

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO DE ENGENHARIAS DA MOBILIDADE
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA NAVAL

MARCUS VINÍCIUS ZUCCO

**METODOLOGIA PARA A MELHORIA CONTÍNUA DA PRODUÇÃO DE
EMBARCAÇÕES DE RECREIO COM BASE NA REDUÇÃO DE DEFEITOS DE
PRODUÇÃO**

Joinville, 2015

Marcus Vinícius Zucco

**METODOLOGIA PARA A MELHORIA CONTÍNUA DA PRODUÇÃO DE
EMBARCAÇÕES DE RECREIO COM BASE NA REDUÇÃO DE DEFEITOS DE
PRODUÇÃO**

Trabalho apresentado como requisito parcial para obtenção de aprovação na disciplina Planejamento de Trabalho de Conclusão de Curso, no Curso de Engenharia Naval na Universidade Federal de Santa Catarina.

Orientador: Dr. Luís Fernando Peres Calil

Joinville, 2015

Zucco, Marcus Vinícius

METODOLOGIA PARA A MELHORIA CONTÍNUA DA PRODUÇÃO DE
EMBARCAÇÕES DE RECREIO COM BASE NA REDUÇÃO DE DEFEITOS DE
PRODUÇÃO / Marcus Vinícius Zucco ; orientador, Dr. Luís
Fernando Peres Calil - Joinville, SC, 2015.

69 p.

Trabalho de Conclusão de Curso (graduação) -
Universidade Federal de Santa Catarina, Campus Joinville.
Graduação em Engenharia Naval.

Inclui referências

1. Engenharia Naval. 2. Construção Naval. 3.
Melhoramento Contínuo Baseado em Defeitos. 4. FMEA. I. ,
Dr. Luís Fernando Peres Calil. II. Universidade Federal de
Santa Catarina. Graduação em Engenharia Naval.

*Aos meus pais,
meus maiores educadores.*

AGRADECIMENTOS

A Deus por se fazer presente e proporcionar tantas oportunidades.

Aos meus pais Sandro Rogério Zucco e Margit Gomes Zucco, que não mediram esforços para tornar meus projetos possíveis e que me apoiaram com confiança no meu potencial.

Ao meu irmão Gustavo Zucco, por ser um grande companheiro, a quem busco orgulhar em todos os passos dados.

Ao meu amor, Maria Cláudia da Silva Emiliano, pelo apoio incondicional em todos os momentos, não permitindo que meu foco fosse perdido, principalmente na elaboração deste trabalho.

Ao meu orientador Professor Doutor Luís Fernando Peres Calil, por toda a ajuda, dedicação e paciência para a elaboração deste trabalho.

A todos os parentes e amigos que de alguma forma contribuíram para a realização deste sonho.

Ao engenheiro André Loli que com toda a paciência, didática e conhecimento contribuiu para a execução deste trabalho.

À Andrea Valterza por ter proporcionado a mim a oportunidade de me inserir na indústria náutica.

À Universidade Federal de Santa Catarina por meio de todo o corpo docente e administrativo.

RESUMO

O crescimento do segmento náutico brasileiro é observado ao longo dos últimos anos, desde a década de 1990, onde grande quantidade de construtores de embarcações de recreio surgiu para atender a demanda que é crescente (ACOBAR, 2005). Este desenvolvimento do mercado tem exigido dos estaleiros, por meio do aumento da competitividade no setor, uma busca pelo aprimoramento de processos construtivos – o que vem alavancando a indústria e aumento da qualidade do produto e redução de custos. O presente trabalho trata de uma proposta de metodologia para trabalhar sob a ótica de melhoramento contínuo de processos de construção naval. As etapas envolvidas em toda a metodologia são propostas de identificação e mensuração dos principais defeitos encontrados em inspeções finais de qualidades aliados à análise de modos de falhas, seus efeitos e criticidade (FMEA). Além da possibilidade de visualizar de forma clara os principais defeitos de embarcações produzidas, é possível – com a metodologia – priorizar os principais defeitos e aplicar uma FMEA apenas em processos específicos, direcionando forças aos itens que têm maiores impactos sob ponto de vista de gravidade de defeitos. Finalmente, com o resultado e aplicação da metodologia proposta, é conclusivo o fato da ferramenta criada poder aprimorar as técnicas construtivas, trabalhando no melhoramento contínuo de processos produtivos de embarcações de recreio, sendo a metodologia, extensível para outras áreas.

Palavras-chave: processo de construção naval, FMEA, melhoramento contínuo, embarcação de recreio.

ABSTRACT

The growth of the Brazilian nautical segment is observed over the past few years since the 1990, where lot of pleasure craft builders came to meet demand that is growing (ACOBAR, 2005). This market development has required the shipyards, through increased competitiveness in the sector, a search for improvement of construction processes, which has been leveraging the industry, increased product quality and cost reduction. This paper deals with a proposed methodology to work from the perspective of continuous improvement in shipbuilding processes. The steps involved in all the methodology are proposed identification and measurement of the main defects found in final inspections allies qualities to an analysis of failure modes, effects and criticality (FMEA). Plus the ability to see clearly the main produced vessels defects is possible with the methodology, prioritize major defects and apply a FMEA, directing forces to items that have higher impact in view of defects of gravity.. Finally, with the result and the proposed methodology, it is conclusive the fact that the established power tool improve construction techniques, working on continuous improvement of production processes of pleasure boats, and the methodology extended to other areas.

Keywords: shipbuilding process, FMEA, continuous improvement, pleasure craft.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Fluxograma de um processo típico de fabricação de uma embarcação em PRFV.	15
Figura 2. Processo de fabricação de um casco por método de infusão.	16
Figura 3. Instalação de anteparas transversais em um casco em PRFV.	17
Figura 4. Montagem em casco aberto	18
Figura 5. Fechamento e união do casco com o convés de uma embarcação de recreio.	19
Figura 6. Base do sistema Toyota de produção (adaptado).....	22
Figura 7. Modelo de um FMEA padrão	29
Figura 8. Fluxograma da metodologia sugerida.....	31
Figura 9. Lógica FMEA	38
Figura 10. Organização da equipe de trabalho para aplicação da FMEA.	39
Figura 11. Fluxograma do processo típico de instalação de um tanque de combustível em uma embarcação de recreio.	45
Figura 12. Tanque de combustível de uma embarcação de PRVF de 70 pés.....	46
Figura 13. Manômetro de Teste.	47
Figura 14. Teste de Estanqueidade.....	48
Figura 15. Avaliação da Metodologia Proposta.....	64

LISTA DE QUADROS

Quadro 1. Modo de falha sob a abordagem funcional e estrutural.....	25
Quadro 2. Principais tipos de defeitos na montagem de uma embarcação de recreio.....	33
Quadro 3. Critério de atribuição de gravidade	35
Quadro 4. Dicionário dos Defeitos.....	35
Quadro 5. Ranking dos defeitos mais impactantes.....	36
Quadro 6. Critério de Severidade do Efeito.	40
Quadro 7. Índice de ocorrência de Causa DFMEA.....	41
Quadro 8. Índice de Detecção sugerido por DFMEA.	42
Quadro 9. Ranking fictício dos defeitos mais impactantes	44
Quadro 10. Modos de falha, causas e efeitos da pré-montagem dos tanques.	50
Quadro 11. Controles atuais de detecção e prevenção da pré-montagem dos tanques.	51
Quadro 12. Modos de falha, causas e efeitos do teste de estanqueidade em tanques.....	53
Quadro 13. Controles atuais de detecção e prevenção do teste de estanqueidade dos tanques de combustível.	54
Quadro 14. Modos de falha, causas e efeitos da alocação do tanque na embarcação.	56
Quadro 15. Controles atuais de detecção e prevenção no processo de alocação dos tanques na embarcação.....	57
Quadro 16. Ações Recomendadas.....	60
Quadro 17. Critérios de avaliação da metodologia.	62
Quadro 18. Questões relacionadas aos critérios de avaliação da metodologia proposta.....	63

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	12
1.2 JUSTIFICATIVA	13
1.3 OBJETIVOS.....	13
1.3.1 Objetivo Geral	13
1.3.2 Objetivos Específicos	13
2. PROCESSO DE CONSTRUÇÃO NAVAL PARA EMBARCAÇÕES DE RECREIO UTILIZANDO PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (PRFV).....	15
1.4 OBTENÇÃO DO CASCO EM PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (PRFV).....	16
1.5 MONTAGEM ESTRUTURAL DE UMA EMBARCAÇÃO EM PRFV	16
1.6 PROCESSO DE MONTAGEM DA EMBARCAÇÃO	17
1.7 INSPEÇÃO DE QUALIDADE.....	19
1.8 MELHORIA CONTÍNUA NO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE EMBARCAÇÕES DE RECREIO.....	20
3. MATERIAIS E MÉTODOS.....	24
3.1 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS (FMEA).....	24
3.1.1 Definição	24
3.1.2 Abordagens de FMEA.....	25
3.1.3 Aplicação de FMEA: Metodologia	26
3.1.4 Tipos de FMEA.....	29
3.2 AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA.....	30
4. METODOLOGIA PARA A MELHORIA CONTÍNUA DA PRODUÇÃO DE EMBARCAÇÕES DE RECREIO	31
4.1.1 Levantamento de dados.....	32
4.1.2 Priorização dos dados obtidos.....	36
4.1.3 FMEA.....	37
4.1.4 Tomada de ação	42
4.1.5 Avaliação da eficácia.....	43
5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA A MELHORIA CONTÍNUA DA PRODUÇÃO DE EMBARCAÇÕES DE RECREIO	44
5.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE INSTALAÇÃO DE UM TANQUE DE COMBUSTÍVEL EM UMA EMBARCAÇÃO DE RECREIO.....	45
5.1.1 Pré-montagem do tanque	46

5.1.2 Teste de estanqueidade no tanque pré-montado	46
5.1.3 Alocação do tanque de combustível na embarcação.....	48
5.2 FMEA.....	48
5.2.1 FMEA pré-montagem dos tanques.....	49
5.2.2 FMEA Teste de estanqueidade	53
5.2.3 FMEA Alocação do tanque de combustível na embarcação.....	55
5.3 RESULTADOS	58
5.3.1 Parâmetros que influenciam na falha	58
5.4 AÇÕES RECOMENDADAS.....	59
6. AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA PARA A MELHORIA CONTÍNUA DA PRODUÇÃO DE EMBARCAÇÕES DE RECREIO	61
6.1 AVALIAÇÃO DO MODELO DE REFERÊNCIA JUNTO ÀS EMPRESAS E PESQUISADORES.....	61
7. CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS	67
APÊNDICE A	70

1. INTRODUÇÃO

A indústria náutica no Brasil tem grande potencial a ser explorado devido a sua extensa costa, com cerca de oito mil e quinhentos quilômetros de extensão e a seus grandes rios e lagos. O desenvolvimento do setor de turismo náutico e náutica esportiva acarreta aumento da competitividade entre empresas do ramo. De acordo com a Associação Brasileira de Barcos e seus Implementos (ACOBAR, 2005) o setor náutico movimenta U\$\$ 550 milhões por ano, com perspectiva de crescimento de 10% ao ano e gerar cerca de 120 mil empregos diretos e indiretos, o que demonstra o potencial do setor no país.

Este aumento de competitividade exige maior eficiência da produção, quer pelo aumento da produtividade, quer pela redução de custo. Neste sentido, a ocorrência de retrabalho, além de fazer com que a empresa perca tempo na manufatura, dinheiro na mão de obra e em eventuais reparos físicos de peças, faz com que fique comprometida a capacidade competitiva da organização.

Uma estratégia comum para agir sobre o problema de retrabalho em uma empresa é a utilização de técnicas e ferramentas que indicam e quantificam os problemas por grau de importância e em seguida apontam onde a ação deve ser feita para a melhoria. Possível solução é a utilização da técnica Análise do Modelo de Falhas e seus Efeitos (FMEA), encontrando os principais itens que sofrem o retrabalho. A partir daí o estudo se dá analisando maneiras eficazes de se agir perante o problema, muitas vezes alterando a maneira de processamento ou até mesmo orientado de maneira sistemática os funcionários envolvidos diretamente.

Este panorama ressalta a importância da formalização documental dos itens apontados por inspeção de qualidade para que ações preventivas e melhorias na eficiência e qualidade do processo sejam empregadas e assim, melhora na qualidade do produto final, bem como a competitividade.

O conhecimento dos principais itens, ou categorias de itens defeituosos nas embarcações identificados e listados na inspeção de qualidade realizada pelo setor responsável é de fundamental importância para a minimização de ocorrência dos mesmos.

Tipicamente, é de posse da empresa uma vasta listagem de itens defeituosos observados em produtos já finalizados, porém é necessária uma organização para que seja possível a identificação, bem como a classificação dos defeitos por grau de importância. A partir daí, é possível uma análise concreta e uma decisão levando em conta os interesses da empresa sobre as categorias de defeitos e por fim uma proposta de melhoria no processo produtivo.

Este trabalho tem como objetivo a implementação e aplicação de uma metodologia que utiliza como etapa a Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA). O estaleiro escolhido para a aplicação da metodologia e desenvolvimento do estudo será um produtor de iates de luxo fabricados

em fibra de vidro, localizado no sul do Brasil, Santa Catarina. Contando com uma gama de embarcações que varia entre 40 e 80 pés, onde são produzidos em média 30 embarcações por ano.

1.2 JUSTIFICATIVA

O aumento contínuo da competitividade entre estaleiros de embarcações de recreio, junto com o aumento do número de pessoas envolvidas com este setor na indústria (ACOBAR, 2005) faz com que as técnicas produtivas sejam aprimoradas, permitindo-se cada vez menos perdas e desperdícios em processos, tanto em questão de tempo e principalmente de dinheiro.

Tal aumento demanda um maior volume de técnicas e metodologias que possam auxiliar de forma embasada o aperfeiçoamento de linhas produtivas. O presente trabalho segue nesta linha e traz uma proposta de identificação de oportunidades de melhorias em processos e uma orientação de onde devem ser concentrados os esforços para o aprimoramento de processos construtivos.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 Objetivo Geral

Diante da proposta de um estudo que identifique as principais ocorrências de falhas após as inspeções de qualidade das embarcações, o presente trabalho objetiva desenvolver uma metodologia para a melhoria contínua da produção de embarcações de recreio. Desta forma, é possível priorizar e estudar determinado processo com base em seu histórico de defeitos, agir sobre tal situação e, de forma cíclica, resolver os problemas produtivos, contribuindo com o melhoramento contínuo da produção de embarcações de recreio.

1.3.2 Objetivos Específicos

- Desenvolver um modelo de planilha de compilação de dados oriundos das inspeções de qualidade, de tal forma que sejam priorizados defeitos mais graves;
- Adaptar os dados gerados pela empresa, numa aplicação piloto, para o modelo criado;

- Aplicar uma FMEA em um exemplo hipotético, exemplificando o método;
- Criar e aplicar um sistema de avaliação da metodologia proposta.

