

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
DEPARTAMENTO ACADÊMICO DE MECÂNICA
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

GUSTAVO GIACOMEL KUTIANSKI

**MODELO E DIRETRIZES PARA CONDUZIR INTERVENÇÕES
PONTUAIS DE REPROJETO EM PRODUTOS INDUSTRIAIS**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Curitiba
2012

GUSTAVO GIACOMEL KUTIANSKI

**MODELO E DIRETRIZES PARA CONDUZIR INTERVENÇÕES
PONTUAIS DE REPROJETO EM PRODUTOS INDUSTRIAIS**

Trabalho apresentado à disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso do curso de Engenharia Industrial Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, como requisito parcial para aprovação na disciplina.

Orientador: Prof. Carlos Cziulik, Ph.D.

Curitiba
2012

TERMO DE APROVAÇÃO

Por meio deste termo, aprovamos a monografia "MODELO E DIRETRIZES PARA CONDUZIR INTERVENÇÕES PONTUAIS DE REPROJETO EM PRODUTOS INDUSTRIAIS", realizada pelo aluno Gustavo Giacomel Kutianski, como requisito parcial para aprovação na disciplina de Trabalho de Conclusão de Curso, do curso de Engenharia Industrial Mecânica da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.



Prof. Carlos Cziulik, Ph.D.

UTFPR – DAMEC

Orientador



Prof. Alfredo Vrubel, Msc.

UTFPR – DAMEC

Avaliador



Prof. Josmael Roberto Kampa, Msc.

UTFPR – DAMEC

Avaliadora

Curitiba, 23 de outubro de 2012.

“isso de querer
ser exatamente aquilo
que a gente é
ainda vai
nos levar além”
(LEMINSKI, Paulo; 1987)

RESUMO

GIACOMEL KUTIANSKI, Gustavo. Conjunto de diretrizes para conduzir intervenções pontuais de reprojeção em produtos industriais. 2012. 88 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Industrial Mecânica) – Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

Há muitos produtos no mercado. E, devido à agilidade crescente das empresas em desenvolver soluções para seus clientes, ciclos de desenvolvimento de produto cada vez menores são praticados. Neste tipo de prática, o processo de reprojeção é empregado de duas maneiras: como parte integrante do desenvolvimento de produtos, alterando parâmetros estabelecidos no projeto conceitual para a geração de um novo produto em um curto espaço de tempo; ou como agente de reparação de projetos que necessitem de alterações para que implementem as funções para as quais foram designados. Neste segundo contexto, são comuns pequenas intervenções que possuem grande urgência em serem introduzidas e, desta forma, necessitam de uma abordagem diferente do PDP convencional. O objetivo do presente trabalho é apresentar o desenvolvimento de um conjunto de diretrizes para a condução deste tipo de reprojeção. Nele, foi empregada a abordagem teórico-prática, combinando referenciais teóricos de assuntos próximos ao reprojeção pontual com a prática vivenciada pelo autor em uma empresa de maquinário agrícola. Como resultado, foi proposto o Modelo para a Utilização Sistemática do Reprojeção Pontual (MUSRP). Envolve uma sequência de ações e uma série de questionamentos direcionados ao projetista nas fases iniciais e finais do reprojeção. A fim de facilitar a sua aplicação, uma ferramenta computacional baseada no Microsoft Excel foi elaborada. Sua validação ocorreu por meio de uma atividade em ambiente controlado com projetistas inexperientes e comparada com o resultado de um projetista experiente. Os resultados preliminares indicam ganhos no que tange a efetividade das intervenções de reprojeção pontual.

Palavras chave: Reprojeção pontual; Reprojeção; Propagação de alterações; Desenvolvimento de produtos.

ABSTRACT

GIACOMEL KUTIANSKI, Gustavo. Conjunto de diretrizes para conduzir intervenções pontuais de reprojeto em produtos industriais. 2012. 88 f. Monografia (Bacharelado em Engenharia Industrial Mecânica) – Departamento Acadêmico de Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2012.

There are a lot of products in the market. Due to the pressure for companies in developing solutions for their customers, product development cycles have been reduced. In this scenario, the redesign process is addressed in two manners: as part of the product development, changing the parameters established on the conceptual project when generating a new product in a short time; or as agent for repairing projects that require changes to implement the functions for which they were designed. In this second context, are common small interventions that have urgency to be introduced. Thus, they require a different approach from the traditional PDP. The aim of this dissertation is to present the development of a set of guidelines for conducting this type of redesign. For that, it was employed a theoretical-practical approach, merging the knowledge from references with the practice experienced by the author in a company that designs and manufactures farming equipments. As a result, a model for approaching particular redesign is proposed. This model involves a set of actions and a framework directed to the design team on the initial and final phases of redesign. To facilitate its usage, a tool based in Microsoft Excel was developed. The validation occurred through a controlled experiment with novice and experienced designers. The preliminary results indicate gain in the effectiveness of the redesign interventions, when using the proposed approach.

Keywords: Particular Redesign; Redesign; Change Propagation; Product Development.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Ciclo de vida de um produto.....	14
Figura 2 – Modelo unificado de PDP	20
Figura 3 – Fases e atividades do processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia	21
Figura 4 – Metodologia de Projeto de Produto	22
Figura 5 – Modelo de referência PRODIP	23
Figura 6 – Fontes de alterações durante o ciclo de vida do produto	25
Figura 7 – Exemplo de parâmetros de ligação	28
Figura 8 – Comportamento de absorção/propagação de sistemas	28
Figura 9 – Porcentagem dos projetos por grau de complexidade	32
Figura 10 – Porcentagem dos dias trabalhados por grau de complexidade do projeto	33
Figura 11 – Divisão dos projetos por Fator Iniciador e Grau de Complexidade	34
Figura 12 – Divisão dos projetos com grau de complexidade baixo por fator iniciador	34
Figura 13 - Regiões de falha	36
Figura 14 - Proposta de solução apresentada.....	37
Figura 15 – Modelo para a Utilização Sistemática do Reprojeto Pontual (MUSRP)..	42
Figura 16 – Posicionamento do MUSRP no modelo de Rozenfeldt <i>et al.</i>	43
Figura 17 – Representação CAD da região próxima à junta de fixação	44
Figura 18 – Árvore de falhas do exemplo.....	45
Figura 19 – Tela inicial da ferramenta computacional	53
Figura 20 – Módulo do FTAM.....	53
Figura 21 – Seleção do sistema	54
Figura 22 – Seleção dos parâmetros de ligação	54
Figura 23 – Seleção das restrições típicas.....	55
Figura 24 – Avaliação da solução	56
Figura 25 – Base de dados	57
Figura 26 – Projeto da churrasqueira de tambor utilizada no experimento	59
Figura 27 – Participantes do grupo PI durante o experimento	61
Figura 28 – Tela "Avaliação de Solução" – PI1	64

Figura 29 – Solução proposta por PI1	64
Figura 30 – Solução proposta por PI2	65
Figura 31 – Tela "Avaliação de Solução" – PI2	66
Figura 32 – Solução proposta por PI3	67
Figura 33 – Tela "Avaliação de Solução" – PI3	68
Figura 34 – Solução proposta por PI4	69
Figura 35 – Tela "Avaliação de Solução" – PI4	69
Figura 36 – Solução proposta por PE	70
Figura 37 – Formulário aplicado aos participantes do experimento	80
Figura 38 – Apresentação para a validação da ferramenta MUSRP	81
Figura 39 – Apresentação – Agenda	81
Figura 40 – Apresentação – Conceito de reprojeto	82
Figura 41 – Apresentação – Fontes de reprojeto	82
Figura 42 – Apresentação – Propagação de alterações	83
Figura 43 – Apresentação – Comportamento de propagação	83
Figura 44 – Apresentação – Reprojeto pontual	84
Figura 45 – Apresentação – <i>Fault Tree Analysis</i>	84
Figura 46 – Apresentação – Principais blocos do FTA	85
Figura 47 – Apresentação – Exemplo de árvore de falhas	85
Figura 48 – Apresentação – Conceituação do MUSRP	86
Figura 49 – Apresentação – Fluxograma do MUSRP	86
Figura 50 – Apresentação – Etapas do MUSRP	87
Figura 51 – Apresentação – Detalhes da atividade	87
Figura 52 – Apresentação – Agradecimento	88

