuição para análise, definições, causas e soluções. 2003. Tese (Dissertação de mestrado em ciências da engenharia) - Universidade Federal de Itajuba, .

PORTER, M. *What is strategy?* **Harvard Business Review**, p.61-78, Nov./Dec. 1996.

PORTER, M. **Competição**: estratégias competitivas essenciais. 9 ed. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

PUENTE, J.; PINO, R.; PRIORE, P.; FOUENTE, D de L. A decision support system for applying failure mode and effects analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, Bradford, v. 19, n. 2, p. 137-151, 2002.

ROOS, Cristiano; ROSA, Leandro. Ferramenta FMEA: estudo comparativo entre três métodos de priorização. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, XXVIII, 2008, Rio de Janeiro, **Anais**.

SLACK, N. **Administração da produção**. São Paulo: Atlas, 2007.

SMITH, G.F. *Quality Problem Solving*. **Milwaukee: ASQ Quality Press**, 1998.

SOUZA, Denise. **Falhas e defeitos ocorridos em transformadores de potência do sistema elétrico da Celg, nos últimos 28 anos**: um estudo de caso. 2008. Tese (Dissertação de mestrado em engenharia elétrica) - Universidade Federal de Goiás.

STAMATIS, D. H. Failure Mode and Effect Analysis: FMEA from theory to execution. 2. ed. ASQC, Milwaukee: **Quality Press**, 2003.

SZYSZKA, Irene. **Implantação de sistemas da qualidade ISO 9000 e mudanças organizacionais**. 2001. Tese (Dissertação de Mestrado em Administração de Empresas.) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul.

VIANA, Willian.; GIFFHORN, Edilson.; FERREIRA, Nubia.; PALADINI, Edson.; Alinhamento estratégico e indicadores de desempenho: um estudo para a integração de processos de gestão da qualidade. **Revista Produção Online**, Vol. X, 2010.

VIEIRA, S. **Estatística para a qualidade**: como avaliar com precisão a qualidade em produtos e serviços. Rio de Janeiro: Campus, 1999.