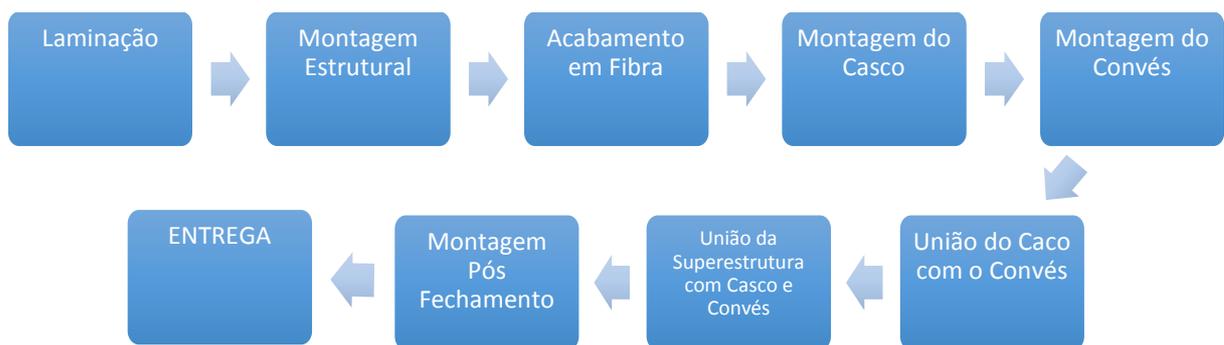
2. PROCESSO DE CONSTRUÇÃO NAVAL PARA EMBARCAÇÕES DE RECREIO UTILIZANDO PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (PRFV)

O processo produtivo é constituído por um grupo de atividades realizadas numa sequência lógica com o objetivo de produzir um bem ou serviço para um grupo específico de clientes, no caso, os armadores. Cada espécie de produto final demandará de técnicas específicas para tal manufatura (LAMB, 1986).

A construção serial de uma embarcação típica em PRFV é organizada de maneira sequencial que vai da obtenção do casco, convés e superestruturas em fibra de vidro; passa pelo processo de montagem estrutural; acabamento nas peças de fibra; montagem de subsistemas com casco, convés e superestrutura separados; união tanto do casco com o convés quanto da superestrutura com a união feita anteriormente; montagem de sistemas após o fechamento e finalizando o processo com a entrega do produto, conforme mostra a Figura 1.

Os materiais compostos têm encontrado um lugar importante como material de engenharia para diversas aplicações na indústria, e a construção de barcos é uma importante aplicação. (NASSEH, 2011).

Figura 1. Fluxograma de um processo típico de fabricação de uma embarcação em PRFV.



Fonte: Autoria própria.

1.4 OBTENÇÃO DO CASCO EM PLÁSTICO REFORÇADO COM FIBRA DE VIDRO (PRFV)

Existem diversas maneiras de se produzir o casco de uma embarcação de recreio de material compósito. Modernamente a manufatura do casco em plástico reforçado com fibra de vidro (PRFV) tem utilizado o método de infusão a vácuo, que é o processo utilizado pela empresa onde foi realizada a aplicação piloto. Nasseh (2011) destaca ainda que, ao contrário dos materiais metálicos, as propriedades mecânicas dos materiais compostos dependem

não só do tipo de material base, fibras e resinas como das técnicas de fabricação que permitem controles de teores de fibras alterando a qualidade e propriedade final do laminado. A Figura 2 apresenta uma visão geral do processo construtivo inicial de uma embarcação de recreio em PRFV, a infusão do casco sem núcleo, formado somente por camadas intercaladas de mantas e tecidos de fibra de vidro.

Figura 2. Processo de fabricação de um casco por método de infusão.



Fonte: Acervo do autor

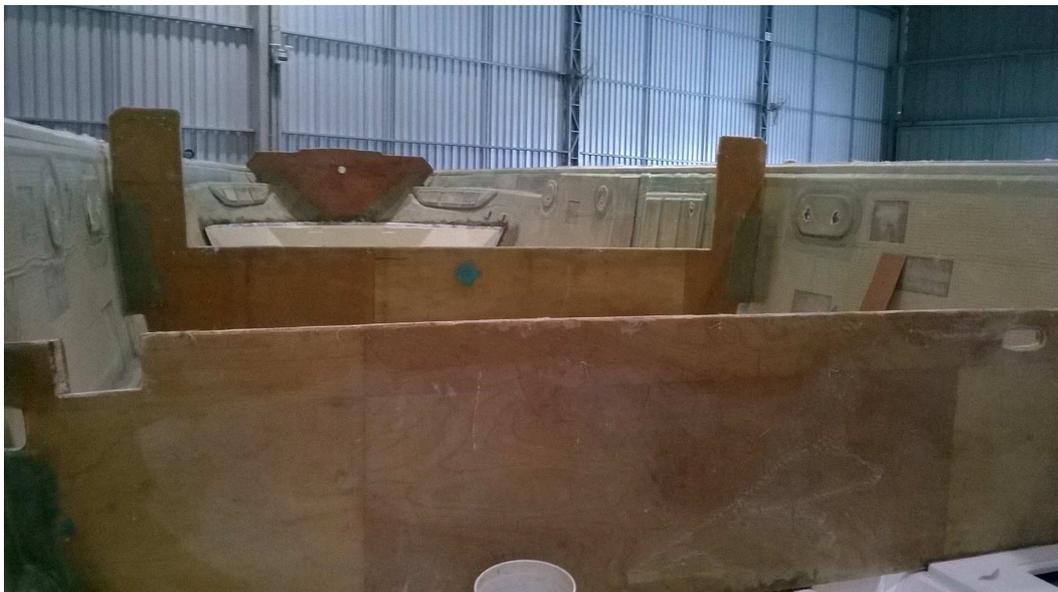
1.5 MONTAGEM ESTRUTURAL DE UMA EMBARCAÇÃO EM PRFV

Com a evolução dos materiais compósitos e principalmente do aumento das tecnologias no que diz respeito a processos produtivos envolvendo obtenção de peças em PRFV, é natural que se consiga uma resistência mecânica aceitável perante ao projeto de embarcações utilizando uma

quantidade de material menor do que se utilizava no passado. O que acarreta em um desafio para a construção que é o aumento da flexibilidade, logo a necessidade de se utilizar reforçadores estruturais (GERR, 2000).

É comum, e obrigatória, a utilização de longarinas longitudinais que fazem, por meio de camas estruturais conectadas ao casco, o papel mais importante na resistência mecânica de uma embarcação. Porém é necessária a utilização de anteparas transversais, como mostra a Figura 3, para assegurar a resistência mecânica e rigidez do casco.

Figura 3. Instalação de anteparas transversais em um casco em PRFV.



Fonte: Acervo do autor

1.6 PROCESSO DE MONTAGEM DA EMBARCAÇÃO

Uma linha de montagem é um conjunto de estações de trabalho normalmente interligadas e sequencialmente dispostas com finalidade de operar com o objetivo da obtenção de um produto acabado, afirmam Askin & Standridge (1993).

A linha de montagem de uma embarcação de recreio não difere deste conceito, as peças em fibra de vidro, que já passaram pelo processo de obtenção vão para o acabamento. Nesta fase, as peças obtidas em PRFV – após a colocação das anteparas a fim de garantir a qualidade estrutural – recebem o acabamento superficial focado na estética e reparo de possíveis imperfeições nos processos produtivos anteriores. Sequencialmente, a fibra, tapeçaria e marcenaria se juntam aos produtos eletrônicos e sistemas mecânicos, que são comprados de empresas especializadas. São montadas segundo orientação de manuais ou

treinamentos para que a embarcação atenda ao escopo pré-determinado no setor de planejamento produtivo.

A montagem do casco e convés de forma paralela na produção tem como elementos básicos a furação do casco para a passagem de mangueiras, drenos, entradas de ar, tomadas de água, entre outros, além da instalação de vidros, guarda corpos na parte externa. Por dentro do casco, a montagem em casco aberto (termo usual na indústria) tem como meta a instalação de elementos da mecânica como motor, eixo, propulsor, tanques e equipamentos de grande porte, além de quadros elétricos, móveis e paredes internas (quando houver), ilustrado na Figura 4.

Figura 4. Montagem em casco aberto



Fonte: Acervo do autor

Este é um método usual que visa o aumento da produtividade, uma vez que a instalação de equipamentos de grande dimensão é facilitada sem o convés. O mesmo pensamento é utilizado para a instalação de equipamentos no convés, uma vez que trabalhando com o convés separado do casco a montagem pode ocorrer de forma paralela.

Após esta etapa, o convés é unido ao casco por meio de sua suspensão e fixação, conforme mostra a Figura 5. O processo de montagem continua com o casco e convés unidos, onde são instalados equipamentos de menor porte, que não necessitam ser instalados com as peças separadas.

Figura 5. Fechamento e união do casco com o convés de uma embarcação de recreio.



Fonte: Acervo do autor

O processo produtivo usual, adotado por empresas do setor segue os preceitos mencionados por Peinado e Graeml (2007) que nas linhas de produção de empresas montadoras, como é o caso deste estaleiro, utilizam um arranjo por produtos, onde suas principais vantagens são: grande capacidade de produtividade uma vez que seu custo variável seja pequeno por unidade produzida, representando um grande grau de alavancagem operacional, mesmo com custo fixo mais alto; outra vantagem deste tipo de arranjo produtivo é a facilidade no controle de produtividade uma vez que a velocidade da produção é facilmente controlada e alterada de acordo com a necessidade, seja por problemas como falta de material ou opção por melhora no detalhamento do procedimento de inspeção de qualidade.

1.7 INSPEÇÃO DE QUALIDADE

Um conceito sugerido por Paladini et. al (2012) trata inspeção de qualidade como sendo um conjunto de dispositivos que busca identificar se uma peça, amostra ou lote atende determinada especificação. Deste modo o resultado da inspeção determina o nível da qualidade da peça em comparação com algum modelo ou padrão determinado.

Por se tratar de um produto de alto valor agregado há a necessidade de um procedimento de inspeção de qualidade de forma incisiva no processo. A análise da qualidade do produto ocorre de tal forma que os inspetores da empresa acompanham todo o processo produtivo, da obtenção das primeiras peças até a inspeção final, com o produto pronto.

Quanto maior o grau de exigência da empresa e do cliente, mais rigorosa deve ser a inspeção de qualidade. A gestão da qualidade no estaleiro não difere do conceito abordado por Malik (1996) que diz respeito ao foco no atendimento ao cliente, buscando melhoria contínua dos produtos e serviços oferecidos por meio do constante aprimoramento dos processos de manufatura e o desenvolvimento constante de todos os indivíduos envolvidos no processo.

A gestão da qualidade realizada pela empresa é pautada na certificação da ISO 9001, que traz uma abordagem para conceito de inspeção de qualidade como sendo a avaliação da conformidade para a observação e julgamento, sendo acompanhada – caso necessário – de medições, ensaios ou comparação com padrões, o que é mais comum no caso abordado.

A ISO 9001 ressalta ainda a importância do emprego do conceito de gestão da qualidade em uma organização. Com um sistema sólido de gestão da qualidade, há possibilidade de fornecer estrutura para melhoria contínua, uma política muito evidente no estaleiro estudado. A norma afirma ainda que a gestão da qualidade fornece confiança tanto para a organização quanto para seus clientes, conseguindo entregar produtos com qualidade, atendendo assim as demandas do mercado de forma consistente.

1.8 MELHORIA CONTÍNUA NO PROCESSO DE CONSTRUÇÃO DE EMBARCAÇÕES DE RECREIO

Para a indústria ampliar ou sustentar a capacidade de competir em médio e longo prazo, há uma dependência da capacidade de seus processos produtivos. Via de regra, o desenvolvimento de um produto utilizando a infraestrutura adequada permite a produção de um bem ou serviço de qualidade, que satisfaça as condições exigidas para seu uso prático e, por consequência, apresenta um retorno financeiro para a organização. (SCHUMPETER, 2002).

Neste contexto competitivo encontra-se a indústria náutica brasileira, em crescente expansão, principalmente no ramo de barcos de lazer. A Acobar (2009) afirma que o potencial náutico brasileiro é um dos maiores do mundo, tendo em vista as condições naturais e geográficas que o país oferece. Desta maneira, a produção artesanal não tem mais espaço, a qual, para Dennis (2008), é caracterizada como sendo uma força de trabalho composta por negociantes semi-independentes com habilidades em desenho, máquinas e montagem alcançam volumes produtivos de baixa escala com alto custo, técnicas

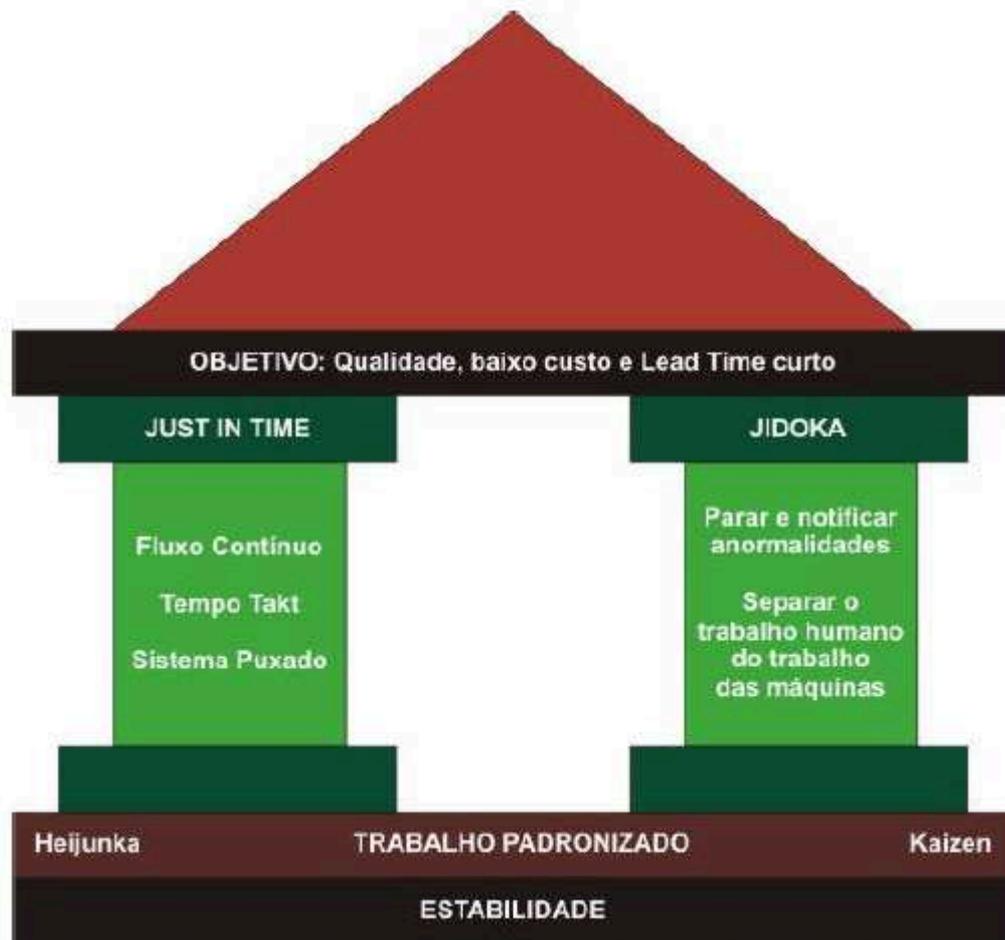
adotadas por organizações descentralizadas, onde ações de melhorias não são amplamente compartilhadas.

É de preocupação de toda a indústria a questão de aprimoramento de processos produtivos visando aumento de lucros e maiores proporções de mercado. O sistema Toyota vem evoluindo e reagindo às constantes mudanças e circunstâncias do mercado, como novos setores de abrangência, que é o caso da indústria náutica. A preocupação com o aprimoramento e melhoria contínua dos processos produtivos faz com que este setor – que até então não utilizava práticas de manufatura enxuta – procurassem implementar elementos desta filosofia de trabalho.

Dennis (2008) descreve um sistema enxuto de produção com cada parte com um objetivo definível e interdependente, isto é, há uma interação com demais componentes do produto final. O objetivo deste tópico não é discorrer diretamente sobre os elementos que formam a filosofia de manufatura enxuta, mas sim apresentar elementos isolados desta filosofia que vêm sendo pensados e utilizados pela indústria de embarcações de recreio.

O autor ainda defini, de forma simplificada, alguns elementos presentes na manufatura enxuta, apresentados na Figura 6.