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Símbolos comumente utilizados na FTA	26
Quadro 2 – Lista dos eventos da extremidade da Árvore de falhas	45
Quadro 3 – Saída do FTAP	45
Quadro 4 – Lista de Parâmetros de Ligação(LPL) base	47
Quadro 5 – Conjunto inicial de Questões de Apoio	48
Quadro 6 – Lista de Restrições Típicas (LRT)	50
Quadro 7 – Lista de ferramental instalado na empresa fictícia.....	58
Quadro 8 – Características dos participantes do experimento	60
Quadro 9 – Causas-raiz identificadas pelo participante PI1	63
Quadro 10 – Causas-raiz identificadas pelo participante PI2	66
Quadro 11 – Causas-raiz identificadas pelo participante PI3	68
Quadro 12 – Causas-raiz identificadas pelo participante PI4	69

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Média de dias de trabalho por reprojeto por grau de complexidade.....	33
Tabela 2 – Tempo gasto com o reprojeto por participante	62
Tabela 3 – Comparação das soluções propostas	72

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	13
1.1. CONTEXTO.....	13
1.2. OPORTUNIDADE.....	15
1.3. OBJETIVOS	15
1.3.1. Objetivo geral	15
1.3.2. Objetivos específicos.....	16
1.4. JUSTIFICATIVA	16
1.5. ABORDAGEM METODOLÓGICA	16
1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO	17
2. REPROJETO: CONTEXTO E CARACTERÍSTICAS	18
2.1. DEFINIÇÕES BÁSICAS	18
2.1.1. Componente.....	18
2.1.2. Sistema	18
2.1.3. Retrabalho.....	18
2.1.4. Alteração de projeto.....	19
2.1.5. Reprojeto.....	19
2.1.6. Reprojeto Pontual.....	19
2.2. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO	20
2.3. REUSO DE PROJETOS.....	24
2.3.1. FTA – <i>Fault Tree Analysis</i>	25
2.3.2. Propagação de Alterações.....	27
2.3.3. Reprojeto como forma de PDP	29
2.3.4. Reprojeto visando à resolução de conflitos.....	30
2.4. INDÚSTRIA DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS: CONTEXTO	30
2.4.1. Caracterização da demanda de reprojeto no âmbito da indústria agrícola	31
2.4.2. Caracterização do processo de reprojeto no âmbito da indústria agrícola	35
2.4.2.1. <i>Estudo de caso – Reprojeto do sistema de amortecimento</i>	35
2.5. CARACTERIZAÇÃO DA OPORTUNIDADE	38
3. MODELO PARA A UTILIZAÇÃO SISTEMÁTICA DO REPROJETO PONTUAL NO RAMO DA INDÚSTRIA DE BENS DE CAPITAL	40
3.1. APRESENTAÇÃO DO MODELO MUSRP.....	40
3.2. ETAPAS DO MUSRP	43
3.2.1. Listar as causas-raiz do reprojeto	44
3.2.2. Identificar o sistema responsável.....	46
3.2.3. Identificar as interfaces.....	47
3.2.4. Identificar as restrições.....	49
3.2.5. Avaliar a possibilidade de solução	50
3.2.6. Avaliar as interfaces	51

3.2.7. Reavaliação do sistema.....	51
3.3. DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL	52
4. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO MODELO.....	58
4.1. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO	58
4.1.1. Cenário do experimento	58
4.1.2. Perfil dos participantes	59
4.1.3. Execução da atividade.....	60
4.1.4. Parâmetros avaliados durante o experimento.....	61
4.2. RESULTADOS DO EXPERIMENTO	62
4.2.1. Participante PI1	63
4.2.2. Participante PI2	65
4.2.3. Participante PI3	67
4.2.4. Participante PI4	68
4.2.5. Participante PE.....	70
4.3. AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO	71
5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES.....	75
5.1. CONCLUSÕES	75
5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	76
REFERÊNCIAS.....	77
APÊNDICE A – QUESTIONÁRIO APLICADO AOS PARTICIPANTES DO EXPERIMENTO.....	79
APÊNDICE B – SLIDES APRESENTADOS AO GRUPO DE PI NO EXPERIMENTO	81

1. INTRODUÇÃO

1.1. CONTEXTO

Com o crescimento da população, diversas demandas não exploradas surgem. Cabe às empresas interessadas em expandir seus mercados aproveitar essas oportunidades e desenvolver produtos que preencham essas necessidades. Porém, devido aos recursos limitados das empresas, definir em quais produtos investir e quando fazê-lo, se torna uma decisão estratégica para a empresa. Boa parte do sucesso de uma empresa depende dessas decisões.

Para que sejam realizadas escolhas mais adequadas, é necessário o entendimento profundo do ciclo de vida dos produtos. O ciclo de vida do produto (como, por exemplo, o descrito por Pahl *et al.* na Figura 1) é o período entre a indicação de um novo requisito de mercado ou uma nova ideia e o final da vida útil de certo produto (PAHL *et al.*, 2007). O ciclo de vida do produto é dividido em fases que indicam focos de trabalho diferentes. São elas: i) Planejamento de produto; ii) Projeto e desenvolvimento; iii) Produção e montagem; iv) *Marketing* e vendas; v) Uso e manutenção; e vi) Reciclagem e disposição.

Durante o uso do produto, clientes percebem pontos de melhora no projeto que, em geral, resultam em um novo projeto ou em uma mudança no produto (ROZENFELD *et al.*, 2006). Esta interação com os clientes finais pode garantir a recolocação do produto no mercado, no caso de um projeto novo mais voltado às necessidades do usuário, ou garantir a aderência do produto atual no mercado com pequenas alterações que ajustem detalhes deixados de lado durante a fase de projeto, através de atividades de reprojeto.

Pelo termo reprojeto define-se: uma atividade inventiva baseada em um projeto conceitual de um produto já existente visando melhorar aspectos produtivos ou funcionais, em períodos de tempo inferiores ao projeto de produtos.

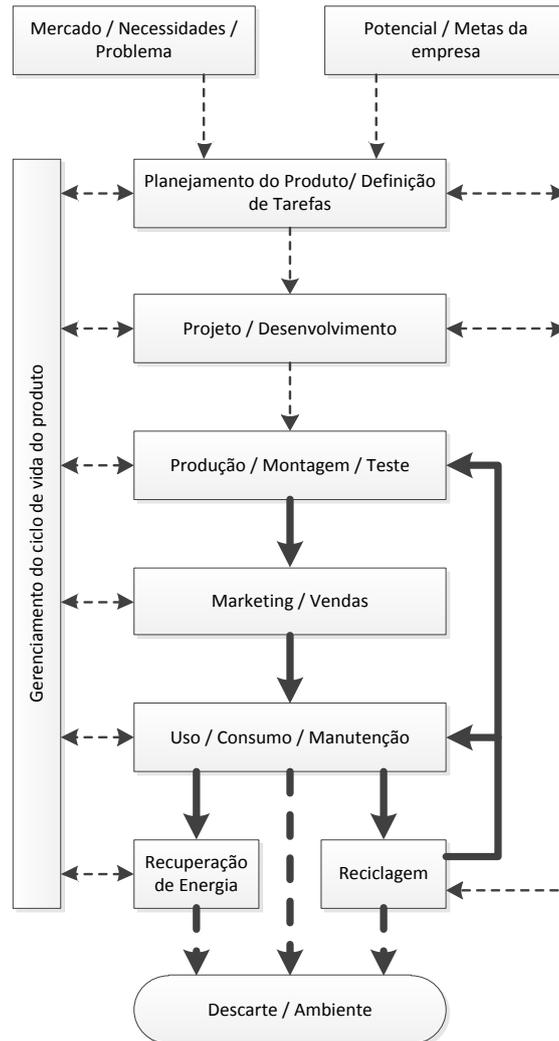


Figura 1 – Ciclo de vida de um produto
Fonte: Adaptado de (PAHL et al., 2007)¹

Dentro das possibilidades de reprojeto, destacam-se as seguintes ramificações (SMITH, SMITH e SHEN, 2012):

- a) Reprojeto para a resolução de conflitos;
- b) Reprojeto para redução de custo;
- c) Reprojeto para a adequação de família de produtos;
- d) Reprojeto para desenvolvimento de produtos.

Outra demanda de reprojeto é a atualização de projetos antigos, onde o desenvolvimento da tecnologia ao longo do tempo, pode permitir uma melhoria considerável do desempenho do produto ou de sua fabricação. Assim, é

¹ Todas as figuras, tabelas e quadros sem indicação explícita da fonte foram produzidos pelo autor do trabalho.

interessante reavaliar o projeto para incluir esta nova tecnologia tanto para reduzir ineficiências, como custo final de produção.