# Apêndice I - Planilha FMEA de Produto

Modo de Falha		Severidade (Peso 4)		Ocorrência (Peso 2)		Detecção (Peso 1)		SxOxD	SxOxD com pesos
Componente	Tipo de Falha	Efeito da Falha	N	Descrição	N	Como?	N		
Parte ativa	Núcleo	Sobreaquecimento	6	Elevar a temperatura do TR	2	Sistema de	2	24	192
		Perdas e correntes parasitas	5	Diminuir potencia	2	Sistema de	4	40	192
		Contaminação por particuladas	8	Curto Circuito	4	Ensaio / Inspeção	7	224	1792
	Boninas e Enrolamento	Falta de isolação/ aterramento	8	Curto Circuito	4	Ensaio / Inspeção	5	160	1280
		Sobreaquecimento	6	Elevar a temperatura do TR	5	Sistema de	2	60	480
		Falha de isolação em espiras	9	Curto Circuito	6	Após falhar	9	486	3888
		Contaminação por particuladas	8	Curto Circuito	4	Ensaio / Inspeção	7	224	1792
		Danos em condutores interrompidos	7	Falha elétrica	5	Após falhar	9	315	2520
		Curto circuito/ descargas ocasionado por distância entre saídas	10	Curto Circuito	6	Após falhar	10	600	4800
	Cabos e ligações	Relação de transformação	8	Falha elétrica	2	Ensaio / Inspeção	7	112	896
		Resistência elevada	8	Falha elétrica	5	Ensaio / Inspeção	7	280	2240
		Sobreaquecimento	6	Elevar a temperatura do TR	5	Sistema de	2	60	480
		Defeito na crimpagem	8	Curto Circuito	5	Após falhar	8	320	2560
		Danos em condutores interrompidos	7	Falha elétrica	5	Após falhar	9	315	2520
		Distância entre cabo	9	Curto Circuito	5	Após falhar	9	405	3240
Comutador de derivação em carga (CDC)	Mecanismo de acionamento	Distancias entre cabos e tanque	9	Descargas	5	Após falhar	9	405	3240
		Curto circuito/ descargas ocasionado por distância entre saídas	10	Curto Circuito	6	Após falhar	9	540	4320
		Quebras mecânicas	9	Impossibilidade de comutar	3	Após falhar	9	243	1944
	Hastes e caixas de transmissão	Falha no rolamento	6	Impossibilidade de comutar	3	Ensaio / Inspeção	6	108	864
		Curto circuito/ descargas ocasionado por umidade	9	Curto Circuito	4	Após falhar	9	324	2592
		Falha no rolamento	6	Impossibilidade de comutar	3	Ensaio / Inspeção	6	108	864
	Chave comutadora (desviadora)	Desacoplamento entre hastes e caixas	7	Impossibilidade de comutar	4	Ensaio / Inspeção	7	196	1568
		Alinhamento incorreto entre haste e caixa	6	Impossibilidade de comutar	5	Ensaio / Inspeção	7	210	1680
		Falta de lubrificação	3	Impossibilidade de comutar	4	Visual	3	36	288
		Curto circuito/ descargas ocasionado por umidade	9	Curto Circuito	5	Após falhar	9	405	3240
		Carbonização do óleo	7	Curto Circuito	5	Após falhar	10	350	2800
		Curto circuito no resistor	6	Curto Circuito	5	Após falhar	10	300	2400
		Conexões elétricas folgadas	6	Falha elétrica	6	Ensaio / Inspeção	5	180	1440
		Contato Gasto	6	Falha elétrica	4	Ensaio / Inspeção	5	120	960
		Contato com pouca pressão	6	Falha elétrica	3	Ensaio / Inspeção	5	90	720
Rompimento de condutores fixos		6	Falha elétrica	3	Após falhar	8	144	1152	
Seletor e pré-seletor	Falha solda contato	6	Falha elétrica	4	Após falhar	8	192	1536	
	Mola cansada	6	Impossibilidade de comutar	5	Ensaio / Inspeção	3	90	720	
	Cordoalha quebrada	6	Falha elétrica	5	Visual	3	90	720	
	Quebra mecânica	6	Impossibilidade de comutar	3	Visual	5	90	720	
	Curto circuito/ descargas ocasionado por umidade	9	Curto Circuito	4	Após falhar	10	360	2880	
Comutador de derivação sem tensão (CDST)	Desalinhamento dos contatos	6	Impossibilidade de comutar	3	Ensaio / Inspeção	6	108	864	
	Baixa pressão de contatos	6	Impossibilidade de comutar	4	Ensaio / Inspeção	6	144	1152	
	Baixo isolamento nas hastes	6	Curto Circuito	4	Ensaio / Inspeção	6	144	1152	
	Incompatibilidade com óleo	7	Curto Circuito	2	Ensaio / Inspeção	2	28	224	
	Vibração	4	Curto Circuito	6	Ensaio / Inspeção	5	120	960	
Buchas	Fadiga das molas	5	Impossibilidade de comutar	5	Ensaio / Inspeção	3	75	600	
	Formação de filmes nos contatos não utilizados	6	Falha elétrica	3	Ensaio / Inspeção	6	108	864	
	Mau aterramento no eixo de transmissão	6	Curto Circuito	3	Ensaio / Inspeção	6	108	864	
	Sobreaquecimento	7	Falha elétrica	3	Sistema de	2	42	336	
	Contaminação por umidade, oxigênio e particuladas	7	Curto Circuito	5	Após falhar	10	350	2800	
Tanque e tampa	Tanque	trinca ou quebra da porcelana	6	Falha elétrica	8	Ensaio / Inspeção	6	288	2304
		vazamento de óleo	7	Desarmar o transformador	7	Ensaio / Inspeção	6	294	2352
		Oxidação	6	Diminuição da vida útil	7	Visual	3	126	1008
	Conservador	vazamento em vigias e tampas	7	Perda de óleo até desarmar TR	8	Visual	3	168	1344
		Vazamento solda	7	Perda de óleo até desarmar TR	7	Visual	3	105	840
		Oxidação	6	Diminuição da vida útil	5	Visual	3	126	1008
	Válvulas	Vazamento vedação	7	Perda de óleo até desarmar TR	6	Visual	3	126	1008
		Bolsa furada	8	Umidade no óleo	6	Após falhar	7	336	2688
		Vazamento solda	7	Perda de óleo até desarmar TR	5	Visual	3	105	840
	Tubulação de óleo	Vazamento	7	Perda de óleo até desarmar TR	7	Visual	3	147	1176
		Vazamento conexões	7	Perda de óleo até desarmar TR	7	Visual	3	147	1176
		Oxidação	6	Diminuição da vida útil	7	Visual	3	126	1008
Caixas de terminal	Vazamento solda	7	Perda de óleo até desarmar TR	6	Visual	3	126	1008	
	Vazamento em caixas de terminais	8	Perda de óleo até desarmar TR	8	Ensaio / Inspeção	7	448	3584	
	Sílica Vencida	6	Umidade no óleo	6	Ensaio / Inspeção	2	72	576	
Sistemas auxiliares e de proteção	Secador de ar	Rompimento da tela de proteção da sílica	7	Umidade no óleo	3	Visual	2	42	336
		Baixo isolamento contato de relé	7	Desarmar o transformador	4	Após falhar	8	224	1792
		Quebra de eixo de sustentação da boia	7	Desarmar o transformador	3	Após falhar	8	168	1344
	Relé detector de gás	penetração de óleo na boia oca	7	Desarmar o transformador	3	Após falhar	8	168	1344
		afundamento da boia maciça	7	Desarmar o transformador	2	Após falhar	8	112	896
		atuação indevida contato ampola	7	Desarmar o transformador	3	Após falhar	8	168	1344
	Tubulação de fiação de circuitos auxiliares	baixo isolamento entre régua de terminais e fiação	7	Desarmar o transformador	2	Após falhar	8	112	896
		Oxidação	6	Diminuição da vida útil	7	Visual	3	126	1008
		Erro em atuação dos contatos	7	Informação errada	3	Após falhar	8	168	1344
	Indicador do nível de óleo	Emperrar a haste	7	Informação errada	5	Após falhar	8	280	2240
		Quebra do visor	3	Diminuição da vida útil	5	Visual	3	45	360
		Vazamento	6	Perda de óleo até desarmar TR	6	Visual	3	108	864
	Válvula de alívio	atuação indevida	8	Informação errada	7	Após falhar	9	504	4032
		Erro no sensor	5	Alarme falso	4	Após falhar	9	180	1440
		Erro no sensor	5	Alarme falso	4	Após falhar	9	180	1440
Transformadores de corrente (TC)	Baixo isolamento	7	Curto Circuito	4	Ensaio / Inspeção	7	196	1568	
	Curto circuito	8	Curto Circuito	5	Ensaio / Inspeção	7	280	2240	
	Inversão de polaridade	7	Falha elétrica	4	Ensaio / Inspeção	7	196	1568	
Sistema de refrigeração	Ventiladores	Relação de transformação	7	Falha elétrica	3	Ensaio / Inspeção	4	84	672
		Desbalanceamento das pás	4	Rudo e diminuição da vida útil	6	Visual	3	72	576
		Oxidação	4	Diminuição da vida útil	7	Visual	3	84	672
	Radiadores	Travamento das pás	5	Aquecimento do TR	6	Visual	3	90	720
		Vazamento	7	Perda de óleo até desarmar TR	5	Visual	3	105	840
		Oxidação	6	Diminuição da vida útil	6	Visual	3	108	864
Óleo	Contaminação por particuladas	8	Curto Circuito	4	Após falhar	10	320	2560	
	Umidade	9	Curto Circuito	3	Após falhar	10	270	2160	