Figura 6. Base do sistema Toyota de produção (adaptado).



Fonte: Dennis (2008).

As preocupações com estabilidade na programação da produção, fazendo o “lead-time” total se adequar ao planejamento estratégico do estaleiro, auxiliam na coordenação das vendas, programação e necessidade dos clientes (DENNIS, 2008), uma vez que a produção usualmente não é empurrada e um produto de alto valor agregado não deva ficar sem cliente.

A adoção do “just-in-time”, presente em um dos pilares da filosofia, traz a preocupação de eliminar os desperdícios, criando um fluxo produtivo otimizado, vindo ao encontro da garantia de qualidade que o processo deve ter, visando sempre o baixo custo produtivo (DENNIS, 2008).

Outro conceito importante relacionado à filosofia de manufatura enxuta é o *Kaizen* – Boa Mudança (WELLINGTON,1998). É uma importante filosofia que, mesmo em sistemas produtivos de

embarcações de recreio tem ganhado muita notoriedade, devido ao aumento de competitividade e até mesmo pela busca pela melhoria contínua.

Para Inmai (1994), *Kaizen* é um fio que une a filosofia, os sistemas e ferramentas para a resolução de problemas, sendo seu fundamento principal a busca pelo melhoramento e a tentativa de fazer sempre melhor.

A indústria de um modo geral tem adotado, mesmo que de forma parcial, a filosofia de manufatura enxuta, e o *Kaizen* é um elemento presente nos processos produtivos de embarcações de recreio, em um mercado competitivo. Uma vez que o problema seja encontrado, deve ser solucionado na sua raiz, na causa do problema. A melhoria ocorre e atinge novos níveis à medida que os problemas sejam resolvidos.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Considerando que o presente trabalho tem como um dos objetivos a identificação de um ou mais modos de falha através de itens críticos oriundos da inspeção final da qualidade na produção e uma posterior tomada de ações, faz-se necessária uma análise de modos de falha e efeitos e posteriormente um método específico para abordar o tema do defeito que deverá ser estudado a fundo, visando a solução do problema na cadeia produtiva.

3.1 ANÁLISE DOS MODOS DE FALHA E EFEITOS (FMEA)

3.1.1 Definição

Segundo Dias et. al (2011) a Análise dos Modos de Falha e Efeitos (FMEA) trata-se de uma técnica utilizada na análise de falhas com o objetivo de desenvolver o conhecimento sobre as ocorrências para orientar ações que visam a eliminação das causas dos modos de falhas. Dias et. al (2011) destacam ainda que o desenvolvimento da FMEA é um processo iterativo e necessita de uma realimentação, bem como revisões, permitindo assim sistematizar o conhecimento gerado durante a análise, classificando e ordenando o conhecimento dos especialistas consultados.

Para Toledo e Amaral (2006) a técnica FMEA, apesar de ter sido desenvolvida com o enfoque em novos produtos e processos, tem grande utilidade e passou a ser aplicada de maneiras variadas e em diferentes ramos da indústria. Utilizar FMEA para diminuir as falhas de produtos e processos já existentes, para os autores, tem validade e é largamente aplicável à indústria, o que justifica a execução do presente trabalho, aplicando ao produto criado pelo estaleiro. A utilização da FMEA faz sentido quando se trata de um problema ou defeito recorrente nos processos construtivos, não é de interesse de uma FMEA buscar a causa raiz de problemas esporádicos.

As empresas enfrentam uma concorrência em nível mundial sem precedentes e os três principais desafios a serem enfrentados quando se busca qualidade e competitividade são: a quase obrigatoriedade de produzir com menor custo, *lead time* menor do que os concorrentes e cativar os clientes acerca da confiabilidade da empresa, tanto em seus produtos quanto em seus processos (CARLSON, 2012). Estes desafios vêm ao encontro da principal filosofia do estaleiro estudado, uma vez que a caracterização é de produção em série, a busca contínua pela entrega nos tempos acordados em contratos e principalmente a busca incessante pela qualidade de seus produtos, o que torna a empresa conhecida mundialmente.

3.1.2 Abordagens de FMEA

Para Palady (1997), modo de falha é a forma com que o defeito se apresenta, isto é, um estado anormal de trabalho, a maneira que o componente em estudo deixa de executar a sua função ou desobedece às especificações. Trata-se de uma propriedade inerente à cada item, visto que este tem particularidades que os diferem, sendo sua função, ambiente de trabalho, material de fabricação e até mesmo qualidade.

Existem duas abordagens básicas para se conduzir uma FMEA, são a funcional e a estrutural. Na FMEA funcional, os modos de falha estão focados nas funções do sistema técnico, tornando a abordagem mais abrangente. Em contrapartida, na abordagem de uma FMEA estrutural, os modos de falha estão associados a aspectos mais específicos dos elementos ou componentes, como, por exemplo, a resistência mecânica, medida de dureza, tratamento superficial do componente. Desta forma, quanto mais profunda se der a análise, a abordagem estrutural se mostra mais adequada. Porém, se o objetivo é a análise sistêmica, a abordagem funcional se apresenta de forma mais pertinente. (DIAS et. al, 2011).

Palady (1997) contribui atribuindo também uma característica genérica à abordagem funcional, onde não se fazem necessárias as especificações de engenharia. Oposto a isso, o autor afirma que em uma abordagem estrutural é muito importante que se tenha um conhecimento técnico detalhado do produto ou processo estudado – nem sempre facilmente disponíveis, uma vez que a intenção é definir como um item pode falhar. A Quadro 1 apresenta um comparativo direto entre as duas abordagens.

Quadro 1. Modo de falha sob a abordagem funcional e estrutural.

Componente	Abordagem	Função	Modo de Falha
Eixo	Funcional	Transmitir movimento, torque	Não transmite movimento, não transmite torque
Eixo	Estrutural	Transmitir movimento, torque	Ruptura, empenamento, desgaste.

Fonte. Palady adaptado (1997)

É perceptível que o modo de falha em questão de um produto ou sistema é subjetivo e vai depender da ótica e detalhamento que se deseja abordar a FMEA. Uma abordagem estrutural trará um

detalhamento técnico maior do que uma abordagem funcional, porém o grau de dificuldade na obtenção dos dados técnicos de funcionamento tende a ser maior.

3.1.3 Aplicação de FMEA: Metodologia

De forma abrangente, FMEA objetiva evitar a ocorrência de falhas em processos ou produtos, melhorando a qualidade destes. Toledo e Amaral (2006) abrangem a aplicação da FMEA para os seguintes casos:

- Diminuição da probabilidade de ocorrência de falhas em novos projetos (produtos) ou processos;
- Diminuição da probabilidade de falhas potenciais em produtos ou processos já em operação;
- Aumento da confiabilidade de produtos ou processos que já estejam em operação por meio da análise de falhas que já tenham ocorrido;
- Diminuição dos riscos de erros, aumento da qualidade em procedimentos administrativos.

A metodologia de aplicação da ferramenta FMEA é inerente ao tipo de análise (item 3.1.4). É um estudo que consiste na formação de um grupo de pessoas que identificarão – para o processo ou produto em questão – suas funções, seus modos de falhas, os efeitos e as possíveis causas destas falhas. Em seguida são avaliados os riscos de cada causa de falha através de índices e, com este levantamento, são tomadas ações necessárias para diminuir estes riscos, aumentando a confiabilidade do processo ou do produto (TOLEDO; AMARAL, 2006).

Para Palady (1997), por se tratar de um registro, a FMEA pode evitar que problemas passados possam voltar a aparecer novamente, isto é, tratar a raiz do problema, fazendo com que as chances dele voltar à tona sejam reduzidas, uma das veias da filosofia de melhoria contínua. Trata-se de um documento interativo, de tal sorte que possa ser realimentado com novos dados e resultados de ações tomadas no passado.

O conhecimento dos modos de falha dos itens, seja qual for a fase do ciclo de vida do produto, ocorre de tal maneira que permite auxiliar em aspectos referentes a manutenibilidade e confiabilidade tanto do produto quanto do processo, ressalta ainda, o autor.

Para que se inicie uma FMEA sobre um produto ou processo é necessário que algumas informações de entrada sejam dadas por diferentes fontes dentro da empresa, são elas (BORROR, 2008):

- Diagrama de fluxo de processo;
- Especificações de projeto;
- Requisitos dos clientes;
- Informações técnicas obtidas em testes;
- FMEAs prévios (se for o caso);
- Histogramas;
- Outros dados.

Estes dados de entrada servem para alimentar a FMEA, portanto, antes de iniciar a análise é necessário que alguns termos sejam definidos. De acordo com Palady (1997):

- **Identificação do sistema:** o produto e seus componentes – bem como o processo, dependendo da abordagem – devem ser identificados em um nível de detalhamento coerente com o objetivo da FMEA;
- **Participantes:** nome das pessoas de diferentes áreas que participarão da FMEA e comporão as reuniões;
- **Função:** é descrita, pelo engenheiro, como a intenção, meta, propósito ou objetivo do componente ou processo – de forma concisa, utilizando termos específicos para tal;
- **Modo de falha potencial:** devem ser apontados os modos de falhas de um determinado componente ou processo, respeitando-se a condição de que um mesmo produto ou processo pode ter diversos modos de falha potenciais;
- **Efeitos potenciais de falhas:** as consequências dos modos de falhas listados acima. Devem ser identificados, avaliados e registrados para cada modo de falha. As consequências podem ser para um sistema, produto, cliente ou normas. O usuário tanto pode ser um cliente interno quanto externo;
- **Severidade do defeito:** é um índice que indica o quão sério é o efeito do modo de falha potencial. É sempre aplicada sobre o efeito do modo de falha. Há uma correlação direta do efeito e da severidade, pois quanto mais grave e crítico é o efeito, maior o índice de severidade;
- **Causas potenciais de falha:** é a causa geradora do respectivo modo de falha, pode estar no próprio componente, em um sistema vizinho ou até mesmo no ambiente em questão;
- **Ocorrência:** índice que é proporcional ao número de falhas estimado, podendo desse cumulativo, que pode ocorrer no sistema. A ocorrência pode ser diminuída na

alteração de especificações técnicas, de engenharia ou ainda, nos requerimentos do processo com a intenção de prevenir as causas e reduzir a frequência de aparecimento;

- **Controles atuais:** trata-se de um método, um teste, análise de engenharia ou alguma revisão de projeto que já estejam implementados. Podem ser simples como uma discussão de novas ideias para o processo ou produto ou ainda, mais complexo como uma análise computacional avançada;
- **Detecção:** índice que proporcional à dificuldade de que um sistema de controle detecte a falha antes que atinja o cliente, seja ele interno ou externo. O índice de detecção pode ser reduzindo melhorando as técnicas de avaliação de projeto ou processo;
- **Número de prioridade de risco (NPR):** é o resultado do produto dos índices de ocorrência, severidade e detecção. É utilizado para ordenar e classificar as deficiências do sistema;
- **Ações recomendadas:** tem como objetivo principal a diminuição do número de prioridade de risco, ou seja, diminuir os índices de ocorrência, severidade e detecção. Portanto, o autor salienta que, nenhuma FMEA deve ser efetuada sem uma ação recomendada, seja um estudo específico ou uma ação posterior;
- **Responsabilidade e prazos:** são eleitos responsáveis para a tomada de ações e ainda são definidos prazos para entrega destas ações;
- **Ações tomadas:** é imperativo à ferramenta FMEA que alguém siga as orientações determinadas para garantir que elas foram direcionadas, e é necessário ser feita uma atualização destas ações e uma descrição da ação tomada;
- **Número de prioridade de risco revisado:** são novos índices de ocorrência, severidade e detecção, medidos após a tomada de ações sugeridas mediante a primeira análise da FMEA.

O principal dado de saída de uma FMEA é a ação recomendada, que norteará a empresa na tomada de ações necessárias, fazendo com que a assertividade da ação seja aumentada. Vale destacar que os modos de falha de uma FMEA de sistema geram todas as informações essenciais tanto para a FMEA de projeto quanto de processo. (PALADY, 1997).

A Figura 7 apresenta uma planilha de uma FMEA, apresentado por Toledo e Amaral (2006).

Figura 7. Modelo de um FMEA padrão

Cod_pec : Nome da Peça: Data: Folha No. _____ de _____											<input type="checkbox"/> FMEA de Processo <input type="checkbox"/> FMEA de Produto					
Descrição do Produto/ Processo	Função(ões) do produto	Tipo de Falha Potencial	Efeito de Falha Potencial	Causa da Falha em Potencial	Controles Atuais	Índices				Ações de Melhoria						
						S	O	D	R	Ações Recomendadas	Responsável/ Prazo	Medidas Implantadas	Índices Atuais			
													S	O	D	R
(0)	(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)	(7)	(8)	(9)	(10)	(11)	(12)	(13)	(14)	(15)	(16)
Produto/ Processo objeto de análise	Função e/ou características que devem ser atendidas pelo produto. Ex.: Suportar o conjunto do eixo.	Forma e modo como as características ou funções podem deixar de ser atendidas. Ex.: Desbalanceado, Rugoso, Trincado...	Efeitos (consequências) do tipo de falha, sobre o sistema e sobre o cliente. Ex.: vazamento de ar, ruído, desgaste prematuro, etc...	Causas e condições que podem ser responsáveis pelo tipo de falha em potencial. Ex.: Erro de montagem, falta de lubrificação, etc...	Medidas Preventivas e de detecção que já tenham sido tomadas e/ou são regularmente utilizadas nos produtos/processos das da empresa.	S E V E R I D A D E	O C O R R Ê N C I A	D E T E C Ç Ã O	R I S C O S	Ações recomendadas para a diminuição dos riscos	Responsável e Prazo					
S = Severidade O = Ocorrência D = Detecção R = Riscos																

Fonte: Toledo e Amaral (2006).

3.1.4 Tipos de FMEA

Apesar do uso de ferramentas semelhantes à FMEA em processos de manufatura há muito tempo, a primeira aplicação formal da análise de modelo de causa e seus efeitos se deu na década de 1960 na indústria aeroespacial. Já em 1980 foi implementado na indústria automotiva e posteriormente para seus fornecedores. Para Stamatis (1995), a abrangência da técnica é notória e, com o aumento das possibilidades de aplicação, pode ser dividida em quatro tipos:

- **FMEA de sistemas:** utilizada para a análise de sistemas ou ainda, subsistemas na fase de projeto de um produto. Tem o foco nos modos de falhas potenciais entre funções causadas por deficiências do próprio sistema. Uma atenção para a interação entre sistemas diferentes e seus comportamentos é dado neste tipo de FMEA;

- **FMEA de projeto:** utilizada para analisar projetos na fase que antecede o lançamento de um determinado produto. Uma FMEA de projeto foca nos modos de falhas potenciais causados por falhas no projeto, materiais e outros;
- **FMEA de processo:** utilizada para analisar processos de manufatura e montagem, estudando seus modos de falhas potenciais. É de interesse da concepção de uma FMEA de processo qualquer tipo de operação de manufatura, fluxo de informações, equipamentos utilizados, procedimentos de montagem, etc.;
- **FMEA de serviço:** usada na análise anterior aos serviços atingirem o consumidor. Foca na análise de falhas causadas por deficiências do sistema ou processo.

As análises FMEA podem demandar um conhecimento de dados históricos e informações importantes como a forma de ocorrência da falha, a forma que elementos similares já falharam e ainda, se ocorreu mudança no modo de falha após a aplicação de ações de melhoria nos processos. Isto é fundamental para garantir a qualidade das análises em um processo de melhoria contínua (TOLEDO, AMARAL; 2006).

3.2 AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA PROPOSTA

Com objetivo de avaliar a metodologia proposta e quantificar os pontos fortes e pontos de possíveis melhorias, o painel especialista faz a mensuração de critérios pré-determinados a serem avaliados através de perguntas focadas (ROMANO, 2003).