Além deste tipo de ramificação, pode-se dividir o reprojeto por nível de abrangência e tempo de execução. Enquanto um reprojeto de grande porte pode alterar uma porcentagem bastante expressiva dos componentes de um projeto e durar vários meses para a sua completa implementação, um reprojeto pontual, geralmente, tem um caráter mais urgente e visa à alteração do menor número possível de peças para que o motivo da modificação seja resolvido no mais curto prazo possível.

1.2. OPORTUNIDADE

Produtos industriais necessitam de intervenções de reprojeto durante o seu ciclo de vida seja por solicitações comerciais ou mesmo de caráter técnico. A prática evidencia que abordagens de tentativa e erro e *ad hoc* são as mais utilizadas. Além disso, as metodologias de projeto não se aplicam neste contexto de reprojeto devido a sua morosidade e excesso de etapas a serem vencidas. Por outro lado, o mercado exige respostas rápidas das empresas para que seus produtos, em desenvolvimento ou em uso, tenham melhor desempenho ao longo do tempo. Um bom exemplo é o segmento de máquinas agrícolas, um caso específico de produtos industriais, que apresenta um crescimento acentuado, e que realiza constantemente atividades de reprojeto devido ao seu modelo de negócios. Tendo em vista este contraste entre o que o mercado necessita e o que a academia proporciona, vê-se necessário formular um conjunto de diretrizes que formalizem, sistematizem e tornem mais ágil este processo.

1.3. OBJETIVOS

1.3.1. Objetivo geral

O objetivo do presente trabalho é desenvolver um conjunto de diretrizes para conduzir atividades de reprojeto pontual em produtos industriais.

1.3.2. Objetivos específicos

Para alcançar o objetivo principal deste trabalho necessita-se o cumprimento dos seguintes objetivos específicos:

- a) Definir formalmente o conceito de reprojeto pontual;
- b) Caracterizar a demanda por reprojeto pontual;
- c) Caracterizar os elementos que definem um reprojeto pontual;
- d) Definir o universo de atuação das atividades de reprojeto pontual.

1.4. JUSTIFICATIVA

Dentre os ganhos esperados com a proposta pretendida pode-se citar:

- a) A redução de tempo de reprojeto;
- b) A sistematização do processo, reduzindo a necessidade de experiência prévia do projetista;
- c) Redução de falhas de reprojeto.

1.5. ABORDAGEM METODOLÓGICA

Tendo em vista o caráter analítico do presente trabalho – no sentido de não entregar um protótipo físico que demande fabricação mecânica – a abordagem conduzirá as seguintes atividades:

- a) Pesquisa exploratória de referenciais teóricos;
- b) Levantamento de dados da indústria; e,
- c) Aproveitamento da experiência do autor do trabalho no ramo de reprojeto.

Essas atividades culminarão em uma análise crítica que será utilizada para o desenvolvimento de um modelo. Posteriormente, este será testado com um grupo de projetistas a fim de avaliar a sua efetividade em um cenário controlado.

1.6. ESTRUTURA DO TRABALHO

O presente trabalho é constituído de cinco capítulos. Neste primeiro capítulo, foram apresentadas as motivações e o que é esperado como produto desta pesquisa.

No segundo capítulo os referenciais teóricos são examinados e é caracterizada a demanda e as particularidades do reprojeto pontual na indústria de máquinas agrícolas.

É proposto no terceiro capítulo o Modelo de Utilização Sistemática do Reprojeto Pontual (MUSRP). São apresentadas as suas características e suas etapas. Uma ferramenta computacional que implementa este modelo é descrita no fim deste capítulo.

O capítulo quatro descreve a validação do MUSRP em um cenário controlado com projetistas. Com as conclusões acerca do trabalho desenvolvido, o capítulo cinco finaliza este trabalho.

2. REPROJETO: CONTEXTO E CARACTERÍSTICAS

Para melhor entender o processo de reprojeto, é necessário compreender onde ele está imerso, quais são suas fronteiras e como ele é utilizado. Este capítulo, além de abordar estes temas, irá discutir aspectos da indústria de equipamentos agrícolas, um setor que realiza muitas atividades de reprojeto.

2.1. DEFINIÇÕES BÁSICAS

Esta seção apresenta algumas definições básicas que serão utilizadas na continuidade do projeto. Optou-se pelo destaque destas definições visto que a literatura apresenta conceitos muito próximos, porém com nomenclaturas diferentes.

2.1.1. Componente

No contexto deste estudo, entende-se pelo termo “componente” uma entidade física presente em um produto que não pode ser dividida sem uma intervenção física permanente.

2.1.2. Sistema

Define-se por “sistema”, no neste trabalho, um ou mais componentes conectados por meio de uma ou mais interfaces que desempenham uma ou mais funções.

2.1.3. Retrabalho

Entende-se pelo termo “retrabalho”, no contexto deste estudo, toda e qualquer alteração realizada em um produto, podendo ter origem prática, sem formalização em projeto.

2.1.4. Alteração de projeto

O termo “alteração de projeto” é vinculado a todas as modificações no projeto do produto. A alteração de projeto pode acontecer durante e depois do desenvolvimento do produto.

2.1.5. Reprojeto

Classifica-se como “reprojeto” o processo que leva às alterações de projeto executadas após a primeira liberação do projeto pela equipe de desenvolvimento. Normalmente, envolve questões ligadas a alterações de características do projeto, interesses de logística, produção e ferramental já produzido.

2.1.6. Reprojeto Pontual

Diferencia-se do conceito do reprojeto pelo fato de estar contido em um sistema funcional do projeto. Lindemann (LINDEMANN, KLEEDORFER e GERST, 1998 apud; JARRATT *et al.*, 2010) diferenciam grandes alterações em projeto, ou seja, aquelas que ultrapassam as fronteiras do seu sistema original, daquelas que ficam contidas nele. Estas foram denominadas alterações locais e, neste trabalho, o processo que as gera será denominado de reprojeto pontual.

Aplicando este conceito em projetos modulares, uma intervenção de reprojeto pontual ficará limitada a um sistema do produto. Com isso, o processo é simplificado por ter seu escopo limitado às fronteiras do sistema. Sua complexidade e a região de atuação são reduzidas, permitindo que análises mais simplificadas sejam executadas. Este fato possibilita reduções de custo e tempo da intervenção, sem prejuízo à qualidade da solução.

2.2. PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

Muitas são as formas com as quais a academia tenta explicar o Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP). Rozenfeld *et al.* (2006) divide o processo em três macrofases (Figura 2), compostas por etapas e atividades, sendo elas: i) Pré-Desenvolvimento; ii) Desenvolvimento; iii) Pós-Desenvolvimento. A definição das etapas é dada pela entrega do conjunto de resultados das atividades a ela vinculada.

Durante o Pré-Desenvolvimento são executadas as fases de cunho mais gerencial: i) Planejamento Estratégico dos Produtos: responsável pela decisão dos produtos que serão produzidos por uma dada indústria com base na estratégia competitiva da corporação; e ii) Planejamento de Projeto: responsável pela elaboração do plano do projeto, documento que regerá as fases subsequentes de desenvolvimento do produto. A importância desta macrofase reside na ligação dos objetivos da empresa com os produtos que serão desenvolvidos por ela.

