

# Um Método Baseado no Contexto do DfX para a Prevenção de Falha Prematura na Indústria Automobilística (A DfX Context-Based Method for Preventing Premature Failures in the Automotive Industry)

Vitório Donato

Centro Universitário Senai Cimatec

Carolina Sacramento Vieira

Carlos César Ribeiro Santos

Centro Universitário Senai Cimatec

## RESUMO

A proteção inadequada de produtos manufaturados (e.g. metálicos, cerâmicos, polímeros ou compósitos) durante o transporte, manuseio, armazenamento e distribuição, possibilitam a ocorrência de danos devido à corrosão, oxidação, despolimerização ou choque mecânico. No comércio internacional, dadas as grandes distâncias, diferenças climáticas e meios mais agressivos (principalmente no transporte marítimo), as condições para ocorrência de nucleação de falhas são frequentes e com consequências drásticas. Em diversos sistemas de produção, como na indústria automobilística e refinarias de petróleo, por exemplo, o custo de manter um estoque para itens críticos é significativo, contudo, ainda é necessário diante da frequência de avarias, o que resulta na interrupção do processo de produção. Nesse contexto, a presente pesquisa, propõe um método para orientar nos procedimentos para a preservação de materiais tendo como contexto o Design For X. O método proposto é validado com a apresentação dos resultados do monitoramento da implantação em sete empresas em um período de quatro anos. Os resultados demonstraram que o método DfPPF - Design For Prevention of Premature Failure proposto, reduziu o volume de ocorrências de falhas nos materiais armazenados, durante o período estudado.

**Palavras-chave:** Processos Logísticos, Sistemas de Apoio a Manufatura, Sistema de Manufatura.

## ABSTRACT

Improper protection of manufactured products (e.g. metal, ceramic, polymer or composite) during transportation, handling, storage and distribution, enables damage due to corrosion, oxidation, depolymerization or mechanical shock. In international trade, given the large distances, climatic differences and more aggressive means (especially in maritime transport), the conditions for nucleation of failures are frequent and with drastic

consequences. In several production systems, such as in the automotive industry and oil refineries, for example, the cost of maintaining a stock for critical items is significant, however, it is still necessary due to the frequency of breakdowns, which results in the interruption of the production process. In this context, this research proposes a method to guide the procedures for the preservation of materials with Design For X as its context. The proposed method is validated with the presentation of the results of monitoring the implementation in seven companies over a period of four years. The results showed that the proposed DfPPF - Design For Prevention of Failure method reduced the volume of occurrences of failures in stored materials during the period studied.

**Keywords:** Premature failure, failure prevention, preservation of stored materials.

## INTRODUÇÃO

A falha em materiais de engenharia é quase sempre um evento indesejável por vários motivos, como vidas humanas que são colocadas em perigo, perdas econômicas e a indisponibilidade de produtos e serviços [1]. Um componente, equipamento ou estrutura necessita que seja minimizada a possibilidade da ocorrência de falhas durante seu ciclo de vida. Desta forma, torna-se importante entender a mecânica dos diferentes modos de falha que ocorrem na etapa logística (fase prematura) e sua influência na vida útil ou durante o processo de envelhecimento de um material. Para os fins deste trabalho, serão focadas apenas as falhas nos materiais na fase prematura.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) define a falha de um material, equipamento ou instalação, como a incapacidade deste em desempenhar suas funções de acordo com o padrão desejado. Por mais que sejam feitos planos de contenção para corrigir as falhas, algumas destas são decorrentes de condições não esperadas e algumas iniciadas antes mesmo dos materiais entrarem em operação. O modo como as falhas em materiais se

apresentam em sistemas logísticos é por meio de uma degeneração das suas funções. Esta degeneração afetará a operação normal do equipamento.

Para que possa ser alcançado o ciclo de vida útil projetado, isto é, o máximo do ciclo será alcançado quando ocorrer a aplicação de um protocolo para prevenção da falha prematura nos materiais. Olhar para todas as etapas de vida de um produto (Ciclo de vida do produto) é essencial para o planejamento do design for X. Caso contrário o X pode ser subotimizado, ou não fazer sentido, ao perguntar quais competências são necessárias para analisar situações que podem ocorrer ao longo da vida de um produto.

Uma abordagem DfPPF, por outro lado, é implementada por meio da aplicação de métodos (através do desenvolvimento de protocolos para preservação do produto). O problema, neste caso, é que não há muitas publicações sobre o método DfPPF como também de procedimentos diretamente aplicáveis à preservação de materiais em estoque. Considerando que a falta desta ferramenta é a motivação para o trabalho descrito aqui, e o real desenvolvimento e a validação de uma solução para este problema é o que compõe o seu escopo.

Neste cenário, o objetivo principal deste trabalho é o de desenvolver e aplicar um método que permita a derivação de critérios baseados no contexto de uma lista de conceitos que podem ser aplicados às fases logísticas dos materiais. A escolha de uma lista de critérios DfPPF é a saída deste método, uma vez que não se trata de sofisticadas ferramentas e métodos, é principalmente devido ao fato de que eles são auto-explicativos e não requerem o uso de software, o que facilita a sua incorporação no cotidiano das atividades de desenvolvimento de projetos de materiais.