Portanto, os especialistas avaliadores, isto é, os entrevistados que respondem perguntas avaliativas sobre a metodologia proposta são divididos em profissionais atuantes na área e especialistas pesquisadores que dão notas para as perguntas, seguindo um critério adotado pelo criador da pesquisa.

Romano (2003) afirma ainda que, com a média das notas dadas às perguntas, a avaliação dos critérios tem um ganho de consistência e serve de referência para pontos de melhoria da metodologia, uma vez que as notas são dadas de forma separada para cada critério, o que facilita o entendimento dos pontos fortes e fracos do método proposto.

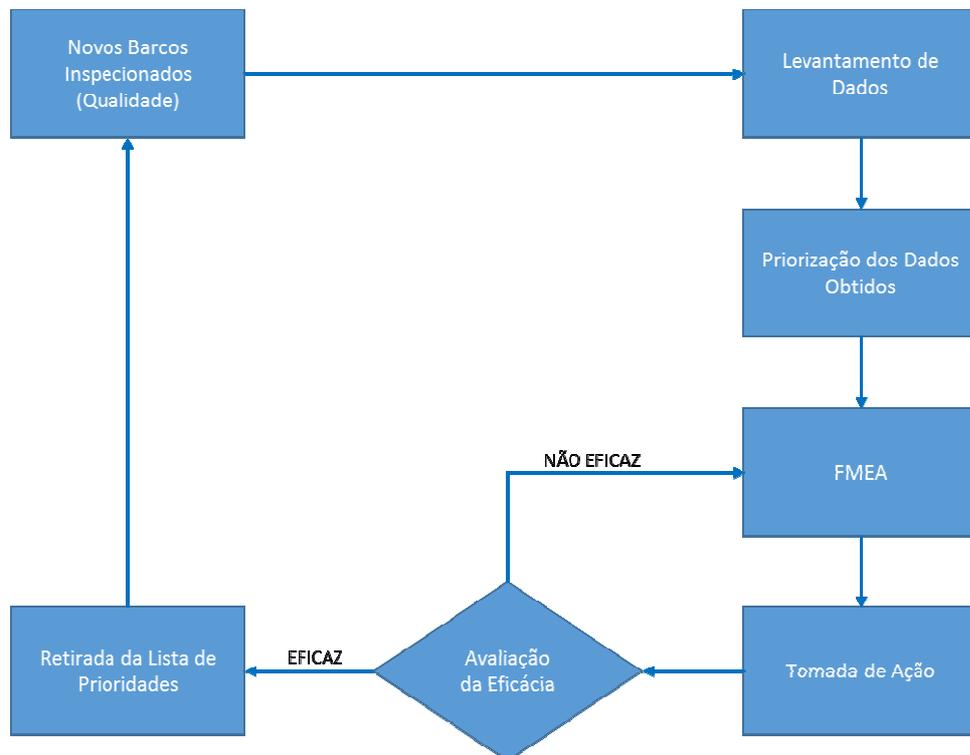
4. METODOLOGIA PARA A MELHORIA CONTÍNUA DA PRODUÇÃO DE EMBARCAÇÕES DE RECREIO

Neste capítulo será apresentada uma metodologia que discriminará de maneira sistemática um procedimento para contribuir com o melhoramento contínuo na produção de embarcações de recreio utilizando observações do setor de qualidade de uma empresa.

Bruyne et. al. (1997) define metodologia como sendo uma lógica de procedimentos científicos, não podendo ser reduzida a uma tecnologia de medidas dos fatos científicos. Uma metodologia deve abordar as ciências sobre o ângulo do produto delas, como resultado em forma de conhecimento científico, mas também deve observar sob a ótica do processo, como origem do próprio conhecimento.

A metodologia do presente trabalho pode ser dividida em algumas etapas, mostradas na Figura 8.

Figura 8. Fluxograma da metodologia sugerida



Fonte: Autoria própria

A metodologia funciona de maneira cíclica de tal sorte que a cada iteração revisa-se as prioridades dos problemas a serem estudados. Deste modo, a sugestão é que a melhoria contínua na produção seja sustentada de forma a realimentar a Quadro de análise da prioridade dos defeitos.

4.1.1 Levantamento de dados

O levantamento de dados é realizado na empresa por uma equipe especializada em observações e controle de qualidade. A detecção dos defeitos se dá de maneira visual e eventualmente algum teste, de funcionamento ou não, de um determinado sistema, sem grande aprofundamento na engenharia por trás da tecnologia – esta será uma preocupação na execução da FMEA, em uma análise posterior.

Os dados coletados serão compilados em uma planilha, mostrada na Quadro 4, em que as informações de interesse são:

- **Número do defeito:** é o índice do defeito, serve para saber o número total de defeitos e a ordem de obtenção dos dados;
- **Objeto defeituoso e seu respectivo local dentro da embarcação:** é a discriminação do nome do objeto defeituoso bem como sua localização, por exemplo: sala de máquinas, casa dos lemes, ponte de comando, salão principal, etc.;
- **Posicionamento na embarcação:** localização do posicionamento geográfico na embarcação. Pode ser transversal (boreste, centro ou bombordo) ou longitudinal (popa, centro ou proa);
- **Tipo do Defeito:** é um campo fechado para descrever algum tipo de defeito, portanto o inspetor de qualidade ou analista que fará a compilação da Quadro deve determinar qual o nome do defeito encontrado.

A Quadro 2 apresenta os principais tipos de defeitos encontrados na montagem de uma embarcação¹.

¹ Principais tipos de defeitos sugeridos pelo estaleiro estudado.

Quadro 2. Principais tipos de defeitos na montagem de uma embarcação de recreio

Principais tipos de defeitos
Desalinhados (entre peças)
Fixações (peça frouxa, com folga, vibrando ao tocar ela)
Tarefas inacabadas
Riscos
Não conformidade na produção de peças
Faltantes pela Produção (peça no estoque, mas não montada)
Danos (batidas e amassados)
Silicone inacabado ou mal feito
Conexões Erradas
Acabamento Incompleto ou mal feito & fibra fosca
Sujeira (gel, sika, pó, pó de madeira, manchas, fitas)
Furos errados ou Furos não tapados
Não conformidade de fornecedores nacionais
Não conformidade na produção de fibra (ex.: "casca de laranja")
Interferência
Trincas
Infiltrações
Vazamentos
Oxidação
Pinturas
aterial avulso faltante na embarcação
Montagem defeituosa (peça errada, posição errada...)
Parafusos danificados (tortos, afundados, ressaltados)

Fonte: Autoria própria

É importante deixar claro que deve-se manter uma constância quanto aos nomes escolhidos para caracterizar os defeitos encontrados, podendo agrupar os defeitos por estes nomes, posteriormente.

Constam ainda na planilha outros seis campos, a saber:

- **Anotações sobre o defeito:** campo que tem como objetivo uma documentação mais detalhada sobre o defeito encontrado, podendo servir para um controle posterior e auxiliando também na execução da FMEA;
- **Responsável pelo sistema defeituoso:** setor responsável pelo sistema com defeito.;

- **Responsável pela solução:** setor responsável por solucionar o defeito com um retrabalho. É importante saber quem foi o responsável por uma solução anterior para que possa ser aberta uma eventual discussão sobre soluções futuras;
- **Gravidade e Pontuação:** é a mensuração do impacto do defeito sob a ótica da empresa estudada. No presente trabalho será utilizada a Quadro 3 para a pontuação, sua gravidade e seus critérios. Este será o principal índice de priorização do defeito a ser estudado com uma FMEA. Uma vez que a priorização da FMEA leva em consideração gravidade, ocorrência e detecção, a gravidade fará o papel do índice de severidade.
- **Status:** controle de ações de retrabalho já tomadas. É classificado em três tópicos:
 - **OK:** Itens resolvidos após algum tipo de retrabalho;
 - **PARA RESOLVER:** Itens de menor gravidade (segundo o critério de atribuição de gravidade), que são de conhecimento da empresa, porém serão resolvidos em um momento futuro;
 - **TRANSGREDIDO:** Item que a empresa não teve condição de resolver no passado.
- **Modelo e Matrícula:** discriminação do modelo e a matrícula interna da empresa, do barco inspecionado. Tem como finalidade principal o rastreamento do modelo em que ocorreu determinado defeito.

Fonte: Autoria própria

4.1.2 Priorização dos dados obtidos

Com os dados organizados e compilados no Dicionário dos Defeitos, a estratégia adotada para a priorização dos itens defeituosos mais impactantes para a empresa é a ordenação por gravidade, ou seja, os itens que tiveram seu campo de gravidade e pontuação preenchidos como gravíssimos (30 pontos) serão os prioritários para um estudo posterior utilizando a FMEA. A gravidade, neste caso, compre o mesmo quesito do índice de severidade. Para a empresa estudada é o índice mais importante, seguido do número de ocorrências, para a priorização dos defeitos da produção.

O critério de desempate para a criação do *ranking* dos itens mais críticos se dá pelo número de ocorrências de cada defeito. A pontuação referente ao número de vezes em que o defeito ocorreu é atribuída em um novo campo, na Quadro *Ranking* dos Defeitos, Quadro 5.

Quadro 5. Ranking dos defeitos mais impactantes.

RANKING DOS DEFEITOS MAIS IMPACTANTES											
POSIÇÃO	OBJETO / LOCAL	LADO	POPA-PROA	DEFEITO	ANOTAÇÕES	RESPONSÁVEL	MATRÍCULA	GRAVIDADE	PONTUAÇÃO	OCORRÊNCIA	PONTUAÇÃO X OCORRÊNCIA

Fonte: Autoria própria

O *Ranking* dos Defeitos mais impactantes é uma continuação do dicionário dos defeitos, porém compilada de maneira mais sucinta e direta. A coluna “posição” é dependente da maior pontuação da coluna “pontuação de gravidade x ocorrência”. Este ranking tem como objetivo principal apresentar para a empresa de maneira clara uma listagem com os itens mais impactantes, auxiliando diretamente na escolha do item a ser estudado posteriormente.

4.1.3 FMEA

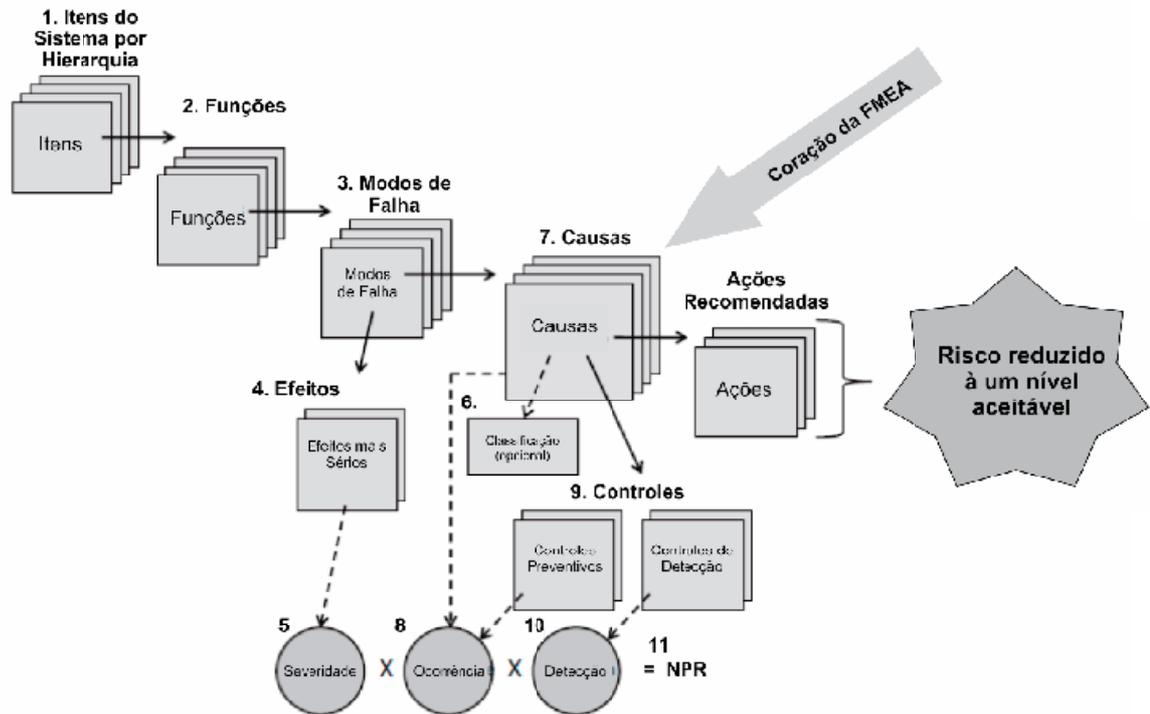
Conhecidos os interesses da empresa, auxiliados pela etapa inicial da metodologia proposta, até a fase de priorização dos resultados, é chegada a hora de aplicar a Análise de Modo e Efeitos de Falha. A FMEA seguirá justamente a metodologia apresentada no item 3.1.

Dias et. al (2011) salientam a interatividade da FMEA, que se destaca como um ponto positivo da técnica. Porém pode trazer alguma exaustividade à empresa que realimentará com frequência os dados obtidos na análise.

A análise permite sistematizar o conhecimento obtido, isto se explica pelo fato de ocorrer a classificação e ordenamento do conhecimento dos especialistas consultados. Ainda, a sugestão dada por Dias et. al (2011) de manter uma dinâmica a cada mudança de cenário técnico (produto, processo ou serviço) e dos especialistas é válida para a metodologia proposta, uma vez que a busca pela melhoria contínua passa pela concepção de novos processos de análise, estruturando um novo resultado e novas tomadas de ações.

A Figura 9 apresenta de maneira gráfica um fluxograma da lógica de uma FMEA, onde o detalhamento se estende desde o item estudado, passando pela descrição de suas funções, modos de falha, causa e por fim uma tomada de ação visando o melhoramento do item, fundamentados no índice produto da severidade, ocorrência e modo de detecção. Detecção que não tem um peso significativo na aplicação da metodologia proposta.

Figura 9. Lógica FMEA

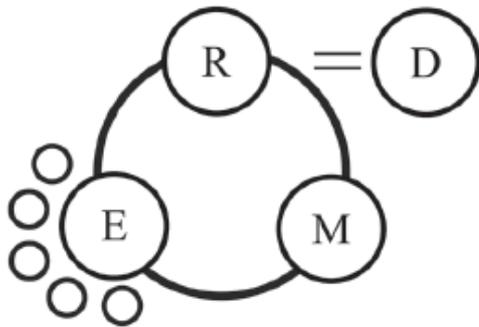


Fonte: Adaptado de Carlson (2012)

A constituição da equipe de trabalho deve conter um responsável pelo desenvolvimento do FMEA, um grupo de especialistas nos campos de conhecimento interessantes à análise, um moderador e o líder de projeto, que estipula a necessidade de se efetuar a FMEA. É muito importante que o grupo de especialistas tenha o conhecimento das definições utilizadas na FMEA, que pode ocorrer por algum tipo de capacitação. (DIAS et. al, 2011).

A Figura 10 apresenta um esquema básico da organização de uma equipe de trabalho.

Figura 10. Organização da equipe de trabalho para aplicação da FMEA.



D: Departamento
(inicializador) líder do projeto

R: Resposável pelo desenvolvimento
do FMEA

E: Grupo de especialistas
(Projetista, desenhista, operadores,
fabricante, engenheiro de teste etc)

M: Moderador especialista em FMEA

Fonte: Bertsche (2008) apud Dias et. al. (2011)

A definição, pelo grupo, dos índices de severidade (S), ocorrência (O) e detecção (D) para cada causa de falha, de acordo com critérios previamente definidos são mostrados nas Quadros 6, 7 e 8, respectivamente. (TOLEDO E AMARAL, 2006).