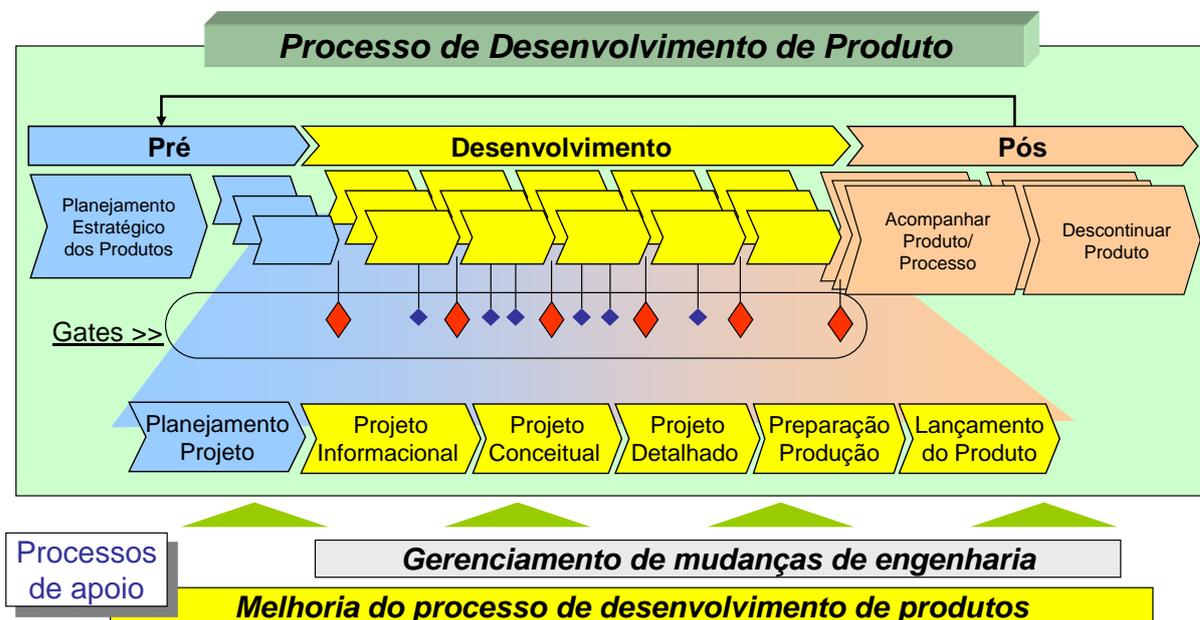


Figura 2 – Modelo unificado de PDP
Fonte: (ROZENFELD *et al.*, 2006)

Na macrofase de Desenvolvimento ocorre todo o detalhamento técnico do produto. Durante as fases, definem-se as especificações-meta do produto, a concepção das soluções a serem adotadas, são finalizadas as especificações do

produto, juntamente com todo o processo de validação e, finalmente, o início da produção com todos os passos do processo fabril já estabelecidos.

Após o lançamento do produto no mercado ainda existem atividades a serem realizadas. Elas estão contidas na macrofase de Pós-Desenvolvimento. Nela, são obtidas informações dos clientes acerca das dificuldades encontradas com o produto e, comumente, sugestões de alterações. Sugestões estas que podem ser incluídas no produto em produção, a fim de estender a sua vida útil, ou mesmo proporcionar uma operação melhor/mais segura pelo cliente final. Também, é de responsabilidade desta macrofase a determinação da descontinuação de produção do produto, bem como a forma com a qual será feito o descarte do produto após o fim de sua vida útil.

Ainda, para dar suporte a esse processo existem mecanismos de apoio que permeiam todo o ciclo de vida do produto. São eles que gerenciam as modificações de projeto durante o ciclo de vida e as melhorias contínuas no processo produtivo. Durante a descrição dos processos de apoio ao projeto, enfatiza-se a necessidade de gerenciar as mudanças de engenharia. Na Figura 3 são demonstradas as fases e atividades do processo proposto por estes processos de apoio.

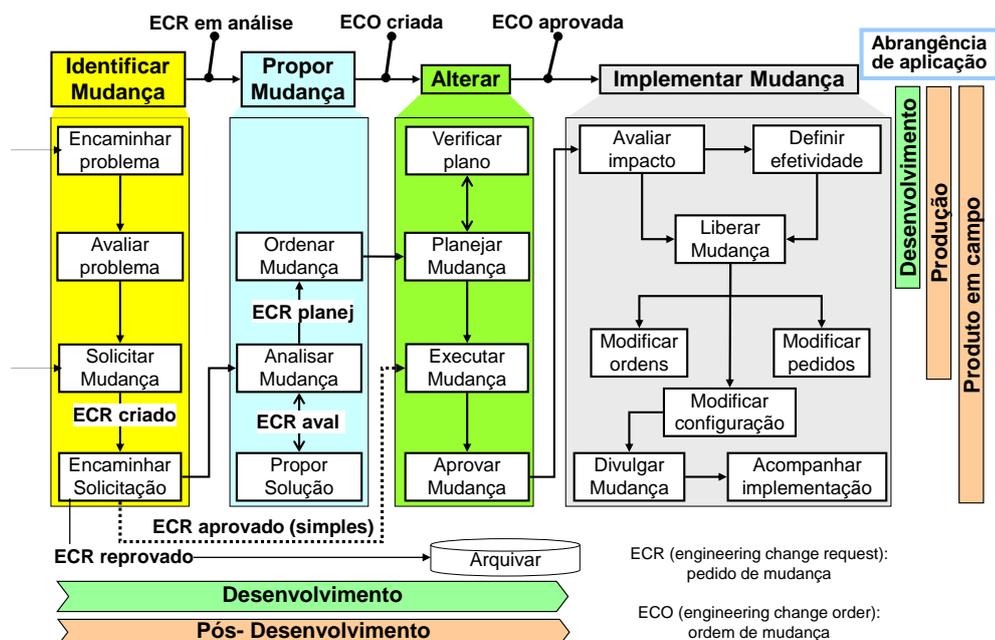


Figura 3 – Fases e atividades do processo de Gerenciamento de Mudanças de Engenharia
 Fonte: (ROZENFELD *et al.*, 2006)

Este processo é dividido em quatro fases. A primeira fase tem como objetivo identificar a mudança, podendo ser iniciada pelo encaminhamento de um problema ou mesmo uma possível solução. É seguida de uma avaliação para verificar a necessidade da mudança e propor uma solução, caso não tenha sido proposta na etapa anterior. Na terceira fase, são executadas as modificações nos documentos de projeto e, na última, as alterações são implantadas e divulgadas para todos os envolvidos no processo.

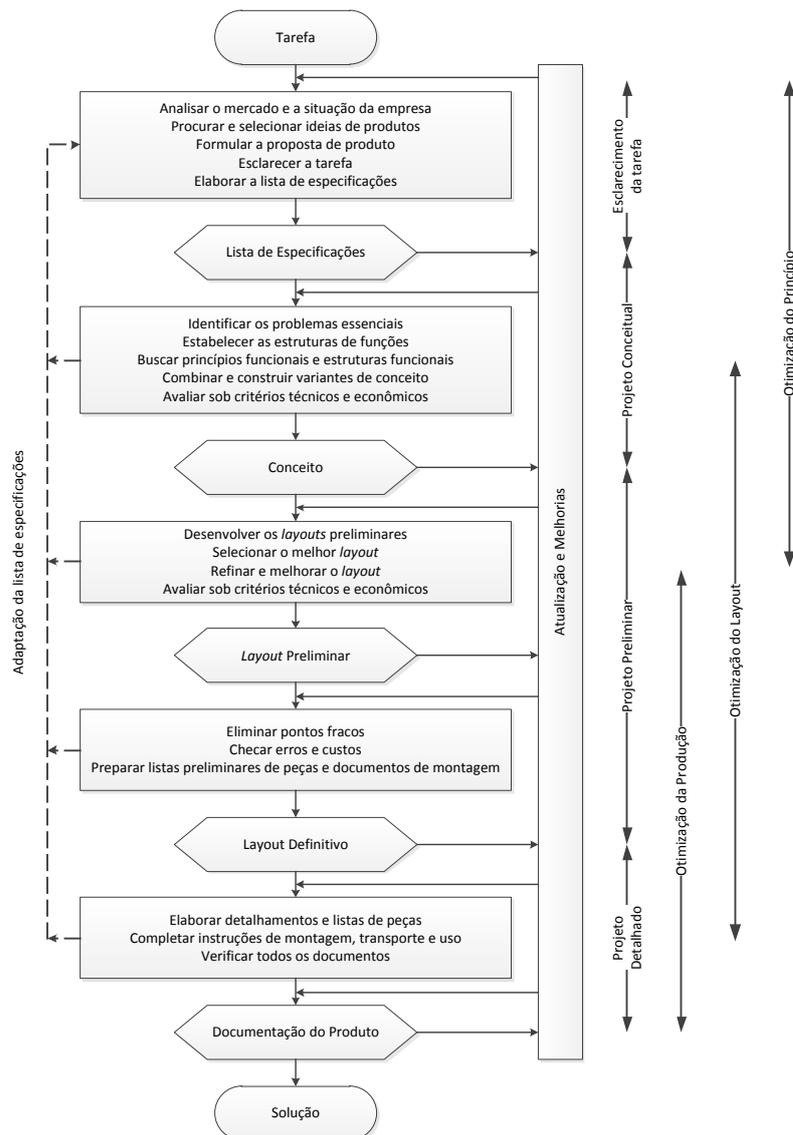


Figura 4 – Metodologia de Projeto de Produto
Fonte: Adaptado de (PAHL et al., 2007)

Segundo Pahl *et al.* (2007), a etapa de projeto é dividida em quatro fases (Figura 4), sendo elas: i) Planejamento e clarificação da tarefa; ii) Projeto conceitual; iii) Projeto preliminar; e iv) Projeto detalhado. É um modelo que valoriza bastante

todos os aspectos até o início da produção do produto. Percebe-se, no entanto, que é dada uma atenção menor aos processos posteriores.