Vale notar que o foco e a aplicabilidade da solução proposta, consiste no desenvolvimento de procedimentos para preservação dos materiais durante o período de transporte e armazenagem. Assim, o formato de abordagem proposta, como sendo uma lista de critérios, poderão ser incorporados, sem adição de grande carga de trabalho, quer por profissionais especializados ou apoio material. Além disso, a lista de critérios permite incorporar novas informações com bastante facilidade, por ser flexível.

## REFERENCIAL TEÓRICO

A confiança é fundamental nas relações de negócios. Empresas estabelecem a confiança por meio da sua reputação. A confiabilidade nos materiais em estoques é o desafio para os diversos sistemas de materiais. Confabilidade nos estoques é um fator crítico para garantir o desempenho dos processos produtivos e para alcançar a confiabilidade do sistema de materiais [1]. De acordo com [2], esta confiabilidade se caracteriza por:

- Disponibilidade - Estoque disponível no momento necessário;
- Confiabilidade - O sistema de suprimento disponibiliza materiais corretos (em quantidade e qualidade);
- Integridade - O sistema protege os materiais armazenados de dano;
- Oportunidade - São as respostas do sistema a produção dentro do prazo exigido.

Por meio de uma análise detalhada do ambiente de armazenamento, com o controle cuidadoso do microclima se consegue evitar falhas prematuras. A tolerância a falhas depende de:

- Redundância - é o controle adicional que pode ser usado;
- Padronização - padrão nas maneiras de fazer as coisas.

## DESIGN FOR X - DfX

Design para "X" (também conhecido como DfX), onde a variável "X" é intercambiável com um dos muitos valores, dependendo dos objetivos específicos do empreendimento. É um termo geral usado no mundo da engenharia que serve como um espaço reservado para diferentes objetivos de projetos. Na realidade, o termo DfX é melhor pensado como, Design for "Excellence". Design for "X", descreve um processo de design genérico por um critério de qualidade particular, o "X". "X" pode ser qualquer critério de qualidade, tais como fabricação, impacto ambiental, confiabilidade, robustez, facilidade de manutenção e ciclo de vida [3].

Alguns dos substitutos mais comuns para "X" incluem montagem (DfA), custo (DfC), logística (DfL), manufaturabilidade (DfM), confiabilidade (DfR), manutenção e/ou reparabilidade (DfS) [3]. Trata-se de uma metodologia para a definição e implementação de uma gama de percepções e demandas que permitem o desenvolvimento de um produto ideal e maduro nos aspectos de confiabilidade, fabricação, montagem, serviço, transporte, usabilidade, ergonomia, ambiente e mais, por permitir a redução considerável dos custos ao longo do ciclo de vida do produto. Ou seja, ao se projetar um produto, os projetistas privilegiam sob qual óptica pretendem focar [4].

Se o objetivo do produto é ser líder em custo, os projetistas irão pensar/desenvolver o projeto com componentes mais baratos. Caso o objetivo seja a engenharia no descarte final, exemplo de uma usina nuclear, os projetistas irão focar em criar um projeto onde o descomissionamento da planta seja algo prioritário. Como exemplo temos projetos passados na aviação onde o foco do design não foi o descomissionamento e hoje presenciamos

nos aeroportos do Brasil áreas de sucatas de aeronaves desativadas. A implementação do DfX unifica a organização para trabalhar por um objetivo claro, reduz os custos, aumenta a rentabilidade e cria um valor acrescentado para os clientes.

O objetivo do DfPPF é o de fornecer um roteiro explícito para a implementação da cultura de preservação em toda a organização. Esta cultura consiste em padrões de comportamento, percepção de engenharia simultânea, processos de trabalho e ferramentas de apoio que resultam em produtos com maior ciclo de vida [4]. Aplicando na indústria automotiva, o DfPPF contribui com produtos que atenderão os mercados com características melhoradas de confiabilidade, custo, manutenção, usabilidade, transportabilidade e muito mais.

## TEORIA DAS FALHAS

Teoria de falha é a ciência de prever as condições sob as quais um material sólido falha quando submetido a cargas externas. A falha de um material é normalmente classificada em falha frágil (fratura) ou falha dúctil (escoamento) [2].

Dependendo das condições (tais como temperatura, estado de tensões, taxa de carregamento) muitos materiais podem falhar de um modo frágil ou dúctil, ou ambos. Embora a teoria de falha já esteja em desenvolvimento a mais de um século, o seu nível de aceitabilidade ainda está para chegar ao da mecânica do contínuo.