A escala para os índices de severidades sugerida é a mesma apresentada por Moura (2000), mostrada na Quadro 6.

Quadro 6. Critério de Severidade do Efeito.

Efeito	Critério: Severidade do Efeito	Índice de Severidade
Perigoso sem aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afecta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental sem aviso prévio	10
Perigoso com aviso prévio	Índice de severidade muito alto quando o modo de falha potencial afecta a segurança na operação do veículo e/ou envolve não conformidade com a legislação governamental com aviso prévio.	9
Muito alto	Veículo/item inoperável, com perda das funções primárias	8
Alto	Veículo/item operável, mas com nível de desempenho reduzido. Cliente insatisfeito	7
Moderado	Veículo/item operável, mas com item (s) de Conforto/conveniência inoperável (is). Cliente sente desconforto	6
Baixo	Veículo/item operável, mas com item (s) de Conforto/Conveniência operável (is) com nível de desempenho reduzido. O cliente sente alguma insatisfação.	5
Muito Baixo	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado pela maioria dos clientes.	4
Menor	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado pela média dos clientes.	3
Muito menor	Itens: Forma e Acabamento/Chiado e Barulho não conforme. Defeito notado por clientes acurados.	2
Nenhum	Sem efeito	1

Fonte: MOURA (2000)

A escala para o índice de ocorrência sugerida é apresentada na Quadro 7.

Quadro 7. Índice de ocorrência de Causa DFMEA

Probabilidade de Falha	Crítérios: Ocorrência de Causa - DFMEA	Crítérios: Ocorrência de Causa - incidentes por itens	Classificação
Muito Alta	Nova tecnologia/novo projeto, sem histórico	≥ 100 por mil ≥ 1 em 10	10
Alta	Falha é inevitável, com novo projeto/nova aplicação, ou alteração no ciclo de trabalho/ condições operacionais	50 por mil 1 em 20	9
	Falha é provável, com novo projeto/nova aplicação, ou alteração no ciclo de trabalho/ condições operacionais	20 por mil 1 em 50	8
	Falha é incerta, com novo projeto/nova aplicação, ou alteração no ciclo de trabalho/ condições operacionais	10 por mil 1 em 100	7
	Falhas frequentes associadas a projetos similares, ou em simulação e testes de projeto	2 por mil 1 em 500	6
Moderada	Falhas ocasionais, associadas a projeto similar, ou em simulação e testes de projeto.	0,5 por mil 1 em 2.000	5
	Falhas isoladas, associadas a projeto similar, ou em simulação e testes de projeto.	0,1 por mil 1 em 10.000	4
Baixa	Somente falhas isoladas, associadas a projeto praticamente idêntico, ou em simulações e testes de projeto	0,01 por mil 1 em 100.000	3
	Falhas não observadas, associadas a projeto praticamente idêntico, ou em simulações e testes de projeto	$\leq 0,001$ por mil 1 em 1.000.000	2
Muito Baixa	A falha é eliminada por controle preventivo	A falha é eliminada por controle preventivo	1

Fonte: AIAG (2011)

Por conseguinte, a escala para o índice de detecção é apresentada na Quadro 8.

Quadro 8. Índice de Detecção sugerido por DFMEA.

Oportunidade para Detecção	Critério: Probabilidade de Detecção pelos Controlos do Processo	Rank	Probabilidade de Detecção
Oportunidade de não detecção	Não existe controle de processo corrente; Não pode detectar ou não foi analisado.	10	Quase Impossível
Provavelmente não irão detectar em nenhuma estação	Modo de Falha e/ou Erros (Causas) não são facilmente detectadas (ex.: auditorias aleatórias).	9	Muito Remota
Detecção de Problemas Depois do Processamento	Detecção do Modo de Falha após o processamento por um operador através de meios visuais/táteis/auditivos.	8	Remota
Detecção de Problemas na Fonte	Detecção do Modo de Falha na estação por um operador através de meios visuais/táteis/auditivos ou através do uso de um dispositivo de atributo (passa não passa, torque manual, torquímetro de estalo, etc.) após processamento.	7	Muito Baixa
Detecção de Problemas Depois do Processamento	Detecção do Modo de Falha após processamento pelo operador através do uso de dispositivos por variável ou na estação pelo operador através do uso de um dispositivo de atributo (passa não passa, torque manual, torquímetro de estalo, etc.).	6	Baixa
Detecção de Problemas na Fonte	Detecção do Modo de Falha ou Erro (Causa) na estação pelo operador através do uso de dispositivo por variável ou por controlos automáticos na estação que irão detectar peças discrepantes e notificar o operador (luzes, alarme, etc.). Dispositivos utilizados no set up e primeiras peças verificadas (para causas de set up apenas).	5	Moderada
Detecção de Problemas Após Processamento	Detecção do Modo de Falha após o processamento, por um controle automático que irá detectar peças discrepantes e bloquear peças para prevenir o processamento futuro.	4	Moderadamente Alta
Detecção de Problemas na Fonte	Detecção do Modo de Falha na estação por controlos automáticos que irão detectar peças discrepantes e bloquear peças na estação para prevenir o processamento futuro.	3	Alta
Detecção de Erros e/ou Prevenção de Problemas	Detecção de erros (Causas) na estação através de controlos automáticos que irão detectar o erro e prevenir peças discrepantes que foram feitas.	2	Muito Alta
Detecção não aplicada, Prevenção de Erros	Prevenção de Erros (causas) é um resultado de um projeto do dispositivo, projeto de máquina ou projeto da peça. Peças discrepantes não podem ser feitas porque o item é a prova de erros através do projeto do processo/produto.	1	Quase Certa

Fonte: AIAG (2011)

Conhecendo as definições apresentadas, faz-se possível a execução da FMEA, que é a base para a análise dos defeitos na metodologia proposta – visando o melhoramento contínuo em embarcações de recreio.

4.1.4 Tomada de ação

Uma importante informação obtida na aplicação da FMEA é o direcionamento para a tomada de ação, sob outra ótica, qual o ponto do processo deve ser concentrado esforços para um melhoramento; onde deverão ser investidos recursos, tanto humanos quanto financeiros, para tornar a melhoria uma realidade, justificando a aplicação da FMEA.

Nesta fase proposta, pela presente metodologia, é necessário que uma tomada de ações seja discutida em conjunto, um avançamento do trabalho realizado pela equipe encarregada de tornar a FMEA possível.

É sugerido que, por meio de reuniões expositivas, apresentando ideias um plano de ação seja criado, particular ao caso estudado e que a aplicação seja efetuada seguindo o planejamento estipulado pela empresa.

Esta etapa se dá por concluída quando a ação for efetivamente aplicada – após o planejamento descrito acima e a prática de tal ação seja uma realidade tanto para o setor técnico da empresa quanto para a linha de produção propriamente dita.

4.1.5 Avaliação da eficácia

Tomando a analogia de um ciclo de melhoramento contínuo, é necessário que seja realizada uma avaliação comparativa posterior à aplicação da ação. Desta forma, faz-se possível uma leitura de forma direta da eficácia ou não da ação escolhida.

A maneira que a avaliação é aplicada varia de acordo com os interesses e objetivos da empresa, desta forma, pode ser feita de maneira mais subjetiva ou mais exata, comparando o índice NPR da FMEA, por exemplo.

Faz-se possível então, na última etapa da metodologia proposta, a permanência ou retirada do item na Quadro “*Ranking* dos Defeitos”. Caso o resultado da avaliação de eficácia da ação de melhoria seja positiva, o item que foi objeto de estudo pode ser retirado do plano de prioridades da empresa, dando lugar a um novo estudo, cumprindo o ciclo de melhoramento contínuo de itens da produção. Caso a ação tenha uma avaliação negativa, reforçando a vertente cíclica da metodologia proposta, faz-se então o retorno para um novo estudo e uma nova iteração da FMEA é realizada, sendo que o processo se inicia deste ponto, até que a ação de melhoria permita resultados satisfatórios à empresa.

5. APLICAÇÃO DA METODOLOGIA PARA A MELHORIA CONTÍNUA DA PRODUÇÃO DE EMBARCAÇÕES DE RECREIO

Para demonstrar o funcionamento da metodologia proposta no presente trabalho, utiliza-se dados hipotéticos de um suposto defeito encontrado na produção de uma empresa de construção de embarcações de recreio. Por uma questão de sigilo industrial, os dados utilizados na aplicação deste tópico são fictícios, porém, de defeitos possíveis de ocorrer em qualquer processo produtivo de embarcações desta categoria.

Supondo que os procedimentos de recolhimento dos dados oriundos das inspeções de qualidade tenham sido feitos, o dicionário dos defeitos apresentados no item 4.1.1 tenha sido completado e a priorização dos itens defeituosos seja apresentada na Quadro 9 como forma do *Ranking* dos Defeitos mais impactantes, mesmo que de forma fictícia, os itens apresentados são passíveis de ocorrência.

Destaca-se, ainda, que neste exemplo os índices de severidade, ocorrência e detecção não serão levantados, tampouco o índice NPR, uma vez que os dados são fictícios e a análise tem o objetivo de exemplificar a aplicação da metodologia proposta. Em uma aplicação realística o levantamento dos índices é necessário, pois desta forma se saberá qual o principal foco de atuação de ações corretivas ou de melhorias que poderão ser aplicadas em processos construtivos.

Quadro 9. Ranking fictício dos defeitos mais impactantes

RANKING DOS DEFEITOS MAIS IMPACTANTES FICTÍCIO: GRAVIDADE											
POSICÃO	OBJETO / LOCAL	LADO	POPA-PROA	DEFEITO	ANOTAÇÕES	RESPONSÁVEL	MATRÍCULA	GRAVIDADE	PONTUAÇÃO	OCORRÊNCIA	PONTUAÇÃO X OCORRÊNCIA
1	SALA DE MÁQUINAS	BORESTE BOMBORDO	POPA PROA	fixação	Tanque de combustível fixado de maneira errada	MECÂNICA & INSTALAÇÕES	X	GRAVÍSSIMO	30	2	60
2	MARINHEIRO / PORÃO LEME	BOMBORDO	-	fixação	Apresenta todos os pistões do leme soltos ou quase soltos	MECÂNICA & INSTALAÇÕES	X	GRAVÍSSIMO	30	1	30
2	FLY/SALÃO/PILOTO	-	-	funcionamento	Sensor de profundidade não funciona	ELETRICA	X	GRAVÍSSIMO	30	1	30
2	PRAÇA DE POPA / COMANDO PASSARELA	-	-	funcionamento	Está desconectando na bomba casa do leme	ELETRICA	X	GRAVÍSSIMO	30	1	30
2	PAINEL / BOMBA DE ÁGUAS CINZAS	-	-	funcionamento	Não está funcionando	ELETRICA	X	GRAVÍSSIMO	30	1	30
2	PLATAFORMA	-	-	vazamento	De óleo, quando desce	MONTAGEM	X	GRAVÍSSIMO	30	1	30

Fonte: Autoria própria

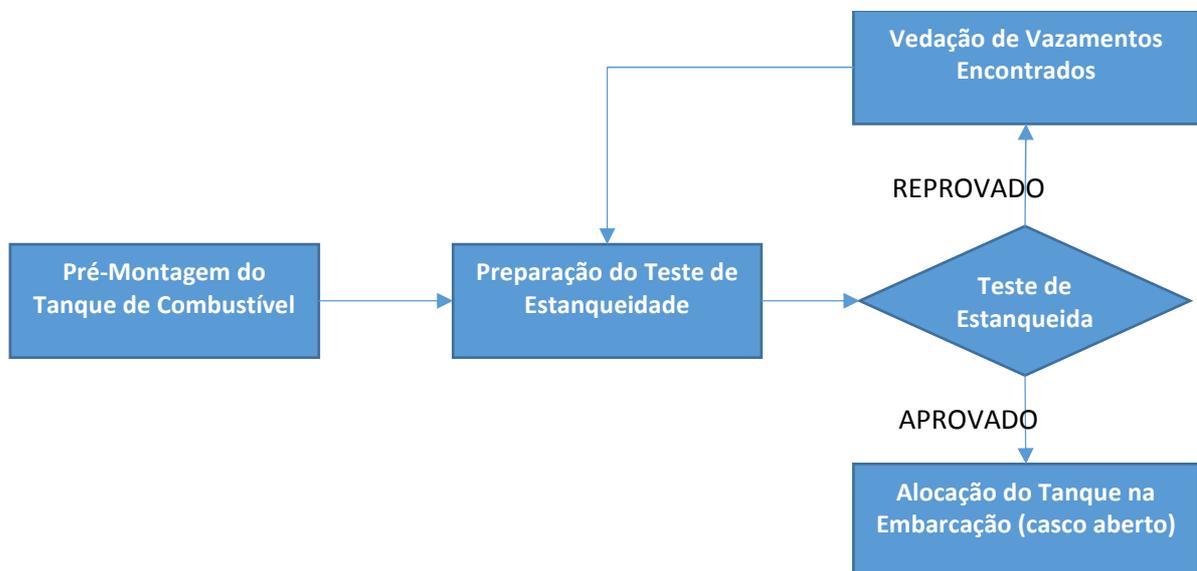
Os itens que aparecem na Quadro 9 são interessantes à empresa, uma vez que todos têm uma elevada criticidade, porém, como o número de ocorrência maior foi do suposto problema de instalação dos tanques de combustíveis. Assim, o exemplo da aplicação se dará no processo de instalação do

tanque de combustível em uma embarcação, desde sua pré-montagem, teste de estanqueidade e, por conseguinte sua instalação na embarcação.

5.1 CARACTERIZAÇÃO DO PROCESSO DE INSTALAÇÃO DE UM TANQUE DE COMBUSTÍVEL EM UMA EMBARCAÇÃO DE RECREIO

O tanque de combustível de uma embarcação de recreio é alocado geralmente na sala de máquinas, compartimento onde estão também motores, filtros, geradores e demais componentes vitais ao funcionamento da embarcação. A fase de alocação de um ou mais tanques de combustível na embarcação ocorre de maneira geral na fase de montagem do casco, procedimento anterior à união com o convés, porém o processo completo se inicia paralelo a isso, em uma pré-montagem fora da embarcação e é seguido de um teste de estanqueidade antes da alocação propriamente dita, conforme mostra a Figura 11.

Figura 11. Fluxograma do processo típico de instalação de um tanque de combustível em uma embarcação de recreio.



Fonte: Autoria própria.

Desta forma, para melhor compreensão do processo, é necessário que um detalhamento dos três principais procedimentos de montagem de um tanque seja realizado. Nenhum procedimento de

chegada do tanque até a linha de montagem será apresentado, tampouco o procedimento de teste de estanqueidade após a alocação do tanque na sala de máquinas da embarcação, uma vez que não é uma prática usual na indústria, embora possa ocorrer em alguns estaleiros.

5.1.1 Pré-montagem do tanque

Uma vez posto na linha produtiva, o tanque de combustível (metálico ou compósito) tipicamente recebe uma inspeção de qualidade visual de pouca exigência, servindo como filtro para defeitos de grande notoriedade. Em seguida uma série de conexões hidráulicas são instaladas e fixadas nos locais pré-determinados pelo fabricante da peça. É de responsabilidade do operador na linha produtiva a instalação e pré-montagem conforme projeto ou instrução do fornecedor. A Figura 12 mostra o tanque pré-montado de uma embarcação de recreio de 70 pés.

Figura 12. Tanque de combustível de uma embarcação de PRVF de 70 pés.