Back *et al.* (2008), por sua vez, divide o PDP em três macrofases (Figura 5):

- a) Planejamento de projeto: visa o desenvolvimento de um plano de produto que coincida com as estratégias de negócio da empresa. Nesta macrofase é definido o escopo do projeto, os riscos do projeto são avaliados e o plano de projeto é elaborado. Este documento orientará a execução das fases posteriores até a implementação do produto;
- b) Elaboração do projeto de produto: compreende toda a elaboração do projeto de produto e manufatura. Durante esta macrofase são elaboradas a especificação de produto, a concepção do produto, a viabilidade técnica e econômica e a documentação do produto;
- c) implementação do lote piloto: compreende a preparação para a produção, o lançamento do produto e a validação do mesmo junto aos usuários onde são avaliados pontos de melhora e indicadas as ações corretivas para eventuais problemas identificados.

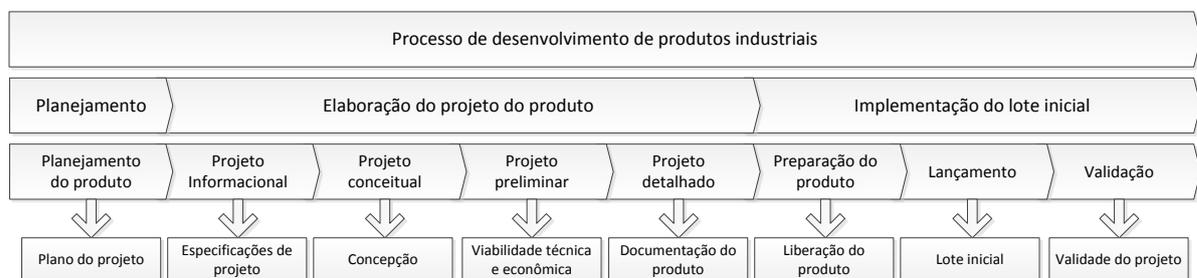


Figura 5 – Modelo de referência PRODIP
Fonte: Adaptado de (BACK *et al.*, 2008)

É possível notar que, embora haja diferenças entre as nomenclaturas, o projeto de produtos industriais segue o mesmo ordenamento nos três modelos apresentados. Com isso pode-se perceber que a base dos três modelos é a mesma.

As diferenças entre eles residem na extensão do modelo. Enquanto no modelo de Pahl *et al* (2007) é abordada apenas a parte de projeto de produto, o modelo de Back *et al* (2008) abrange questões de planejamento do produto e implementação do lote piloto. Rozenfeld *et al* (2006) vai além e endereça o planejamento estratégico da empresa, questões de descontinuação do produto e processos de apoio ao PDP.

Entre os modelos apresentados, somente o proposto por Rozenfeld *et al* (2006) descreve com detalhes a estrutura de um processo de gerenciamento de mudanças de engenharia. Porém, seu escopo não incluiu como projetar uma alteração de engenharia ou indica as diferenças práticas entre o projeto e alteração de projeto.

2.3. REUSO DE PROJETOS

Normalmente, a equipe de desenvolvimento utiliza seus conhecimentos prévios para a proposta de soluções para os desafios a ela delegados (WOGNUM e SMITH, 1996). Buscam casos semelhantes e adaptam aos novos requisitos desejados.

Este reuso do conhecimento pode ser dividido em duas grandes etapas: i) a busca por soluções semelhantes; e ii) a adaptação dessas soluções às novas características solicitadas, esta fase também chamada de reprojeção (ELDONK *et al.*, 1996).

O reprojeção vem sendo utilizado como ferramenta para a solução dos mais diversos tipos de problemas, desde a correção de erros de projetos depois de lançados no mercado até a utilização para a criação de produtos inovadores (SMITH, SMITH e SHEN, 2012). Além destes fatores, a redução de número de componentes, a melhoria relativa a esforços e custos de montagem e a eliminação de redundâncias, apresentam-se como fatores iniciadores do processo de reprojeção (HASHIM, JUSTER e PENNINGTON, 1994).

Os fatores de iniciação de reprojetos podem ser divididos em dois grupos (Figura 6): mudanças emergentes e mudanças iniciadas (ECKERT, CLARKSON e ZANKER, 2004). O primeiro grupo diz respeito a problemas ocorridos por fatores internos ao projeto. Nele, se encaixam os problemas encontrados durante o próprio projeto, durante os testes, a fabricação do protótipo, a manufatura do produto ou mesmo advindos do uso do produto. O segundo grupo contém os fatores iniciados pelo meio externo ao projeto, como por exemplo a alteração de algum requisito de projeto pelo cliente ou o surgimento de uma nova tecnologia que impacte diretamente no resultado do produto.

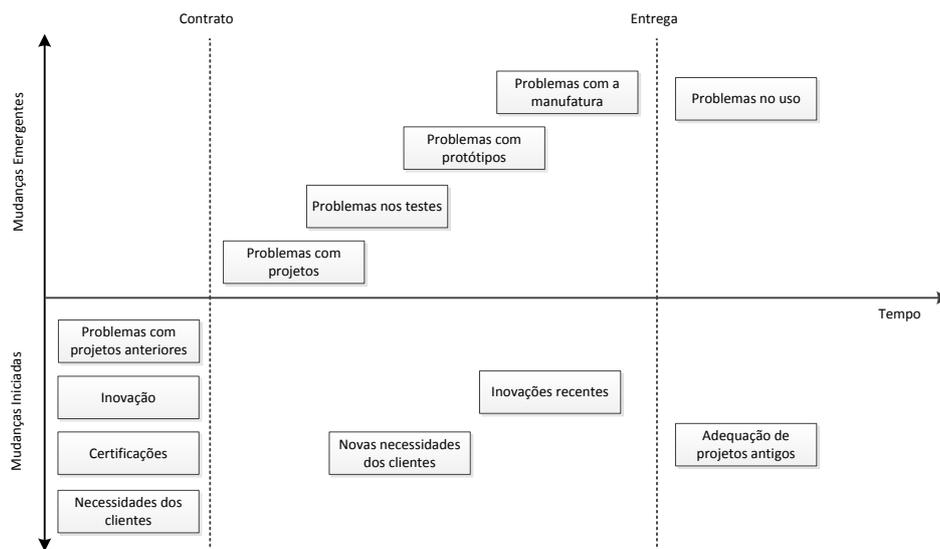


Figura 6 – Fontes de alterações durante o ciclo de vida do produto
Fonte: Adaptado de (ECKERT, CLARKSON e ZANKER, 2004)

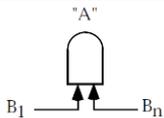
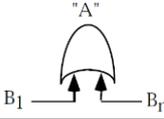
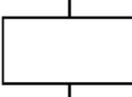
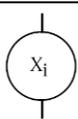
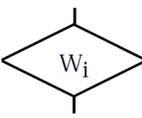
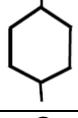
A academia não apresenta ferramentas que supram o processo de reprojeto na sua completude, como comentado na seção 1.2. Jarratt *et al* (2010) fazem uma extensa revisão sobre diversos aspectos do processo de reprojeto e suas ferramentas. Porém, destacam que ainda há muito a ser feito nesta área. As ferramentas propostas pela literatura ainda carecem de testes mais conclusivos e desenvolvimento adicional. Já que a maioria ainda se apresenta computacionalmente limitada ou dependente de conjuntos de informação demasiadamente grandes.

Embora ressaltem a importância, estes modelos não abordam, de forma detalhada, como identificar as causas-raiz de um problema. Este procedimento tem grande influência na execução de reprojeto que visam à solução de problemas, como será abordado na seção 2.3.4. Assim, para suprir esta lacuna, será apresentado na próxima seção o método Análise da Árvore de falhas, ou *Fault Tree Analysis* (FTA).