Para [2], os materiais de engenharia sofrem esforços de tensão, tração e as mais diversas influências de fenômenos físicos e químicos, imposto pelo processo produtivo e pelo meio ambiente. A falha nos materiais traz consequência desastrosa em alguns casos e este fenômeno se apresenta por meio do modo de falha, que é a forma pela qual uma falha ocorre em um componente ou sistema. Segundo [5], os tipos mais comuns de falhas dos materiais se apresentam na forma de: fratura por fadiga, fluência, crazing (aparecimento de pequenas fendas na superfície de um material após este sofrer um carregamento acima de certo limite), stress cracking (o fenômeno de ruptura do material decorrente da formação de fissuras), creep (falha decorrente ao longo tempo de carregamento), baixa resistência adesiva. Já a falha prematura os modos de falha mais comuns são: desgaste prematuro, empenamento, retração, ressecamento, mudança de cor, brilho e transparência, desenvolvimento de odor, perda ou alteração de propriedades (químicas, mecânicas e elétricas), oxidação ou degradação etc.

O ciclo de falhas dos materiais ocorre em três momentos: a falha prematura (na etapa logística), período de vida útil (tempo operacional) e a etapa de desgaste (fim de vida do material) [7]. O gráfico que demonstra as falhas

em função do tempo é o gráfico da banheira apresentado na Figura 1.

- a) Falha prematura: nesta etapa o ativo apresenta uma taxa de falhas elevada, mas após um tempo há um declive negativo na curva. Essas falhas acontecem devido a problemas de fabricação, erros no projeto, montagem incorreta e manuseio e/ou armazenamento inadequado. Por essa razão, é elevada no início da vida útil.
- b) Período de vida útil: nesta fase há estabilidade da taxa de falhas. Nesse período elas são aleatórias, motivadas por erros humanos, excesso ou sobrecarga operacional. Neste período, o número de ocorrências é menor do que na fase prematura.
- c) Desgaste: nessa fase a taxa de falhas aumenta progressivamente. Elas acontecem por conta das condições de deterioração natural do material, e consequentemente o equipamento apresenta alto índice de erros.

Este trabalho irá focar nas falhas prematura do ciclo de vida dos materiais utilizados na indústria automotiva.

## A FALHA PREMATURA

O autor em [6], define a falha de um material, equipamento ou instalação, como a incapacidade destes em desempenhar suas funções de acordo com o padrão desejado. Antes de um equipamento parar de exercer suas funções completamente, normalmente ele passa pelas etapas de Anomalia (associada à nucleação da falha), Defeito (propagação da anomalia), Falha (objetivação do defeito) e Quebra (quando ocorre o colapso do sistema em certo espaço de tempo). Esse fluxo é o conhecido fluxo de falha de um material.

A falha pode ocorrer em algum momento da vida do material, pode ocorrer com o material em operação ou em um momento antes de sua aplicação, que é a etapa prematura. Por mais que existam planos de manutenção para corrigir as falhas nos equipamentos em operação, algumas destas falhas são decorrentes de condições não esperadas e algumas iniciadas antes mesmo destas peças entrarem em operação. Segundo [7], o modo como as falhas se apresentam em sistemas estruturais é por meio de uma degeneração da função destes sistemas, esta degeneração afetará a operação normal do equipamento.

## PRINCIPAIS FORMAS DE OCORRÊNCIA DA FALHA PREMATURA EM MATERIAIS ARMAZENADOS

A falha prematura, em produtos armazenados, decorre principalmente de:

1. Projeto - especificação e/ou processo de fabricação inadequado (s);
2. Manuseio inadequado – provocado por impactos de baixa energia no momento do: transporte, inspeção, conferência e movimentação;
3. Embalagem inadequada - original ou substituta;
4. Condicionamento inadequado - incompatibilidade dos produtos de embalagem/preservação com o material;
5. Área de armazenagem inadequada - onde fatores ambientais influenciam negativamente, tais como: umidade, temperatura, presença contaminantes, incidência de raios UV,  $\gamma$  oxigênio, ozônio, corrente elétrica, e micro-organismos.

Na maioria das vezes a falha não ocorre na área de armazenamento, o que ocorre é o processo do surgimento da anomalia e estas são decorrentes de:

- Inexistência de um programa de prevenção da falha prematura;
- Protocolo de preservação inadequado;
- Periodicidade da preservação inadequada;
- Tensões aplicadas no material a exemplo de: impactos de baixa, média e alta energia, esforços cíclicos, torção etc.;
- Falhas relacionadas com aditivos dos produtos de preservação.

#### CICLO DE VIDA DOS MATERIAIS MANUFATURADOS

Para [7], tradicionalmente, o tempo de vida útil de um produto é demonstrado pela curva da banheira (vide Figura 1). Esta análise parte do pressuposto que equipamentos novos estão sujeitos a uma alta probabilidade de ocorrência de falha na sua fase prematura e que esta probabilidade vai decrescendo em função do tempo e voltando a crescer na fase de envelhecimento.

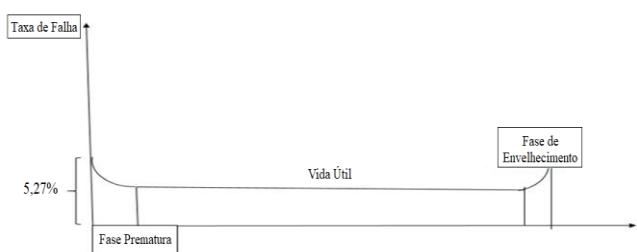


Figura 1. Probabilidade de falha antes de implantar o DfPPF. Fonte: Adaptado de [8].