Apêndice II - Planilha FMEA de Processo

Modo de Falha		ANTERIOR AS MELHORIAS				POSTERIOR AS MELHORIAS			
Componente	Operação	Severidade	Ocorrência	Detecção	SxOxD	Severidade	Ocorrência	Detecção	SxOxD
Bobinas	Colocar cilindro no molde	6	6	2	72	6	6	2	72
	Dobras e medições das saídas	9	9	8	648	9	4	5	180
	Decapagem das saídas	8	5	6	240	8	5	6	240
	Isolamento das saídas	8	4	4	128	8	4	4	128
	Transposições	8	3	7	168	8	3	7	168
	Montar guia de óleo	5	5	3	75	5	5	3	75
	Medição do diâmetro externo interno e radial	4	3	3	36	4	3	3	36
	Retirar da máquina	7	2	2	28	7	2	2	28
	Verticalizar e transportar	7	2	2	28	7	2	2	28
Cabos e ligações da parte ativa	Posicionar sustentações de alta tensão	6	4	4	96	6	4	4	96
	Posicionar sustentações de baixa tensão	5	4	4	80	5	4	4	80
	Verificar distâncias entre cabos	10	5	4	200	10	5	4	200
	Crimpagem	10	9	10	900	9	3	9	243
	Isolar luvas	10	5	4	200	10	5	4	200
	Verificar diâmetro do isolamento	9	6	4	216	9	6	4	216
	Instalar conector e ferragem para saídas da buchas	9	3	5	135	9	3	5	135
Comutador	Instalar suporte (bell taype)	7	3	2	42	7	3	2	42
	Posicionar o comutador	8	3	2	48	8	3	2	48
	Verificar distâncias entre comutador e parte ativas	10	5	4	200	10	5	4	200
	Conexão dos cabos da parte ativa	9	9	8	648	9	3	8	216
	Fechamento (no tanque)	7	10	6	420	7	2	6	84
	Fixar conectores com parafusos e blindagem	9	5	4	180	9	5	4	180
Tanque e tampa	Corte de chapas	3	3	4	36	3	3	4	36
	Soldagens do tanque (estanques)	6	4	5	120	6	4	5	120
	Soldagem dos reforços	4	4	5	80	4	4	5	80
	Soldagem de flanges, tubulações, perfis e canecos	5	5	5	125	5	5	5	125
	Jateamento	5	3	4	60	5	3	4	60
	Primer	5	2	4	40	5	2	4	40
	Pintura	5	9	8	360	5	2	8	80
	Componentes de fixação (abraçadeiras e prisioneiros)	5	10	6	300	5	3	6	90
Buchas	Instalação no tanque (flange)	9	8	5	360	9	3	5	135
	Instalação das vedações	7	6	5	210	7	6	5	210
	Instalação da ferragem (conexão)	7	3	6	126	7	3	6	126
	Isoladores (instalação)	9	8	5	360	9	3	5	135
	Montagem dos conectores	6	4	3	72	6	4	3	72
Valvula de alivio	Instalação	8	6	10	480	8	2	10	160
	Ligações no painel	8	5	4	160	8	5	4	160