2.3.1. FTA – *Fault Tree Analysis*

É um método empregado para a construção de diagramas de blocos que determinam, de maneira lógica, o relacionamento de eventos que, quando combinados, causam um efeito indesejado (MIL-HDBK-338B, 1998). É

particularmente útil em conjuntos complexos onde as relações entre os eventos causadores de uma falha não são claras. Consiste na criação de um diagrama contendo eventos e conectores que expressam a dependência dos eventos base com o evento em análise. O conjunto de símbolos comumente utilizados para a formação na árvore de falhas está exposto no Quadro 1.

Símbolo	Significado
	Porta E: o evento A somente será verdadeiro se B_1, B_2, \dots, B_n forem verdadeiros simultaneamente.
	Porta OU: o evento A será verdadeiro se ao menos um dos eventos B_1, B_2, \dots, B_n for verdadeiro.
	Evento: evento composto pela concatenação de outros eventos e eventos base pelo uso de portas lógicas.
	Evento base: evento inicial da árvore de falhas. Possui um valor de taxa de falhas associado.
	Evento não desenvolvido devido à falta de informações ou à pouca influência para o evento em análise
	Conexão com ramificação externa.
	Porta Inibidora: retornará verdadeiro se as condições conectadas a ela forem simultaneamente verdadeiras.

Quadro 1 – Símbolos comumente utilizados na FTA

Fonte: Adaptado de (MIL-HDBK-338B, 1998)

Seu uso é comum em setores onde a confiabilidade dos sistemas é um fator primordial para o sucesso do projeto. Dentre estes setores, destacam-se o setor aeroespacial, o de energia nuclear e o militar (STAMATELATOS *et al.*, 2002).

Como resultado da aplicação do FTA é possível identificar caminhos críticos de falha bem como vulnerabilidades no projeto possibilitando ações corretivas. Seu uso também pode ser direcionado para a avaliação entre soluções no que se diz respeito a confiabilidade de sistemas.

Para realizar a FTA devem-se empregar os cinco passos seguintes (MIL-HDBK-338B, 1998):

- a) Desenvolver o diagrama de blocos de confiabilidade descrevendo as relações entre as funções do produto com o modo de falha crítico que visa ser contornado ou eliminado;
- b) Construir a árvore de falhas relatando todas as possíveis sequências que possam vir a produzir os eventos indesejados descritos no item “a”;
- c) Desenvolver o modelo de probabilidade de falha para computar a probabilidade de o evento crítico ocorrer com base nos modos de falha e nos relacionamentos binários identificados na árvore de falhas;
- d) Quantificar e computar a probabilidade de falha dos eventos indicados na árvore de falha, definindo uma probabilidade para a ocorrência do efeito indesejado, que deve ser condizente com os requisitos de projeto;
- e) Avaliação dos caminhos críticos tomando como base os eventos que mais contribuem para a ocorrência do evento indesejado.

Outro ponto que influencia a duração, a extensão do reprojeto e, por consequência, o tempo dispendido é a propagação de alterações, que será caracterizada na próxima seção.

2.3.2. Propagação de Alterações

Devido às complexas interações que os componentes e os sistemas têm entre si, a alteração de projeto raramente é um processo linear e previsível. Boa parte das dificuldades que residem neste processo é devida à propagação de alterações. Projetistas comentam que em uma alteração são esperadas ao menos quatro outras alterações iniciadas pela primeira (ECKERT, CLARKSON e ZANKER, 2004).

Uma alteração somente se propaga para outras peças através das conexões entre as peças (ECKERT *et al.*, 2006). As conexões entre as peças são constituídas de relações entre os parâmetros de ligação como demonstrado na Figura 7. Nela, é demonstrada a conexão entre um motor, rolamentos e uma caixa de câmbio. A conexão entre o motor e os rolamentos é formada pelos parâmetros de ligação “Potência”, “Geometria” e “Vibrações Mecânicas”. Isso significa que ao realizar alguma alteração neste motor, os únicos parâmetros que influirão

diretamente no restante do sistema serão os três parâmetros citados acima e eles afetarão diretamente apenas nos rolamentos.

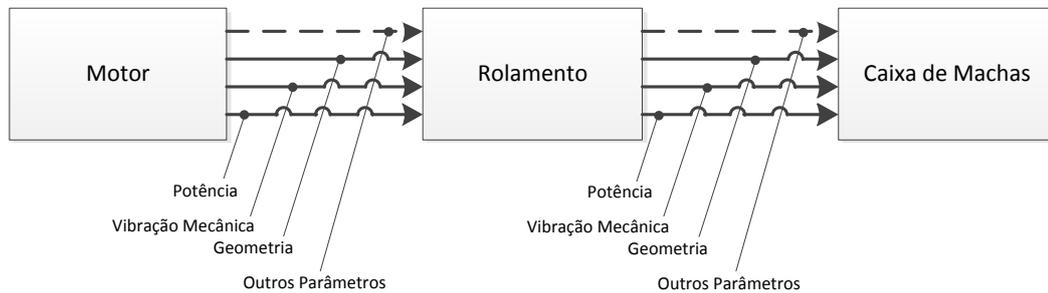


Figura 7 – Exemplo de parâmetros de ligação
Fonte: Adaptado de (ECKERT, CLARKSON e ZANKER, 2004)

No caso de uma alteração hipotética do parâmetro “Geometria” do motor, esta impactará na propagação de alterações para o rolamento. Este, durante a alteração, poderá ser classificado de acordo com o seu comportamento de propagação e absorção de mudanças entre quatro categorias: “Constante”, “Transportador”, “Absorvedor” ou “Multiplicador” (Figura 8).

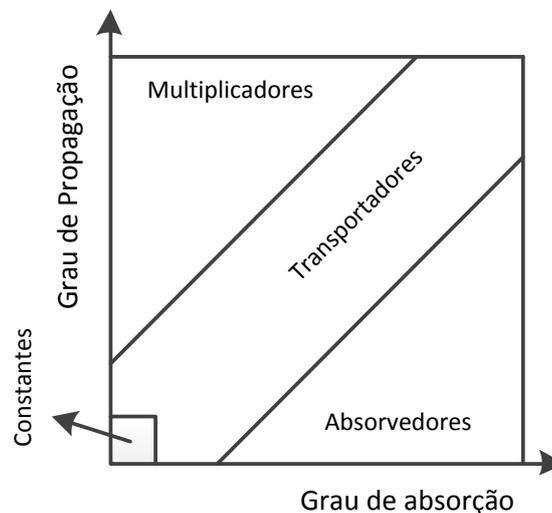


Figura 8 – Comportamento de absorção/propagação de sistemas
Fonte: Adaptado de (ECKERT, CLARKSON e ZANKER, 2004)

Um componente dito “Constante” é aquele que não é alterado pela mudança iniciadora. Isso pode significar que os parâmetros alterados na mudança não afetam o seu funcionamento, tanto por não ser sensível a esse tipo de mudança ou pela alteração estar dentro da sua faixa normal de operação.

Outro tipo de componente que não altera a complexidade da alteração é o “Transportador”. Neste tipo de componente, o mesmo número de alterações

absorvidas são transmitidas para as mudanças posteriores. Cabe ressaltar que, embora o número de alterações transmitidas seja o mesmo das absorvidas, houve alteração no componente, diferindo, desta forma, de um componente “Constante”.

Os componentes “Absorvedores”, por sua vez, diminuem a complexidade das alterações subsequentes, podendo até mesmo evitá-las. Isso é devido ao fato deles gerarem menos alterações do que as que eles conseguem acomodar.

Por outro lado, os componentes “Multiplicadores” geram um número maior de alterações do que as que conseguem absorver. Estão, geralmente, presentes em sistemas altamente interligados. Modificações neste tipo de componente devem ser evitadas, visto que aumentam a complexidade da alteração e o esforço empregado.

2.3.3. Reprojeto como forma de PDP

O reprojeto tem uma grande atuação quando este é empregado como parte do PDP. Normalmente, quando se inicia um novo projeto, soluções semelhantes já estão presentes no mercado ou na literatura (LI *et al.*, 2006), bastando a adaptação dos parâmetros iniciais para a adequação as novas características de projeto, estruturando assim um processo de reprojeto.

Dentre as vantagens do uso do reprojeto como parte do PDP, a redução de tempo das atividades e, conseqüentemente, o custo de desenvolvimento, são sem dúvida as mais expressivas. Como são utilizados conceitos já testados e tecnologias já conhecidas, reduz-se a necessidade de teste com protótipos funcionais e o esforço criativo por parte da equipe de desenvolvimento é reduzido de forma considerável. Além disso, a utilização de componentes, ou mesmo ferramentais, já desenvolvidos pela empresa no produto final é facilitada já que, na maioria das vezes, não ocorrem mudanças drásticas na estrutura do produto final reprojeto.