Fonte: Acervo do autor

5.1.2 Teste de estanqueidade no tanque pré-montado

Para Brentano (2007) o teste de estanqueidade compreende em uma verificação do comportamento dos equipamentos e canalizações em face de possíveis vazamentos, que não são

tolerados. Na indústria náutica é usual que se faça o teste de estanqueidade por imersão (teste do borracheiro). No entanto, para Costa (2010), diretor da TEX Equipamentos Eletrônicos, trata-se de um teste impreciso, porém barato.

O teste de estanqueidade adotado pela empresa² consiste em isolar todas as possíveis saídas de ar de um tanque já pré-montado de tal sorte a deixar apenas uma entrada que servirá para a passagem de ar comprimido e uma saída, onde será acoplado um manômetro para controle visual da pressão interna do tanque, conforme mostra a Figura 13.

Figura 13. Manômetro de Teste.



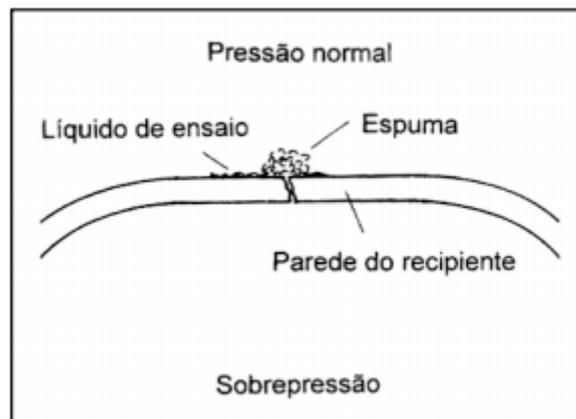
Fonte: Acervo do Autor

A pressão de teste especificada pelo fabricante do tanque de combustível é alcançada por meio da injeção de ar comprimido no tanque e, posteriormente, o isolamento de todas as saídas de ar, conexões e mangueiras, fazendo com que a pressão seja mantida sem alimentação de ar por um período de tempo pré-determinado pelo fabricante ou pelo setor de engenharia da empresa.

² Procedimento padronizado e descrito na instrução de trabalho interno da empresa.

Uma vez que não ocorra a diminuição da pressão interna, verificado por meio do manômetro instalado para o teste, o tanque é marcado como aprovado para ser alocado e fixado na embarcação. Caso a pressão diminua no período de teste, o local de vazamento deve ser identificado por meio da aplicação de uma solução formadora de espuma nos possíveis locais de vazamento (Figura 14), seguidos por uma correção na vedação. Desta forma, o ciclo de testes só é finalizado quando a pressão não diminuir durante o período de testes. (ARCELOR, 2005)

Figura 14. Teste de Estanqueidade



Fonte: CTS Arcelor Brasil.

5.1.3 Alocação do tanque de combustível na embarcação

Passados os procedimentos de pré-montagem e a aprovação no teste de estanqueidade o tanque é alocado na embarcação, na etapa de montagem em barco aberto, conforme explicado no item 2.3. Com o tanque posicionado na embarcação, faz-se a fixação na cama e no casco e a interligação com os demais componentes integrantes do sistema de armazenamento de combustível.

5.2 FMEA

A principal etapa da metodologia é a aplicação da FMEA, uma vez cumpridos os passos antecessores. Desta maneira, a FMEA será dividida em três etapas: pré-montagem dos tanques de combustível, teste de estanqueidade nos tanques, alocação dos tanques na embarcação; uma vez que essas três etapas integram o macroprocesso de instalação dos tanques de combustível.

A execução da FMEA se deu por meio de reuniões com especialistas das áreas de planejamento produtivo, engenharia naval, engenharia de processos, designer, engenharia de qualidade e engenharia de produção, com apoio da gerência de engenharia da empresa estudada, envolvendo nove pessoas em cerca de cinco reuniões e mais o tempo para a validação dos dados obtidos. Embora o estudo fosse hipotético no primeiro momento, a empresa disponibilizou tempo para a execução das reuniões entendendo que o presente trabalho serviria como um teste para o aprimoramento e melhoria de processos produtivos internos.

As reuniões se deram de forma individual com cada especialista. Os autores sugerem que sejam feitos encontros com todos os setores, mas não houve essa possibilidade no tempo de execução do trabalho.

A FMEA completa de instalação dos tanques é apresentada no APÊNDICE A.

5.2.1 FMEA pré-montagem dos tanques

No procedimento de pré-montagem dos tanques, os principais modos de falhas foram levantados tomando como referência as etapas da subdivisão de processo que é a pré-montagem, que são: instalação das conexões hidráulicas, instalação das borrachas de vedação, fixação das tampas de inspeção e instalação das mangueiras. Em seguida, os modos de falha, suas possíveis causas e efeitos foram listados, conforme orienta Carlson (2012) e apresentados na Quadro 10.

Quadro 10. Modos de falha, causas e efeitos da pré-montagem dos tanques.

F. M. E. A. DE PROCESSO			
INSTALAÇÃO DOS TANQUES DE COMBUSTÍVEL			
ETAPA: PRÉ-MONTAGEM DOS TANQUES			
PROCESSOS	MODOS DE FALHA	EFEITOS	CAUSAS
Instalação das Conexões Hidráulicas	Ausência de conexões hidráulicas	* Vazamento * Não ocorre montagem	Falta instrução ao operador
	Instalação inadequada da conexão hidráulica	* Vazamento * Não ocorre montagem	Falta instrução ao operador
	Conexões hidráulicas instaladas na posição incorreta	* Vazamento * Não ocorre montagem	Falta de instrução da instalação de conexões hidráulicas
	Conexões hidráulicas frouxas	Vazamento	Aperto insuficiente
Instalação das Borrachas de Vedação	Tanque sem borracha de vedação	* Vazamento * Não ocorre montagem	Falta instrução de montagem
Instalação das Borrachas de Vedação	Borracha de vedação danificada	* Vazamento * Não ocorre montagem	Armazenagem incorreta da borracha
			Manuseio incorreto da borracha
Fixação da tampa de inspeção	Parafusos da tampa de inspeção frouxos	Torque de aperto insuficiente	Operador não tem especificação (referência) no aperto
	Tampa de inspeção não fixada	Vazamento	Falta instrução de montagem
	Espessura da parede do tanque inferior ao especificado	*Fragilidade do reservatório *Baixa consistência da parede	Falha no processo de fabricação do fornecedor
Instalação das mangueiras	Falta de abraçadeira	Fragilidade na fixação da mangueira	Falta instrução de montagem
	Abraçadeira instalada no local indevido	* Vazamento * Não ocorre montagem	Falta instrução de montagem dos locais das abraçadeiras

	Falha no funcionamento do sistema de distribuição de combustível	*Obstrução da passagem de combustível/ar *Falha funcional	Interior do tanque com impurezas

Fonte: Autoria própria

Na pré-montagem dos tanques de combustível, o fato de ter sido listado uma causa para cada modo de falha foi eventual, os modos de falha podem ter mais de uma causa, o que normalmente ocorre.

Desta forma, a FMEA permite interligar de maneira direta a cada processo ou procedimento seus possíveis modos de falha, os efeitos que estes modos de falha podem gerar sobre o processo ou produto – isto é, a percepção que a próxima etapa do processo ou o cliente terá após a ocorrência deste modo de falha – e as causas que podem ter gerado tal falhas (CARLSON, 2012).

A percepção das causas e efeitos por parte do profissional que aplica a metodologia proposta e utiliza a técnica FMEA torna possível elencar ações de melhorias; porém, é muito importante que se conheça o estado atual do processo, assegura Moura (2000). Assim, fez-se a listagem da situação atual com subdivisão entre controle atual de detecção da falha e controle atual de prevenção, os quais foram listados na Quadro 11.

Quadro 11. Controles atuais de detecção e prevenção da pré-montagem dos tanques.

F. M. E. A. DE PROCESSO			
INSTALAÇÃO DOS TANQUES DE COMBUSTÍVEL			
ETAPA: PRÉ-MONTAGEM DOS TANQUES			
MODOS DE FALHA	CAUSAS	CONTROLES ATUAIS (Detecção)	CONTROLES ATUAIS (Prevenção)
Ausência de conexões hidráulicas	Falta instrução ao operador	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
Instalação inadequada da conexão hidráulica	Falta instrução ao operador	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
Conexões hidráulicas instaladas na posição incorreta	Falta de instrução da instalação de conexões hidráulicas	Dispositivo de verificação de aperto (sistema Passa Não Passa)	*Instrução de trabalho e Treinamento *Dispositivo de montagem
Conexões	Aperto insuficiente	Dispositivo de	*Instrução de trabalho

hidráulicas frouxas		verificação de aperto (sistema Passa Não Passa)	e Treinamento *Visual (Aperto até finalizar rosca)
Tanque sem borracha de vedação	Falta instrução de montagem	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
Borracha de vedação danificada	Armazenagem incorreta da borracha	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
	Manuseio incorreto da borracha	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
Parafusos da tampa de inspeção frouxos	Operador não tem especificação (referência) no aperto	Visual 100%. Verificação em todas as peças	Instrução de trabalho e Treinamento
Tampa de inspeção não fixada	Falta instrução de montagem	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
Espessura da parede do tanque inferior ao especificado	Falha no processo de fabricação do fornecedor	Teste de estanqueidade (injeção de ar comprimido e deformação da parede do tanque)	Visual + Ficha técnica de sopro + check list de liberação
Falta de abraçadeira	Falta instrução de montagem	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
Abraçadeira instalada no local indevido	Falta instrução de montagem dos locais das abraçadeiras	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Visual
		Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
Falha no funcionamento do sistema de distribuição de combustível	Interior do tanque com impurezas	Visual 100%	Avaliação mensal do processo de manufatura do fornecedor com certificados de garantia. Ex. PPAP

Fonte: Autoria própria

A atribuição dos índices de severidade, ocorrência, detecção e NPR não foram efetuados nesta FMEA, uma vez que o foco do trabalho é a metodologia de melhoramento contínuo – e esta aplicação utiliza dados hipotéticos. Porém, conhecendo os parâmetros listados até aqui, faz-se possível a atribuição dos índices e a decisão por qual parâmetro que influencia na falha se deve orientar esforços.

5.2.2 FMEA Teste de estanqueidade

O mesmo procedimento do tópico 5.2.1 é realizado para o teste de estanqueidade. Portanto, a Quadro 12 apresenta os modos de falha, efeitos e causas da etapa de teste de estanqueidade, formado pelos processos de abastecimento do tanque com ar comprimido, instalação do manômetro de teste e marcação de aprovação da qualidade.

Quadro 12. Modos de falha, causas e efeitos do teste de estanqueidade em tanques.

F.M.E.A. DE PROCESSO			
TESTE DE ESTANQUEIDADE			
PROCESSOS	MODOS DE FALHA	EFEITOS	CAUSAS
Abastecimento do tanque com ar comprimido	Falha no teste de estanqueidade	Vazamento	Teste realizado de maneira incorreta
			Falha no equipamento de teste
	Pressão insuficiente para efetuar o teste	Falha ao atender a demanda de pressão	Instabilização da rede pneumática
Instalação do manômetro de teste	Falha no funcionamento do manômetro	*Teste de estanqueidade inconsistente *Vazamento	Manômetro instalado fora da especificação
			Manômetro quebrado
	Tanque furado	Vazamento	Impossibilidade de armazenar ar comprimido para fazer o teste
Marcação de aprovação	Marcação de aprovação da	Tanque não aprovado para a	Operador esqueceu de

Fonte: Autoria própria

De forma análoga, a ligação que se faz entre as três etapas envolvidas na divisão do macroprocesso de instalação dos tanques de combustível torna possível estratificar o modo de falha, efeitos e possíveis causas para cada processo, permitindo um entendimento aprofundado do problema estudado.

A situação atual com os controles de detecção e prevenção desta etapa é apresentada na Quadro 13.

Quadro 13. Controles atuais de detecção e prevenção do teste de estanqueidade dos tanques de combustível.

F.M.E.A. DE PROCESSO				
TESTE DE ESTANQUEIDADE				
PROCESSOS	MODOS DE FALHA	CAUSAS	CONTROLES ATUAIS (Detecção)	CONTROLES ATUAIS (Prevenção)
Abastecimento do tanque com ar comprimido	Falha no teste de estanqueidade	Teste realizado de maneira incorreta	Check list de verificação dos parâmetros exigidos no teste (pressão e tempo de teste)	Instrução de trabalho + Ficha técnica do teste de estanqueidade
		Falha no equipamento de teste	Check list de liberação	Manutenção periódica do equipamento
	Pressão insuficiente para efetuar o teste	Instabilização da rede pneumática	Interrupção do teste por falha na pressão durante enchimento ou estabilização	Monitoramento da Rede
Instalação do manômetro de teste	Falha no funcionamento do manômetro	Manômetro instalado fora da especificação	Check list de verificação	Instrução de trabalho
		Manômetro quebrado	Check list de verificação	Dispositivo de montagem
	Tanque furado	Impossibilidade de armazenar ar comprimido para fazer o teste	Teste de estanqueidade	Certificado de garantia do fornecedor
Marcação de aprovação	Marcação de aprovação da	Operador esqueceu de	Check list de verificação	Instrução de trabalho

Fonte: Autoria própria

O teste de estanqueidade foi apresentado da maneira que usualmente é efetuado na indústria náutica, onde não se tem um controle tão preciso comparado à indústria automotiva com relação a testes em tanques, em que seus parâmetros devem ser controlados com um nível de precisão muito maior (ARCELOR, 2005). O teste de estanqueidade na indústria de embarcações de recreio parte, normalmente, de uma instrução da engenharia ao operador com informações de pressão para teste e tempo de exposição à pressão de teste. É comum a informação de a pressão nominal ser apresentada pelo fabricante do tanque ao estaleiro que efetuará o teste.

5.2.3 FMEA Alocação do tanque de combustível na embarcação

Por fim, a alocação dos tanques na embarcação, com a fixação nas camas e no casco, utilizando suportes. Conforme apresentado no item 5.1.3, envolve a movimentação dos tanques até a fixação dos subsistemas que envolvem o sistema de alimentação de combustível, como filtros, mangueiras e conexões.

A listagem dos principais modos de falha, efeitos e possíveis causas destas falhas, bem como a ligação com cada uma das etapas do processo, é apresentada na Quadro 14.

Quadro 14. Modos de falha, causas e efeitos da alocação do tanque na embarcação.

F. M. E. A. DE PROCESSO			
INSTALAÇÃO DOS TANQUES DE COMBUSTÍVEL			
PROCESSOS	MODOS DE FALHA	EFEITOS	CAUSAS
Movimentação do tanque até o barco	Queda do tanque na movimentação	*Dano ao tanque *Dano ao barco *Risco à segurança dos	Fixação das cintas mal executadas e/ou movimentação incorreta
	Peso fora do especificado	*Instabilidade da embarcação *Aumento de peso	Falha no processo de fabricação do fabricante
	Dimensão dos pontos de fixação fora do especificado	Dificuldade para montar	Desgaste da ferramenta de fabricação dos pontos de fixação
	Distância entre os pontos de fixação fora do especificado	Falha e dificuldade na montagem	Falta de instrução de montagem dos apoios e suportes para os tanques
	Pontos de fixação obstruídos	Dificuldade para montar	Falha no processo de rebarbação
	Ausência dos furos de fixação	Impossibilidade de montagem no barco	Furo de alojamento do parafuso deformado
	Danificação do tanque (amassados, furos)	Dano ao tanque	Fixação das cintas mal executadas e/ou movimentação incorreta
Fixação do tanque na embarcação	Tanque instalado na posição errada	*Vibração/Ruído *Falha funcional *Desequilíbrio na	Falta de instrução para a instalação do tanque de combustível
	Falta de fixação do tanque na cama	*Vibração/Ruído *Danos ao tanque e à outros componentes do barco *Desequilíbrio na distribuição de pesos na	Aperto insuficiente dos parafusos Falta instrução de montagem
Ligação das mangueiras pré instaladas no tanque com os demais componentes responsáveis pela distribuição de combustível	Erro no posicionamento da abraçadeira	*Não ocorre montagem *Vazamento	Falta instrução de montagem dos locais das abraçadeiras
	Montagem da mangueira incorreta	Não ocorre montagem	Mangueira fora do dimensional especificado
			Mangueira deformada Falta de direcionamento para encaixe da mangueira
Encaixe da mangueira no reservatório não realizado	*Mangueira solta *Vazamento	Mangueira com diâmetro fora do especificado em projeto	

Fonte: Autoria própria

Já os controles de detecção e prevenção na situação atual são apresentados na Quadro 15.