A curva de falha (curva da banheira) apresentada na figura 1, representa uma taxa média de falha de cerca de 5,27% na fase prematura em empresas que não tinham esta preocupação. Esta curva foi gerada com os resultados obtidos com o acompanhamento dos estoques das empresas

pesquisadas durante um período de quatro anos. O pico alcançado na fase inicial foi decorrente de falhas ocasionadas durante a etapa logística (transporte, armazenamento e distribuição). Já a taxa da fase de envelhecimento foi decorrente do desgaste natural.

#### METODOLOGIA

O método de pesquisa utilizado foi o estudo de caso, onde o ponto de partida para este trabalho foi a pesquisa “*in loco*” em uma amostra composta de sete empresas, como forma de levantar todas as informações necessárias para a produção das argumentações e acompanhar a efetividade do protocolo de DfPPF proposto.

Para o desenvolvimento do protocolo de DfPPF, foi criado um framework que irá orientar na elaboração. O framework elaborado prevê uma pesquisa *in loco* em sete empresas por meio de estudo de caso. Em seguida foi realizada a elaboração de uma lista de critérios que nortearam na elaboração dos procedimentos de preservação. Dessa forma, escolheu-se como campo amostral de estudo, para o desenvolvimento do protocolo de DfPPF, uma cadeia de empresas da área petroquímica, autopeças, e montadoras de veículos. A relação das empresas estudadas é apresentada na Tabela 1. Devido à falta de autorização de divulgação, as empresas serão denominadas de automotiva I, automotiva II, automotiva III, automotiva IV, polietileno de alta, insumos básicos e caprolactana.

Tabela 1. Empresas em estudo

Empresa	Principais empresas	Classificação
1	Automotiva I	Automotiva (montadora)
2	Automotiva II	Automotiva (montadora)
3	Automotiva III	Fabricante de autopeças
4	Polietileno de alta densidade	Petroquímica (1º geração)
5	Insumos petroquímicos básicos e utilidades	Petroquímica (insumos básicos)
6	Caprolactana	Petroquímica (1º geração)
7	Automotiva IV	Fabricante de autopeças

Fonte: Autor, 2022.

A composição da amostra seguiu a seguinte lógica: de três empresas petroquímicas por estarem em um ambiente agressivo e quatro da área automotiva (2 de autopeças e 2 montadoras). As empresas da área autopeças não estão localizadas em ambiente agressivo.

As observações focaram as áreas de armazenamento de matéria prima na indústria automotiva (supermercado de peças que abastece a linha de produção) e peças de MRO na indústria petroquímica, onde o foco foi a área de

armazenamento de peças de manutenção. Já as empresas de autopeças foram estudadas devido manipularem as peças aplicadas na produção de automóveis.

## **PROTOCOLO DFPPF**

Esta seção apresenta protocolo desenvolvido de forma, sistemática, para obter a lista de critérios baseados no contexto DfPPF a ser utilizado na preservação de materiais de peças armazenadas, e espera-se que a adoção e aplicação do DfPPF renderá um perfil de maior ciclo de vida útil das peças. O protocolo proposto procura uma maneira de analisar diferentes aspectos do ciclo dos materiais e é apresentado em detalhes na próxima seção.

## ESTABELECIMENTO DA LISTA DE CRITÉRIOS PARA O DESENVOLVIMENTO DO DfPPF

O framework desenvolvido para o DfPPF é apresentado na Figura 2 e baseia-se em cinco critérios fundamentais: a) o recebimento dos materiais b) a limpeza c) os procedimentos de preservação d) a recomendação das embalagem de proteção, e e) o método de armazenamento.

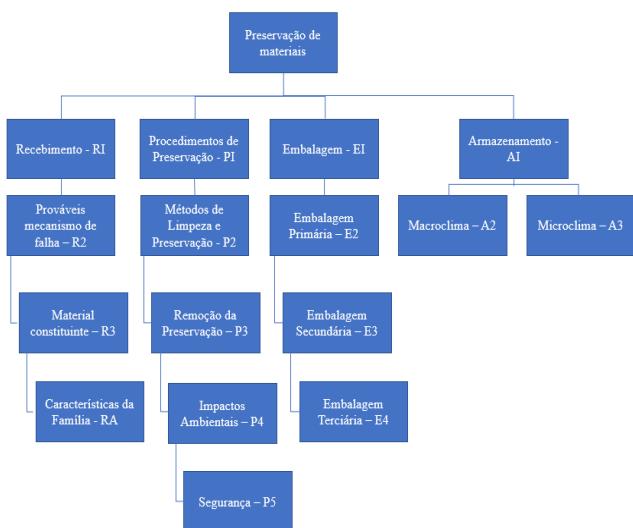


Figura 2. Framework de formatação do DfPPF  
Fonte: Autor, 2022.

# DESDOBRAMENTO DOS CRITÉRIOS PARA COMPOR O DfPPF

Os critérios propostos nesta etapa, procura avaliar os mecanismos mais prováveis ou processos de falha prematura pelo qual o material pode ser submetido, e assim, foi possível avaliar, com base nas características levantadas, quais os métodos de prevenção são mais adequados, a fim de guiar a criação da lista de procedimentos, que atenda todas as exigências de um processo de DfPPF.