Porém, como aspecto negativo dessa prática, o conjunto de soluções possíveis ao qual a equipe de projeto fica concentrada é restrito (SMITH, SMITH e SHEN, 2012). Desta forma, dificulta a proposição de soluções inovadoras que agregariam mais valor ao produto final.

2.3.4. Reprojeto visando à resolução de conflitos

Pode-se caracterizar o reprojeto visando à resolução de conflitos como aquele no qual já se tem definida a estrutura funcional do conjunto e, por fatores externos, um conjunto de componentes deve ser alterado sem comprometer a função global do produto.

A resolução de conflitos é o uso mais comum para o reprojeto (SMITH, SMITH e SHEN, 2012). Após a inserção de um produto no mercado, ocasionalmente, percebe-se que alguma função não atende alguma necessidade que os clientes desejam. Neste caso, pequenas alterações são necessárias para garantir a satisfação do cliente e, por consequência, o sucesso do projeto como um todo.

Há outro cenário que também direciona para pequenas alterações de projeto, com o viés de resolução de conflitos: problemas com o fornecimento de componentes críticos. A equipe de desenvolvimento deve adaptar o produto atual para que componentes semelhantes, mais facilmente encontrados no mercado, possam implementar as mesmas funções do componente faltante. A ação da equipe de desenvolvimento deve ser rápida a fim de evitar atrasos na produção e maiores perdas.

Estes cenários de pequenas alterações em projetos, visando à resolução de conflitos, são comuns na indústria de maquinário agrícola. Este segmento, bastante dinâmico da indústria, apresenta diversas demandas de alterações em projetos devido à sua proximidade com o cliente final. Porém, assim como os outros segmentos da indústria, não apresenta procedimentos bem definidos de como agir com este tipo de demanda.

2.4. INDÚSTRIA DE MÁQUINAS AGRÍCOLAS: CONTEXTO

Observando a indústria de máquinas agrícolas, percebem-se características que a distingue de outras empresas de bens de capital. Nela, o processo de desenvolvimento de produtos ocorre na sua totalidade e não, como por exemplo, em boa parte das indústrias automobilísticas, que importam o projeto de suas matrizes no exterior e fazem um trabalho de adequação ao mercado interno.

Começa no contato com o cliente e análise de mercado para identificar novas oportunidades, passando por todas as etapas de projeto, entregando uma especificação detalhada de produto para a produção de protótipos e o conjunto de instruções de processos para a área de manufatura iniciar o processo de produção seriada. As empresas deste nicho de atuação empregam, com maestria, diversas ferramentas que auxiliam o PDP.

Cabe ressaltar que o sucesso de produto final, principalmente nesta área, é diretamente vinculado ao *downtime* que este apresenta durante a sua operação. Outro fato que aumenta a criticidade deste tipo de produto é a produção ser relativamente baixa, quando comparado com outras indústrias como, por exemplo, a automobilística. Assim, quando ocorre alguma espécie de falha, salvo algumas exceções, estas são localizadas e, geralmente, são desconhecidas da equipe de desenvolvimento.

Desta forma, quando uma requisição é enviada à equipe de desenvolvimento, esta tem por papel entregar uma solução para o cliente em muito pouco tempo, já que uma máquina agrícola parada por defeito, representa altos custos, compostos, dentre outros, por horas do operador ocioso e despesas por perdas na produtividade da área plantada. Para cumprir os curtos prazos, estratégias específicas para cada projeto são utilizadas, com sua efetividade intimamente ligada à experiência da equipe.

2.4.1. Caracterização da demanda de reprojeto no âmbito da indústria agrícola

Para compreender a importância do processo de reprojeto em uma equipe de engenharia, será avaliado o cadastro de projetos do ano 2011 de uma linha de produtos de uma empresa de maquinário agrícola, instalada na região metropolitana de Curitiba. O cadastro de projetos registra a maioria das atividades da equipe de engenharia, excluindo apenas os atendimentos relativos a dúvidas de projetos para os outros setores. Portanto, este registro representa uma fotografia do esforço direcionado às atividades de projeto e reprojeto por uma equipe em um determinado período de tempo. Excluiu-se desta análise, também, os projetos de

produtos novos, para que o foco fique voltado aos reprojetos ocorridos no ano de 2011.

Para poder diferenciar os diversos tipos de reprojetos efetuados é utilizado o conceito de grau de complexidade. Grau de complexidade, neste trabalho, é entendido como uma medida subjetiva dos conhecimentos necessários para que seja possível solucionar o problema encontrado. Portanto, um reprojeto com grau de complexidade alto tende a ser direcionado para equipes mais experientes e mais familiarizadas com o projeto.

Por outro lado, reprojetos com grau de complexidade baixo têm sua execução efetuada por equipes menos experientes e, geralmente, de forma bastante acelerada. Por serem atividades relativamente simples, dificilmente agregam funcionalidades novas ao produto, sendo voltadas, principalmente, para pequenas correções no projeto, identificadas no processo fabril ou pelo cliente final.

A Figura 9 demonstra a distribuição de reprojetos de acordo com o grau de complexidade. Nela, identifica-se que, em números, a quantidade de atividades de baixa complexidade é expressivamente maior do que as outras atividades. Este fato demonstra que o esforço empregado neste tipo de atividade é representativo perante as outras atividades da equipe.

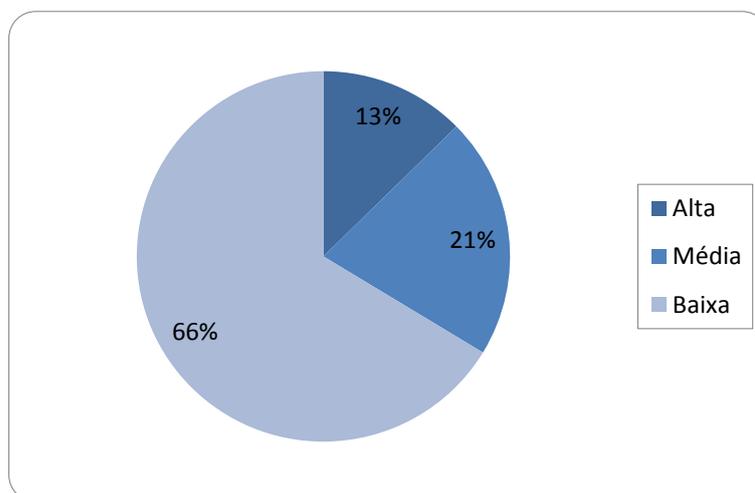


Figura 9 – Porcentagem dos projetos por grau de complexidade

A Figura 10 relaciona o número de dias trabalhados pela equipe com o grau de complexidade do projeto. Unindo-as com os dados dispostos na

Tabela 1, é possível perceber que, mesmo com uma média de dias trabalhados menor do que os reprojetos com complexidade maior, a quantidade de

dias trabalhados em reprojeto de baixa complexidade afeta quase metade do esforço de trabalho de uma equipe voltada a reprojeto.

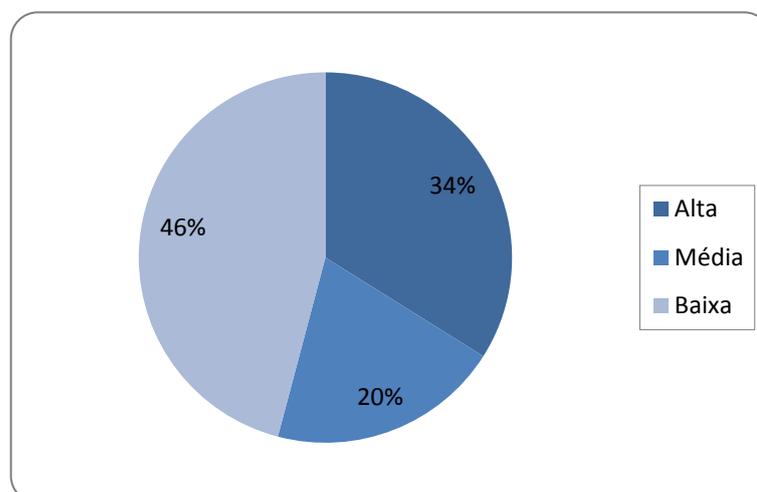


Figura 10 – Porcentagem dos dias trabalhados por grau de complexidade do projeto

Tabela 1 – Média de dias de trabalho por reprojeto por grau de complexidade

Grau de complexidade do reprojeto	Média de dias de trabalho por projeto
Alta	66,5
Média	23,7
Baixa	17,1

Para compreender as origens dos reprojeto, estes foram divididos em cinco fatores iniciadores, sendo eles:

- a) Campo: projetos decorrentes de falhas do produto. São, geralmente, iniciados por requisição da assistência técnica ou pelos próprios clientes que possuem contato com a equipe de engenharia;
- b) Produção: são originados por dificuldades de montagem ou melhorias no aspecto logístico. Geralmente, são iniciados pelo setor produtivo da empresa;
- c) Qualidade: decorrem de não conformidades encontradas pela auditoria do produto que diz respeito a falhas de projeto ou especificações inconsistentes;
- d) Fornecimento: ocorrem quando fornecedores-chave não conseguem mais atender a demanda de algum componente utilizado na linha. Consistem em adequações a novos padrões;
- e) Custo: ações originadas com o intuito de redução do custo do produto.