Quadro 15. Controles atuais de detecção e prevenção no processo de alocação dos tanques na embarcação.

F. M. E. A. DE PROCESSO			
INSTALAÇÃO DOS TANQUES DE COMBUSTÍVEL			
MODOS DE FALHA	CAUSAS	CONTROLES ATUAIS (Detecção)	CONTROLES ATUAIS (Prevenção)
Queda do tanque na movimentação	Fixação das cintas mal executadas e/ou movimentação incorreta	Check list de verificação	Instrução de trabalho
Peso fora do especificado	Falha no processo de fabricação do fabricante	Teste de Mar	Certificado de garantia do fornecedor
Dimensão dos pontos de fixação fora do especificado	Desgaste da ferramenta de fabricação dos pontos de fixação	Dispositivo para posicionamento da espuma com pinos de	Visual 100%
Distância entre os pontos de fixação fora do especificado	Falta de instrução de montagem dos apoios e suportes para os tanques	Check list de verificação	Instrução de trabalho
Pontos de fixação obstruídos	Falha no processo de rebarbação	Inspecção Visual 100%	Manutenção periódica das ferramentas
Ausência dos furos de fixação	Furo de alojamento do parafuso deformado	Visual 100%	Fixação individual do parafuso
Danificação do tanque (amassados, furos)	Fixação das cintas mal executadas e/ou movimentação incorreta	Check list de verificação	Instrução de trabalho
Tanque instalado na posição errada	Falta de instrução para a instalação do tanque de combustível	Check list de verificação + Teste funcional	Instrução de trabalho + Treinamento
Falta de fixação do tanque na cama	Aperto insuficiente dos parafusos	Check list de liberação	Instrução de trabalho + Treinamento (Reciclagem)
	Falta instrução de montagem	Check list de liberação	Instrução de trabalho +
Erro no posicionamento da abraçadeira	Falta instrução de montagem dos locais das abraçadeiras	Check list de verificação + Teste de estanqueidade	Visual 100%
			Instrução de trabalho e Treinamento
Montagem da mangueira incorreta	Mangueira fora do dimensional especificado	Dima de Controle	Inspecção dimensional por amostragem no recebimento
	Mangueira deformada	Dima de controle	Inspecção
	Falta de direcionamento para encaixe da mangueira	Dispositivo de encaixe da	Instrução de trabalho + Rota
Encaixe da mangueira no reservatório não realizado	Mangueira com diâmetro fora do especificado em projeto	Dispositivo de verificação de encaixe	Instrução de trabalho + Dispositivo de montagem
		Check list de verificação	Instrução de trabalho +

Fonte: Autoria própria

5.3 RESULTADOS

Nesta seção serão apresentados os resultados obtidos com a construção da FMEA, um dos pilares da metodologia proposta para a solução de problemas e melhoramento contínuo de processos produtivos de embarcações de recreio.

Os dados hipotéticos utilizados nas seções anteriores, a fim de aplicar como exemplo a metodologia proposta, foram válidos a fim de percorrer um ciclo da metodologia. Os resultados da FMEA serão apresentados a seguir de forma a finalizar o primeiro ciclo da metodologia proposta.

5.3.1 Parâmetros que influenciam na falha

O processo de instalação dos tanques de combustíveis em embarcações de recreio, divididos em pré-montagem, teste de estanqueidade e alocação dos tanques na embarcação, pode ser analisado detalhadamente a partir dos dados levantados pela FMEA.

O método de detecção de causas de falha propostos na Quadro 13, os quais geram diretrizes mais específicas em relação aos modos de falhas, levaram às seguintes conclusões:

- **Na pré-montagem:** Os efeitos de vazamento ou impossibilidade de montagem são oriundos, na maioria das vezes, da ausência de um sistema de *Poka-Yoke* (dispositivo passa-não passa, a prova de erros de montagem) e principalmente pela instalação de maneira inadequada das mangueiras e conexões hidráulicas.
- **No teste de estanqueidade:** Os controles atuais de detecção da falha e de prevenção da mesma ocorrem sob a ótica de que um operador treinado, juntamente com as especificações técnicas para a realização dos testes tem influência sobre os modos de falha, causa e efeito. Os modos de falha como impossibilidades de fazer o teste devido à má instalação de equipamentos de prova e, ainda, a instabilidade da rede pneumática são os principais causadores de falha neste quesito, possíveis vazamentos e impossibilidade de garantir a qualidade do tanque, no que se diz respeito à estanqueidade.
- **Na alocação do tanque na embarcação:** Os modos de falha que se destacam na montagem dos tanques na embarcação, bem como a fixação e a preparação para receber outros

subsistemas foram: danos no tanque causados pela movimentação executada de maneira indevida, fixação do tanque de maneira inadequada e/ou não especificada, ligação de mangueiras que interligam com outros sistemas efetuados de maneira incorreta. Os efeitos observados podem ser de vazamento, no caso de conexões incorretas e danos nos tanques, impossibilidade de montagem, no caso da alocação no local indevido, vibração e perda de estabilidade em relação à distribuição de massas a bordo, uma vez que os tanques projetados levando-se em consideração a estabilidade, informação esta, oriunda do departamento técnico. Os controles atuais seguem a linha de instruções de trabalho, dispositivos de verificação de encaixe e inspeções de qualidade.

5.4 AÇÕES RECOMENDADAS

Visto que o principal objetivo da etapa de execução da FMEA em um processo é a investigação aprofundada para criar ações de melhorias que possam melhorar o processo, a Quadro 16 apresenta uma compilação das principais causas de falha no processo de instalação dos tanques de combustível em embarcações de recreio e sua ligação direta com ações recomendadas,

Quadro 16. Ações Recomendadas.

Possíveis Causas do Defeito	Ações Recomendadas
Falta de inspeção do operador para a instalação de componentes	Criação de instruções de trabalho (montagem) de todos os sub-processos + Treinamento para os operadores
Aperto insuficiente de parafusos e conexões	Criação de instruções de trabalho (montagem) de todos os sub-processos + Treinamento para os operadores + torquímetro e especificação do torque adequado por parte do departamento técnico/fabricante
Queda de pressão da rede pneumática	Especificação da pressão nominal de teste do tanque + Implementação de dispositivo medidor de pressão na saída da rede e controle na estabilização da pressão + Treinamento do operador do teste
Falha no equipamento de teste	Manutenção periódica (2 meses) do equipamento de teste e contato direto com o fornecedor (treinamento e atualizações)
Montagem incorreta (posição e aperto) de conexões e mangueiras	Dispositivo de garantia de montagem (Poka-Yoque) + Instruções de trabalho (montagem) + Treinamento dos operadores

Fonte: Autoria própria.

Por fim, destaca-se que neste exemplo de FMEA, focou-se nas ações recomendadas, que terão impacto direto na mudança de processos construtivos, visando o melhoramento de cada um dos aspectos através do controle e prevenção dos modos de falha abordados.

Para finalização do primeiro ciclo da metodologia proposta, seria necessário avaliar a eficácia da ação corretiva tomada após a implementação no processo. No entanto, por ser um exemplo hipotético, os dois últimos passos não são possíveis de serem feitos e avaliados, conforme apresentados nas seções 4.1.4 e 4.1.5, respectivamente.

6. AVALIAÇÃO DA METODOLOGIA PARA A MELHORIA CONTÍNUA DA PRODUÇÃO DE EMBARCAÇÕES DE RECREIO

A metodologia para a melhoria contínua da produção de embarcações de recreio foi submetida a uma avaliação crítica com base nos requisitos que serviram de base para seu desenvolvimento. A avaliação ocorreu de tal forma que um grupo de especialistas de uma empresa atuante no setor náutico brasileiro puderam avaliar a adequação e aplicabilidade dos procedimentos propostos. Os resultados dessas avaliações são apresentados nos itens seguintes.

6.1 AVALIAÇÃO DO MODELO DE REFERÊNCIA JUNTO ÀS EMPRESAS E PESQUISADORES

Romano (2003) assegura que um modelo, uma vez desenvolvido, deve ser avaliado segundo critérios que permitam verificar o atendimento do seu propósito. O objetivo desta avaliação foi de verificar a adequação da metodologia proposta para a melhoria contínua na produção de embarcações de recreio. Vernadat (1996) apud Romano (2003) sugere que 12 critérios sejam avaliados, porém para a avaliação da metodologia deste trabalho, 10 questões avaliarão 10 critérios, apresentados na Quadro 17. Dois dos 12 critérios sugeridos por Vernadat (1996) apud Romano (2003) não se encaixam na aplicação deste trabalho e foram desconsideradas.

Quadro 17. Critérios de avaliação da metodologia.

- Escopo: relação com áreas de domínio do processo abrangido pelo modelo;
- Exatidão: complementar ao escopo e profundidade, dependente do modo como a realidade modelada é entendida, ou seja, define o grau de detalhes do modelo em termos de capacidade de representação;
- Profundidade: relacionado ao escopo sob a ótica do nível de detalhamento da metodologia proposta;
- Competência: relacionado às áreas de conhecimento abrangidas, isto é, verifica se o modelo somente é relevante para uma disciplina ou pode ser estendido para demais áreas;
- Clareza: capacidade que o modelo proposto tem em ser facilmente entendido;
- Generalidade: relacionado com a amplitude de aplicação, com modo à avaliar a extensão de utilização da metodologia proposta;
- Capacidade: relação com a possibilidade do modelo em suportar de maneira eficiente a resolução do problema sem a necessidade de qualquer transformação;
- Transformação: capacidade do modelo em ser alterado de sua representação atual a fim de se adequar a outras aplicações;
- Extensibilidade: capacidade do modelo em se expandir para demais áreas;
- Completeza: relação com a capacidade que o modelo proposto tem em conter todas as informações necessárias para resolver o problema proposto.

Fonte: Adaptado de Vernadat (1996) apud Romano (2003), pg. 247.

Com base nos apresentados elaborou-se as questões propostas para a avaliação atreladas com seus respectivos critérios, vide Quadro 18.

Quadro 18. Questões relacionadas aos critérios de avaliação da metodologia proposta.

Critério	Questões
Escopo	1 - A metodologia proposta abrange o campo de conhecimento do processo de construção de embarcações de recreio?
Exatidão	2 - A estrutura da metodologia (fluxogramas e Quadros) é adequada para sua representação?
Profundidade	3 - O nível de detalhamento da metodologia (fases, atividades e tarefas) é adequado para descrevê-la?
Competência	4 - A metodologia proposta abrange os domínios de conhecimento necessários para pôr em prática a filosofia de melhoramento contínuo na produção de embarcações de recreio?
Clareza	5 - A metodologia proposta é facilmente entendida, ou seja, a sequência das fases e atividades?
Generalidade	6 - A metodologia proposta suporta a aplicação em diferentes tipos de produtos tais como outras classes de embarcações de recreio?
Capacidade	7 - A metodologia permite orientar o desenvolvimento de novos processos produtivos, ou seja, novos princípios de solução para processos de construção naval?
Transformação	8 - A metodologia pode ter sua estrutura alterada para outra, mais adequada para diferentes processos de construção de produtos?
Extensibilidade	9 - A metodologia permite a sua expansão, isto é, a definição de novas atividades e tarefas não previstas anteriormente para agir na melhoria contínua de produtos?
Completeza	10 - A metodologia proposta contém toda a informação necessária para sua implementação, na prática de melhoramento contínuo na construção de embarcações de recreio?

Fonte: adaptado de Romano (2003).

Para cada questão foi estabelecido um conjunto de cinco respostas possíveis, as quais foram atribuídos os seguintes pesos:

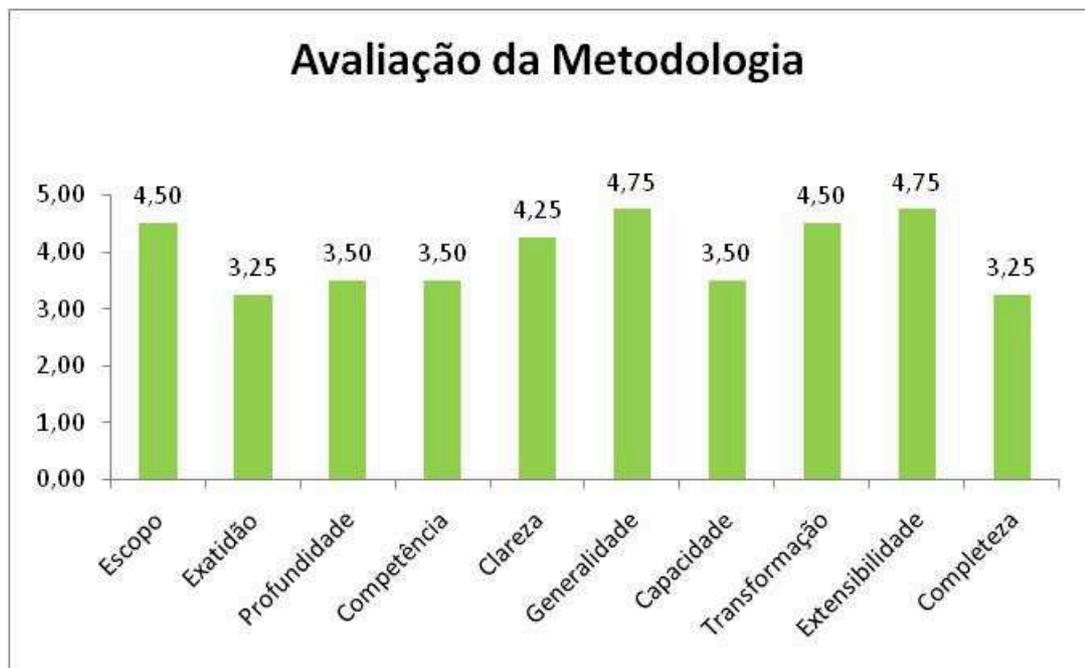
- 0 (zero): sem resposta;
- 1 (um): não atende ao critério;
- 2 (dois): atende em poucos aspectos o critério;
- 3 (três): atende parcialmente ao critério;
- 4 (quatro): atende em muitos aspectos o critério;
- 5 (cinco): atende totalmente ao critério.

As dez questões avaliativas juntamente com o modelo de referência da metodologia proposta foram enviados para quatro avaliadores especialistas na área de atuação de uma empresa de expressão

na indústria náutica a nível mundial, com filial no Brasil. Os avaliadores são envolvidos com engenharia de processos, análise de planejamento produtivo e gestão de produção industrial e *lean manufacturing*.

As médias são apresentadas na Figura 15 e a média mínima aceitável é de 3 pontos, conforme Romano (2003) sugere.

Figura 15. Avaliação da Metodologia Proposta



Fonte: Autoria própria.

Os dez critérios foram atendidos; contudo, com a mensuração das médias divididas em critérios, fica claro os pontos de possibilidade de melhoria na metodologia, sendo possíveis temas para trabalhos futuros.

7. CONCLUSÕES

O trabalho apresentado propõe uma metodologia para melhoria contínua em processos de construção de embarcações de recreio. Esta metodologia aplica conceitos de mensuração de severidade de falhas ocorridas em produtos, consultando um histórico de inspeções de qualidade. Por se tratar de continuidade no aprimoramento de processos produtivos, as etapas da metodologia se apresentam de forma cíclica e ações de melhoria para os processos são propostas por meio da aplicação da técnica FMEA em um processo específico, escolhido através do índice de gravidade da falha.