- a) Recebimento – Prefixo R

No ato do recebimento os materiais devem ser avaliados conforme suas características principais. Nesta etapa devem ser descritas as condições necessárias para o recebimento de cada família de material exigindo das partes envolvidas, a busca dos melhores processos disponíveis, para o recebimento/conferência dos materiais devem ser aplicadas. Existem vários métodos de recebimento de materiais (análise prévia do material). A saída da etapa do prefixo R, é uma lista de ações que estarão disponíveis para o conferente e que descreverão as características para cada família de materiais. Para esta categoria foi escolhido três parâmetros, a saber:

- R1 – Prováveis mecanismos de falha - Depois de completar a análise prévia do material na etapa de recebimento/conferência, é necessário identificar os mecanismos de falha prematura que os materiais possam ter sido submetidos durante o transporte.
  - R2 – Identificação do material constituinte - Esta etapa tem como objetivo identificar as peculiaridades dos materiais que compõem cada família de materiais selecionados na etapa anterior, bem como as possíveis limitações associadas a eles e que pode criar restrições com as opções de design ou a escolha do método.
  - R3 – Características da família de materiais - Neste campo são identificadas as famílias de peças que exigem cuidados de proteção. Como nos casos de proteção contra corrosão materiais, que apresentam problemas com a ação direta de cloretos, ou no caso de outras classes de materiais onde se faz necessário algum cuidado para garantir sua integridade física.

- b) Limpeza – Prefixo L

Em alguns casos, como na devolução ao estoque, é de suma importância a necessidade de efetuar a limpeza superficial dos materiais antes de executar os procedimentos de preservação e armazenagem. A saída desta etapa é uma lista de procedimentos de limpeza para as famílias de materiais. Para esta categoria foram escolhidos quatro parâmetros, a saber:

- L1 – Métodos de limpeza - A norma ABNT NBR 15158:2004 - Limpeza de superfície de aço por compostos químicos é a base para qualquer processo de limpeza de produtos confeccionados em aço. Essa norma estabelece o procedimento para a limpeza de superfícies de aço contaminadas por meio de solventes, emulsões, desengraxantes, detergentes, água, vapor ou outros materiais e métodos por ação físico-química, antes da aplicação de uma nova camada de tinta ou da

- remoção de carepa de laminação, de ferrugem ou de tinta antiga.
- L2 – Remoção da sujeira firmemente aderidas - Para esta etapa a remoção do produto de preservação, quando necessário, deve ser efetuada por meio de jateamento ou lavagem com produtos desengraxantes, quando necessário e descrever os procedimentos de remoção de contaminantes.
  - L3- Impactos ambientais - Nesta etapa será descrito os prováveis impactos causados pelo procedimento de limpeza.
  - L4 – Segurança – O processo de limpeza usa os mais diversos produtos químicos. Existe certa dificuldade no acesso a informações sobre as formulações (embora os conferentes recebam a MSDS - Ficha de Segurança), e alguns desses produtos seriam tóxicos.

c) Preservação – Prefixo P

Depois de completar a análise prévia do material na etapa R e de efetuar a limpeza - L, agora se faz necessário escolher o método de preservação mais adequado para o caso específico que está sendo analisado.

Nesta etapa serão definidos os processos de preservação pelo qual a peça será submetida. Assim, é possível avaliar, com base nas características definidas na etapa R, quais serão os processos mais adequados ou aplicáveis, serão discutidas no tópico seguinte. A saída desta etapa é uma lista de procedimentos de preservação que seja mais adequada às características para cada família de materiais. Para esta categoria foram escolhidos três parâmetros a saber:

- P1 – Procedimentos de preservação - Há diversos fatores que podem ser utilizados para avaliar a aplicabilidade de um processo específico, dependendo das características da empresa, incluindo a sua localização geográfica e o ambiente físico. Um fator relevante, por exemplo, é a umidade relativa da área de armazenamento.
- P2 – Maturidade - Com base nas informações coletadas sobre DfPPF, constatou-se que muitos dos procedimentos estão em escala de uso, enquanto alguns outros estarão em fase de processo-piloto. Quando se busca um processo de DfPPF viável para ser aprovado, vale a pena considerar que esses processos devem ter um alto nível de maturidade.
- P3 – Produto já preservado - Assim, há uma forte tendência hoje, de a indústria receber as peças preservadas, porque esta técnica atualmente parece ser economicamente mais viável.

d) Embalagem – Prefixo E

O planejamento da embalagem deve obedecer a uma série de etapas lógicas, dentro de um plano de preservação, em que devem ser considerados todos os elementos relacionados com o condicionamento dos materiais. A saída desta etapa é uma lista de procedimentos de embalagens que atenda as características de cada família de materiais. O projeto de uma embalagem pode ter início na empresa fornecedora. A função de projetar a embalagem é o ponto focal sobre o qual se assenta a atenção na conservação do produto, para que uma embalagem cumpra o seu verdadeiro papel e contribua para a proteção do material embalado.

- E1 – Embalagem primária - São as embalagens que estão diretamente em contato com o produto, por exemplo, laminados em geral, frascos de vidro, latas, sacos plásticos, *big-bags* etc.
- E2 - Embalagem secundária - São as embalagens que estão em contato com a embalagem primária, como cartuchos, caixas em geral, sacos plásticos e/ou laminados etc.
- E3 - Embalagem terciária- Nessa classe incluem-se as embalagens como cartuchos, caixas de papelão, *displays* e outras diretamente em contato com as embalagens secundárias.

e) Armazenamento – Prefixo A

Descrever as características de armazenamento para atender o procedimento de preservação. A saída desta etapa é uma lista de procedimentos de como melhor armazenar os materiais. Para esta etapa devem ser levados em consideração o clima no entorno do material, o microclima e o macroclima. A saída desta etapa é uma lista de procedimentos que descreva as características para o armazenamento de cada família de materiais.

- A1 – Macroclima - É considerado macroclima as áreas de armazenagem. Fatores climáticos têm grande influência no processo de condensação, tais como conteúdo de água no ar, temperatura e umidade relativa. A formação de uma película de água sobre as superfícies metálicas dos materiais ferrosos, por condensação da umidade existente no ar, é o fator básico no processo de deterioração dos materiais durante o armazenamento. Para se ter um processo efetivo de proteção por meio do condicionamento do material, deve-se evitar a condensação, que na prática pode ocorrer com umidades relativas menores ou iguais a 100%. A saída desta etapa é uma lista de procedimentos de controle do macroclima para as famílias de materiais.
- A2 – Microclima - É considerado microclima a área entre o material e a embalagem primária. Para se ter um processo efetivo de proteção por meio do

condicionamento do microclima, deve-se evitar a contenção deve fatores que provoquem a corrosão superficial, que na prática pode ocorrer com umidade. A saída desta etapa é uma lista de procedimentos de controle do microclima para as famílias de materiais.

- A3 – Ambiente controlado – deve ser levado em consideração a necessidade de armazenagem em área especial.

## ESTUDO DE CASO

O estudo iniciou com a pesquisa da taxa de falhas nos almoxarifados de peças nas empresas foco do estudo, como forma de levantar todas as informações necessárias para a produção dos protocolos. A Tabela 2 apresenta um resumo das falhas detectadas nos quatro primeiros anos da pesquisa. Foram selecionadas empresas instaladas em ambiente agressivo e empresas instaladas em ambiente rural (pouco agressivo).

Tabela 2. Percentual de falha medido antes da implementação do Programa

Empresa	% médio de falha por empresa
1	8,4
2	6,2
3	4,7
4	6,7
5	8,5
6	11,9
7	5,1

Fonte: Autor, 2022.

A análise para os dados da Figura 3, é característica de um período (período de coleta dos dados, 2016 a 2020), em que os materiais armazenados apresentaram probabilidade elevada de sofrer falha antes mesmo de entrar em operação. As empresas 1, 5 e 6 se destacaram e apresentaram o maior índice de falha.

## QUANDO O TEMPO DE VIDA ÚTIL É IGUAL AO TEMPO DE ESTOQUE

Nas empresas estudadas, cerca de 5,27 % dos materiais manipulados apresentaram algum tipo de falha antes do uso. Visto desta forma, existia a probabilidade real de alguns materiais, em estoque, falharem antes mesmo da sua aplicação, o que é uma taxa muito alta, vide tabela 2. Este fato pode ser demonstrado pela curva representada na Figura 3. Neste caso o tempo de vida do material era igual ao tempo em estoque, isto é, o material falhou totalmente em algum momento no período de permanência no armazém.

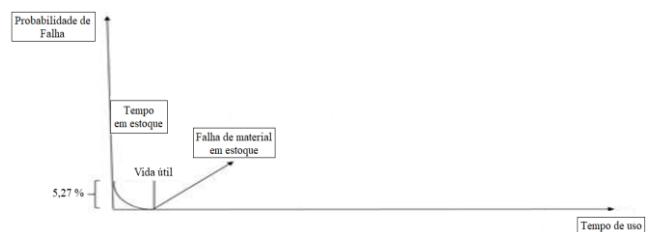


Figura 3. Curva de falha total do material em estoque.  
Fonte: Autor, 2022.

Com os programas de qualidade total, TPM, seis sigmas e outros, a probabilidade de ocorrência de falha sofreu reduções significativas na fase prematura. Porém, não são programas de preservação de materiais, principalmente, para o caso de peças de reposição, que permanecerão em estoque por longos períodos, neste caso, a taxa de falha prematura assume outra geometria (com crescimento regular) devido a influência dos diversos fatores atuantes no ambiente durante o processo de armazenagem.

## DESENVOLVIMENTO

A implantação da metodologia de DfPPF, nas empresas estudadas, durou um período de 4 anos. Durante todo este tempo foram sendo observadas melhorias significativas na redução de ocorrência de falhas prematuras nos materiais armazenados. A Figura 4 apresenta o percentual de falha durante a fase de implantação e comparando os dois períodos, observa-se uma redução da taxa de falha de 5,27% para 4,3% no primeiro ano.