O objetivo de desenvolver um modelo de planilha de compilação dos dados oriundos de inspeções de qualidade, de forma padronizada foi alcançado com a criação da Quadro 4, o Dicionário dos defeitos. Os dados da empresa estudada foram adaptados à Quadro 4, porém não puderam ser apresentados neste trabalho por motivo de sigilo industrial.

A aplicação da metodologia de forma hipotética ocorreu e a execução da FMEA se deu com auxílio de profissionais da empresa, que contribuíram a fim de testar a metodologia. Embora o problema de aplicação tenha sido hipotético, as situações e suposições adotadas foram condizentes com a realidade.

O objetivo específico de avaliar a metodologia proposta através do estudo de critérios sugeridos por Vernadat (1996) apud Romano (2003) foi atingido e apresentado no capítulo 5. O resultado da avaliação foi positivo, segundo a sugestão de nota de referência do mesmo autor.

Com isso, o objetivo geral de desenvolver uma metodologia para a melhoria contínua da produção de embarcações de recreio baseado na redução dos defeitos da produção foi atingido. A justificativa de contribuir com o aumento do poder competitivo de uma empresa do setor náutico por meio do aprimoramento de seus processos produtivos fez com que o trabalho fosse avaliado positivamente por especialistas do setor, conforme capítulo 5 apresenta. Ainda, a execução conforme proposta no capítulo de materiais e métodos foi seguida e cumprida passo a passo.

A aplicação da metodologia ocorreu de forma hipotética, uma vez que a empresa estudada preferiu manter em sigilo suas informações de ocorrências de falha, por se tratar de um líder no setor em que atua. O aprofundamento, com a utilização de dados hipotéticos, não pode ser tão grande quanto seria em uma situação real. Porém a aplicação condiz com a realidade atual da empresa estudada.

O interesse na implementação da metodologia proposta neste trabalho, por parte da empresa estudada é iminente e com isso, situações reais serão resolvidas e processos produtivos serão aprimorados com a utilização desta ferramenta por parte da engenharia de processos em trabalho conjunto com equipes engajadas na implementação da filosofia *Lean Manufacturing*.

A empresa disponibilizou, para a realização deste trabalho, o tempo e mão de obra dos engenheiros do departamento técnico para aplicar a metodologia com o dado hipotético. Mesmo que a

situação não seja real, a empresa entendeu que o tempo investido destes profissionais em algumas reuniões foi válido para aprimorar e testar a metodologia proposta.

As dificuldades encontradas foram, no que diz respeito à divulgação de dados da empresa para a realização do trabalho e principalmente na disponibilidade destes profissionais para a realização da aplicação da metodologia, mais especificamente na realização da FMEA de processo de instalação dos tanques de combustível.

Para desenvolvimentos futuros é proposto que a metodologia de trabalho seja aplicada utilizando novos processos, isto é, na implementação de um processo novo na empresa, analisando processos semelhantes. Diferente do que foi feito neste trabalho, em que os processos já são aplicados e o que se busca é um aprimoramento.

Adicionalmente, propõem-se que sejam estudadas melhorias na metodologia proposta, destacadamente no que se refere aos critérios que obtiveram média mais baixa na avaliação da metodologia apresentada no Capítulo 6.

REFERÊNCIAS

ACOBAR - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DOS CONSTRUTORES DE BARCOS E SEUS IMPLEMENTOS. **Indústria náutica brasileira: fatos e números 2005**. Relatório anual de 2005.

ARCELOR, Cst (Org.). **Técnicas De Inspeção E Procedimentos De Testes**. 2005. Disponível em: <<http://www.abraman.org.br/arquivos/50/50.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2015.

AIAG. **FMEA – Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial**. 4º edição, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 9000: Sistemas De Gestão Da Qualidade** – Fundamentos e vocabulário. Rio de Janeiro: Abnt, 2000.

ASKIN, R. G.; STANDRIDGE, C. R. **Modeling And Analysis Of Manufacturing Systems**. New Jersey: John Wiley & Sons, 1993

BORROR, Connie M. **The Certified Quality Engineer**. 3º edição. ASQ Quality Press, 2008.

BRENTANO, Telmo. **Instalações Hidráulicas de Combate a incêndio nas edificações**. 3. ed. Porto Alegre: Edipucrs, 2007.

BRUYNE, Paul at al. **Dinâmica Da Pesquisa Em Ciências Sociais: Os Polos Da Prática Metodológica**. Rio de Janeiro: Francisco Alves, 1977.

CARLSON, Carl S. **Effective FMEAs: Achieving Safe, Reliable, and Economical Products and Processes Using Failure Mode and Effects Analysis**. Hoboken: Wiley, 2012.

DENNIS, Pascal. **Produção de Lean Simplificada**. 2ª Edição, Editora Bookman. Porto Alegre, 2008.

GERR, Dave. **The Elements of Boat Strength: for Builders, Designers, and Owners**. New York: International Marine / McGraw-Hill, 2000.

INMAI, Masaaki. **Kaizen: A Estratégia para o Sucesso Competitivo**. 5 ed. São Paulo: IMAM, 1994.

LAMB, T. "Engineering for Ship Design, Marine Technology", SNAME, 1986.

MALIK, A.M. **Avaliação, Qualidade, Gestão... Para Trabalhadores Da Área De Saúde E Outros Interessados**. São Paulo: SENAC, 1996.

MOURA, Cândido. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (FMEA): Manual de Referência**. Comissão Para Assuntos da Qualidade - Anfavea, 2000.

NASSEH, Jorge. **Manual de Construção de Barcos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Divisão de Engenharia e Marketing da empresa Barracuda Advanced Composites, 2011.

PALADINI, Edson Pacheco et al. **Gestão da Qualidade: Teoria e Casos**. 2. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.

PALADY, P. **FMEA: Análise dos Modos de Falha e Efeitos: Prevendo e Prevenindo Problemas antes que ocorram**. São Paulo: IMAM, 1997.

PEINADO, Jurandir; GRAEML, Alexandre Reis. **Administração da Produção: (Operações Industriais e de Serviço)**. Curitiba: Unicenp, 2007.

ROMANO, Leonardo Nabaes. **Modelo de Referência para o Processo de Desenvolvimento de Máquinas Agrícolas**. 2003. 264 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

TOLEDO, José C; AMARAL, Daniel C. **FMEA – Análise do Tipo e Efeito de Falha**. Ed. GEPEQ – Grupo de Estudos e Pesquisa em Qualidade. UFSCar, 2006.

STAMATIS, D. H., 1995, **Failure Mode and Effect Analysis, FMEA from Theory to Execution**, ASQC Quality Press, Wisconsin, USA.

WELLINGTON, Patrícia **“Estratégias Kaizen para Atendimento ao Cliente”**, São Paulo: Educator Editora, 1998.

TEX, **Estanqueidade** - 2010.PDF, [Http://www.tex.com.br/admin/files/ensaio/o_Teste de.Http://www.tex.com.br/admin/files/ensaio/O Teste de Estanqueidade-2010.pdf](http://www.tex.com.br/admin/files/ensaio/o_Teste_de.Http://www.tex.com.br/admin/files/ensaio/O_Teste_de_Estanqueidade-2010.pdf): Mais do que encontrar vazamentos. 2010. Disponível em: <[http://www.tex.com.br/admin/files/ensaio/O Teste de Estanqueidade-2010.pdf](http://www.tex.com.br/admin/files/ensaio/O_Teste_de_Estanqueidade-2010.pdf)>. Acesso em: 20 set. 2015.

APÊNDICE A

F. M. E. A. DE PROCESSO						
INSTALAÇÃO DOS TANQUES DE COMBUSTÍVEL						
ETAPA: PRÉ-MONTAGEM DOS TANQUES						
SUB DIVISÃO DO PROCESSO	PROCESSOS	MODOS DE FALHA	EFEITOS	CAUSAS	CONTROLES ATUAIS (Detecção)	CONTROLES ATUAIS (Prevenção)
Pré Montagem	Instalação das Conexões Hidráulicas	Ausência de conexões hidráulicas	* Vazamento * Não ocorre montagem	Falta instrução ao operador	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
		Instalação inadequada da conexão hidráulica	* Vazamento * Não ocorre montagem	Falta instrução ao operador	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
		Conexões hidráulicas instaladas na posição incorreta	* Vazamento * Não ocorre montagem	Falta de instrução da instalação de conexões hidráulicas	Dispositivo de verificação de aperto (sistema Passa Não Passa)	*Instrução de trabalho e Treinamento *Dispositivo de montagem
		Conexões hidráulicas frouxas	Vazamento	Aperto insuficiente	Dispositivo de verificação de aperto (sistema Passa Não Passa)	*Instrução de trabalho e Treinamento *Visual (Aperto até finalizar rosca)
	Instalação das Borrachas de Vedação	Tanque sem borracha de vedação	* Vazamento * Não ocorre montagem	Falta instrução de montagem	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
	Instalação das Borrachas de Vedação	Borracha de vedação danificada	* Vazamento * Não ocorre montagem	Armazenagem incorreta da borracha	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
				Manuseio incorreto da borracha	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
	Fixação da tampa de inspeção	Parafusos da tampa de inspeção frouxos	Torque de aperto insuficiente	Operador não tem especificação (referência) no aperto	Visual 100%. Verificação em todas as peças	Instrução de trabalho e Treinamento
		Tampa de inspeção não fixada	Vazamento	Falta instrução de montagem	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
		Espessura da parede do tanque inferior ao especificado	*Fragilidade do reservatório *Baixa consistência da parede	Falha no processo de fabricação do fornecedor	Teste de estanqueidade (injeção de ar comprimido e deformação da parede do tanque)	Visual + Ficha técnica de sopro + check list de liberação
	Instalação das mangueiras	Falta de abraçadeira	Fragilidade na fixação da mangueira	Falta instrução de montagem	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
		Abraçadeira instalada no local indevido	* Vazamento * Não ocorre montagem	Falta instrução de montagem dos locais das abraçadeiras	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Visual
					Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Instrução de trabalho e Treinamento
	Falha no funcionamento do sistema de distribuição de combustível	*Obstrução da passagem de combustível/ar *Falha funcional	Interior do tanque com impurezas	Visual 100%	Avaliação mensal do processo de manufatura do fornecedor com certificados de garantia. Ex. PPAP	

F.M.E.A. DE PROCESSO						
INSTALAÇÃO DOS TANQUES DE COMBUSTÍVEL						
SUB DIVISÃO DO PROCESSO	PROCESSOS	MODOS DE FALHA	EFEITOS	CAUSAS	CONTROLES ATUAIS (Detecção)	CONTROLES ATUAIS (Prevenção)
Teste de Estanqueidade	Abastecimento do tanque com ar comprimido	Falha no teste de estanqueidade	Vazamento	Teste realizado de maneira incorreta	Check list de verificação dos parâmetros exigidos no teste (pressão e tempo de teste)	Instrução de trabalho + Ficha técnica do teste de estanqueidade
				Falha no equipamento de teste	Check list de liberação	Manutenção periódica do equipamento
		Pressão insuficiente para efetuar o teste	Falha ao atender a demanda de pressão	Instabilização da rede pneumática	Interrupção do teste por falha na pressão durante enchimento ou estabilização	Monitoramento da Rede
	Instalação do manômetro de teste	Falha no funcionamento do manômetro	*Teste de estanqueidade inconsistente *Vazamento	Manômetro instalado fora da especificação	Check list de verificação	Instrução de trabalho
				Manômetro quebrado	Check list de verificação	Dispositivo de montagem
		Tanque furado	Vazamento	Impossibilidade de armazenar ar comprimido para fazer o teste	Teste de estanqueidade	Certificado de garantia do fornecedor
Marcação de aprovação (Qualidade)	Marcação de aprovação da qualidade não efetuada	Tanque não aprovado para a montagem	Operador esqueceu de marcar manualmente	Check list de verificação	Instrução de trabalho	

F. M. E. A. DE PROCESSO						
INSTALAÇÃO DOS TANQUES DE COMBUSTÍVEL						
ETAPA: PRÉ-MONTAGEM DOS TANQUES						
SUB DIVISÃO DO PROCESSO	PROCESSOS	MODOS DE FALHA	EFEITOS	CAUSAS	CONTROLES ATUAIS (Detecção)	CONTROLES ATUAIS (Prevenção)
Montagem no barco	Movimentação do tanque até o barco	Queda do tanque na movimentação	*Dano ao tanque *Dano ao barco *Risco à segurança dos operadores	Fixação das cintas mal executadas e/ou movimentação incorreta	Check list de verificação	Instrução de trabalho
		Peso fora do especificado	*Instabilidade da embarcação *Aumento de peso	Falha no processo de fabricação do fabricante	Teste de Mar	Certificado de garantia do fornecedor
		Dimensão dos pontos de fixação fora do especificado	Dificuldade para montar	Desgaste da ferramenta de fabricação dos pontos de fixação	Dispositivo para posicionamento da espuma com pinos de verificação dos pontos de fixação em 100% das peças.	Visual 100%
		Distância entre os pontos de fixação fora do especificado	Falha e dificuldade na montagem	Falta de instrução de montagem dos apoios e suportes para os tanques	Check list de verificação	Instrução de trabalho
		Pontos de fixação obstruídos	Dificuldade para montar	Falha no processo de rebarbação	Inspeção Visual 100%	Manutenção periódica das ferramentas
		Ausência dos furos de fixação	Impossibilidade de montagem no barco	Furo de alojamento do parafuso deformado	Visual 100%	Fixação individual do parafuso
		Danificação do tanque (amassados, furos)	Dano ao tanque	Fixação das cintas mal executadas e/ou movimentação incorreta	Check list de verificação	Instrução de trabalho
	Fixação do tanque na embarcação	Tanque instalado na posição errada	*Vibração/Ruído *Falha funcional *Desequilíbrio na distribuição de pesos na embarcação	Falta de instrução para a instalação do tanque de combustível	Check list de verificação + Teste funcional	Instrução de trabalho + Treinamento (Reciclagem)
		Falta de fixação do tanque na cama	*Vibração/Ruído *Danos ao tanque e à outros componentes do barco *Desequilíbrio na distribuição de pesos na embarcação	Aperto insuficiente dos parafusos	Check list de liberação	Instrução de trabalho + Treinamento (Reciclagem)
				Falta instrução de montagem	Check list de liberação	Instrução de trabalho + Treinamento (Reciclagem)
	Ligação das mangueiras pré instaladas no tanque com os demais componentes responsáveis pela distribuição de combustível	Erro no posicionamento da abraçadeira	*Não ocorre montagem *Vazamento	Falta instrução de montagem dos locais das abraçadeiras	Check list de verificação + Teste de estanqueidade (borracheiro)	Visual 100% Instrução de trabalho e Treinamento
		Montagem da mangueira incorreta	Não ocorre montagem	Mangueira fora do dimensional especificado	Dima de Controle	Inspeção dimensional por amostragem no recebimento
				Mangueira deformada	Dima de controle + Visual 100%	Inspeção dimensional por amostragem no recebimento
				Falta de direcionamento para encaixe da mangueira	Dispositivo de encaixe da mangueira em 100% das peças + Visual 100 %	Instrução de trabalho + Rota de encaixe da mangueira no reservatório
		Encaixe da mangueira no reservatório não realizado	*Mangueira solta *Vazamento	Mangueira com diâmetro fora do especificado em projeto	Dispositivo de verificação de encaixe	Instrução de trabalho + Dispositivo de montagem
	Check list de verificação				Instrução de trabalho + Dispositivo de montagem	

Página 1