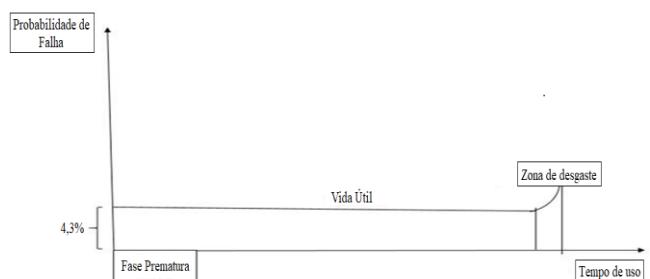


Figura 4. Probabilidade de falha no final do 1º Ano.  
Fonte: Autor, 2022.

## ANÁLISE DE PROBABILIDADE DE FALHA NOS MATERIAIS ARMAZENADOS DURANTE A IMPLANTAÇÃO DO PROGRAMA BASEADO NO CONTEXTO DfPPF

De acordo com as observações realizadas na amostra dos almoxarifados estudados, os materiais que não passaram por um programa baseado na DfPPF apresentaram maior probabilidade de falhar durante o

tempo de armazenamento. Porém, materiais que passaram pelo programa DfPPF, apresentaram menor probabilidade de ocorrência de falha durante sua permanência em estoque. O ganho na aplicação deste procedimento vem da redução de ocorrência de falha prematura nos materiais em estoque. Lembrando que este tipo de falha contribui para paradas de linha e manutenções programadas sejam realizadas em um maior tempo.

Esta melhora é apresentada no gráfico da Figura 5, onde o número de ocorrências de falhas registradas, no início da fase prematura cai drasticamente, porém volta a crescer em um curto período. Foi observado que alguns dos procedimentos que estavam compondo a lista de critérios para o desenvolvimento do DfPPF, na estavam sendo efetivos na prevenção da falha prematura. Como a lista de critérios não é rígida, ela foi sofrendo alterações e ajustes ao longo do período de implantação, porém todas as alterações precisam ser registradas com a atualização dos procedimentos.

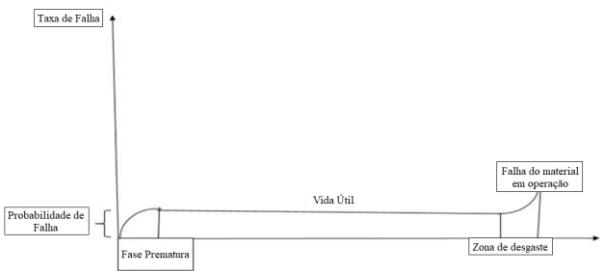


Figura 5. Curva de falha na fase de implantação do processo.

Fonte: Autor, 2022.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

As principais falhas prematuras de material, identificadas antes da aplicação de procedimentos de DfPPF foram:

- Trinca em material frágil – guarnições que sofreram trincas e rasgos ao serem movimentados;
- Deformação em correias de borracha – correias de transmissão apresentando deformação permanente após processo de armazenagem inadequadas;
- Oxidação em mancais de rolamento – oxidação nas pistas e nos rolos/esferas de rolamentos;
- Degradação de borrachas – juntas de vedação apresentando degradação em estoque por não atenderem ao FIFO.

O gráfico representado na Figura 6, mostra que para os materiais, das empresas em estudo, que foram submetidos ao DfPPF, a probabilidade de falhar na fase prematura, sob condições normais de operação, foi bem menor, ou seja, 3 falhas para cada 10.000 itens analisados.

Este acompanhamento foi realizado em um período de 4 anos.

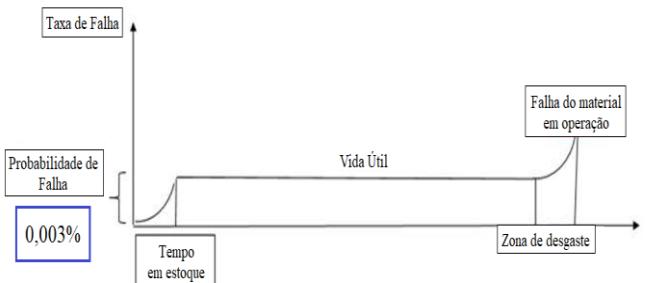


Figura 6. Curva de falha para material onde foi aplicado mecanismo de prevenção.

Fonte: Autor, 2022.

A fim de ilustrar a situação em que a lista de critérios DfPPF gerado teria levado a uma melhoria de qualidade na fase prematura, o gráfico da Figura 6 representa os resultados.

O acompanhamento da efetividade do DfPPF por um longo período, possibilitou ajustes na lista de critérios. Porém, alguns itens ainda apresentaram falha, quando armazenados por um longo período (característica básica de peças de manutenção). O novo patamar de qualidade é muito mais seguro para o planejamento de materiais, pois se tem a garantia que 99,97% das peças em estoque não falharão na fase prematura.

## CONCLUSÃO

A análise da literatura disponível que serviu de base para a implantação do DfPPF apresentado, mostrou a existência de muitos métodos e ferramentas de aplicação geral de procedimentos de armazenagem de peças, mas revelou a falta de ferramentas específicas aplicáveis para a prevenção da falha prematura em materiais armazenados por longos períodos.

Conforme a pesquisa realizada em diversos almoxarifados, a probabilidade de um material falhar durante seu tempo de permanência em estoque era maior quando este material não passava por um Processo de Prevenção de Falha Prematura adequado, durante a fase de armazenagem. Nos casos estudados, observou-se uma inversão da curva de probabilidade de falha, na fase prematura, porém devido a alguns procedimentos não estarem adequados ao número de falha, voltou a evoluir e a curva evoluiu para níveis observados na fase anterior a implantação.

A partir das informações obtidas na literatura e de tentativas, erros e correções, foi proposto um método para o desenvolvimento em um contexto com base em critérios DfPPF que pode ser aplicado para a fase de armazenamento

de materiais e equipamentos, e que pode levar à concepção de soluções que são mais fáceis de serem atualizadas e desta forma contribuir para estender o ciclo de vida das peças.

Para testar o método, ele foi aplicado e acompanhado, em sete almoxarifados de empresas distintas do ramo petroquímico e automotivo em um período de quatro anos. Este estudo mostrou, com pouca margem para dúvidas o potencial da aplicação da lista de critérios DfPPF apresentada na prevenção de falhas em materiais armazenados.

Em relação ao desenvolvimento e aplicação do método, que foi o foco da pesquisa, a principal dificuldade foi o acompanhamento por um período de quatro anos para obtenção das informações, especialmente em relação às falhas apresentadas, porque o tema era percebido como uma questão de pouca importância por parte das empresas para financiar esse tipo de estudos. Apesar disso, o método foi executado e uma lista de critérios DfPPF foi criada.

No entanto, as empresas estudadas começam a adaptar o DfPPF em seu processo, daí surgiu a ideia de criar disciplinas nos cursos de graduação tecnológica em Logística para capacitação de pessoal. Este processo de educação foi criado com o intuito de divulgar o conhecimento adquirido em DfPPF, associada com o surgimento de novos materiais, certamente poderá ser possível melhorar a lista de critérios DfPPF.

## REFERÊNCIAS

- [1] DONATO, Vitório. Metodologia para Preservação de Materiais: Prevenção da Falha Prematura. São Paulo: Editora Érica, 2011.
- [2] CALLISTER, Júnior. Ciência e engenharia dos materiais. Rio de Janeiro: LTC, 2000.
- [3] BRALA, JG. Design para Excelência. McGraw-Hill, Inc. 1996.
- [4] MELO, Leonardo; MERINO, Eugenio; MERINO, Giselle. Uma Revisão Sistemática Sobre Desing For X. Revista Gestão da Produção Operações e Sistemas, v. 12, n. 4, p. 78, 2017.
- [5] RABELLO, Marcelo. Falha prematura em materiais plásticos. Material didático da disciplina Polímeros do

mestrado em engenharia de materiais. Salvador: SENAI-Cimatec, 2005.

[6] AFFONSO, Luiz. Equipamentos mecânicos: Análise de falhas e soluções de problemas. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2002.

[7] COLLINS, Jack. Failure of materials in mechanical design: analysis, prediction, prevention. New York: Wiley inc. 1993.

[8] WUTTKE, André.; SELLITTO, Miguel. Cálculo da disponibilidade e da posição na curva da banheira de uma válvula de processo petroquímico. Revista Produção Online. ABEPROM/UFSC. v. 8, n. 4, 23p., 2008.

[9] DONATO, Vitório. Identificar e materializar ações que propiciem ganhos de sinergia na gestão e armazenagem de peças de reposição de baixo giro após um processo de fusão e/ou incorporação de empresas: um estudo de caso. Dissertação (Mestrado em Gestão Integrada de Organizações). Convênio GENTIL, Vicente. Corrosão. Ed. LTC. Rio de Janeiro. 2018.

[10] \_\_\_\_\_. Logística Verde: uma abordagem socioambiental. Rio de Janeiro: Ed. Ciência Moderna, 2008.

[11] \_\_\_\_\_. Conferência de Recebimento de Materiais. Procedimentos de trabalho aplicado na COPENE Petroquímica do Nordeste S.A. Camaçari, 1998.

[12] \_\_\_\_\_. Armazenamento de Materiais. Procedimentos de trabalho aplicado na COPENE Petroquímica do Nordeste S.A. Camaçari, 1998.

[13] \_\_\_\_\_. Manual de Procedimento para Hibernação de Sistemas de Equipamentos Desativados. Procedimento de trabalho aplicado na COPENE Petroquímica do Nordeste S.A. Camaçari, 1990.

[14] \_\_\_\_\_. Manual de Procedimento de Preservação de Materiais. Procedimento de trabalho aplicado na COPENE Petroquímica do Nordeste S.A. Camaçari, 1988.

[15] \_\_\_\_\_. Metodologia para preservação de materiais: prevenção da falha prematura. Ed. Érica Ltda. São Paulo. 2011.