A Figura 11 mostra a distribuição da quantidade de reprojeto pelo fator iniciador e pelo grau de complexidade. Nela, pode-se notar que a grande maioria

dos reprojeto origina-se pelo campo e pela produção. Devido ao grande número de reprojeto voltados ao campo e a produção, menos tempo está disponível para a equipe reduzir os custos do produto ou mesmo buscar inovações e tecnologias que agreguem valor ao produto.

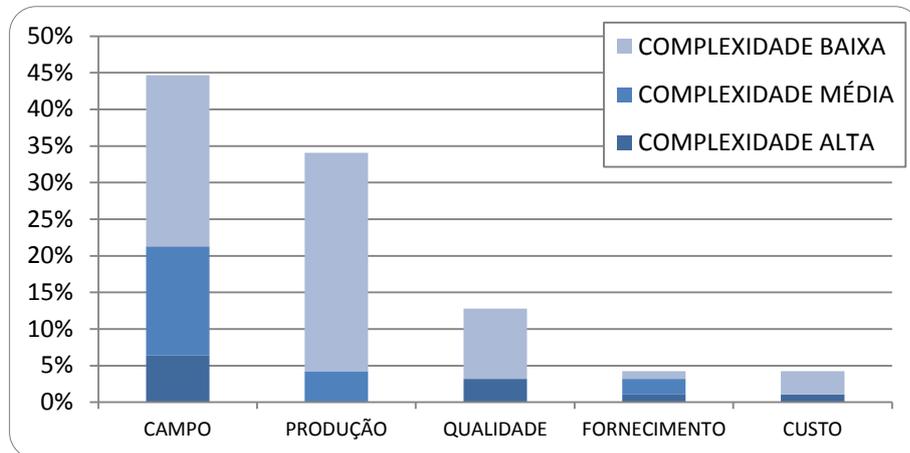


Figura 11 – Divisão dos projetos por Fator Iniciador e Grau de Complexidade

Selecionando apenas os reprojeto com grau de complexidade baixo e avaliando seus fatores iniciadores obtém-se o gráfico mostrado na Figura 12. Nele, percebe-se que a grande maioria destes reprojeto é originada pelos fatores Produção e Campo. Este fato mostra que os detalhes que passam despercebidos pelas etapas de validação do produto, impactam no trabalho posterior da equipe e na qualidade do projeto.

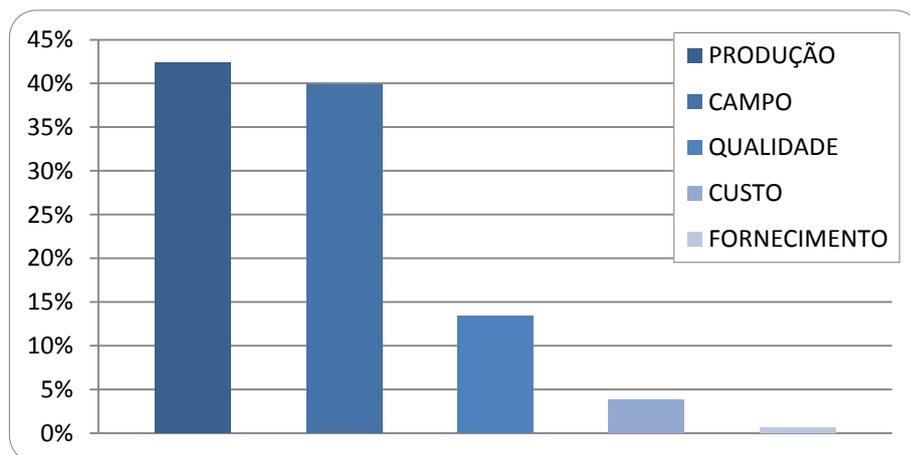


Figura 12 – Divisão dos projetos com grau de complexidade baixo por fator iniciador

2.4.2. Caracterização do processo de reprojeção no âmbito da indústria agrícola

Para melhor entender o processo de reprojeção na indústria agrícola, será apresentado o processo de reprojeção vivenciado na mesma empresa cuja demanda de reprojetos foi descrita na seção 2.4.1.

As atividades de reprojeção são recebidas pela equipe de engenharia por meio de um cadastro de ocorrências, onde diversos setores podem solicitar alterações em produtos. A seleção das atividades semanais é feita pelos gerentes de engenharia em conjunto com os engenheiros de produto e leva em conta a urgência dessas ocorrências cadastradas. As atividades selecionadas são desenvolvidas em cada linha de produto pelos engenheiros e projetistas.

Assim que uma atividade de reprojeção é direcionada para um projetista, ele usa as informações recebidas para identificar, de forma intuitiva, qual a causa do reprojeção. Utilizando sua experiência, cria uma solução buscando solucionar o cenário descrito e a encaminha para o engenheiro da plataforma. Este engenheiro tem o papel de avaliar e revisar a solução do projetista. Este, percebendo qualquer incompatibilidade com o produto ou com a estrutura da empresa, solicita alterações para adequar o reprojeção às necessidades. Esta interação entre o engenheiro de plataforma e o projetista pode ser repetida diversas vezes, aumentando o tempo de resposta à solicitação.

Com a solução aprovada pelo engenheiro da plataforma, esta é encaminhada ao setor de protótipos para uma avaliação física. Depois de validados os testes em campo, um comitê de alterações de engenharia que decidirá os aspectos logísticos da implantação.

Como exemplo da interação entre o engenheiro da plataforma e o projetista, um estudo de caso será apresentado a seguir.

2.4.2.1. Estudo de caso – Reprojeção do sistema de amortecimento

Após o projeto das lanças de pulverização de 30 metros, um protótipo foi construído e enviado para um cliente. Com o uso da máquina em condições bastante severas, diversos componentes falharam em serviço.

As informações de falhas foram enviadas à equipe de desenvolvimento e um projetista foi designado para solucionar as seguintes falhas destacadas na Figura 13:

- a) Ruptura do pino de fixação do cilindro hidráulico de abertura das barras;
- b) Ruptura da haste do cilindro hidráulico de abertura das barras;
- c) Trincas nas soldas da estrutura do quadro móvel;



Figura 13 - Regiões de falha

Para tal, foi buscada a causa-raiz destes problemas. Os principais carregamentos desta região da máquina são originados pela inércia das barras de pulverização durante a aplicação de defensivos. Observou-se que o sistema que tem por objetivo amortecer estas cargas não estava desempenhando sua função a

contendo. Este sistema implementa a função, integrando um circuito hidráulico com um acumulador e um sistema massa-mola.

Uma tentativa de amenizar o problema, aumentando o número de espiras da mola e a capacidade do acumulador hidráulico, foi proposta. Após detalhar todos os itens modificados, o projeto foi enviado para a avaliação do engenheiro, que atuava como revisor. Ele percebeu que o tempo de resposta do subsistema hidráulico era bastante superior ao subsistema massa-mola. Desta forma, o projeto foi reprovado.

O projetista, então, sabendo da diferença dos tempos de resposta, decidiu eliminar o subsistema hidráulico e desenvolver um mecanismo que possibilitasse o uso de molas para o amortecimento, em ambos os sentidos do movimento. A solução proposta está representada na Figura 14.



Figura 14 - Proposta de solução apresentada

Uma restrição identificada pelo projetista foi a interface geométrica do sistema. Era necessário manter as mesmas formas de fixação deste mecanismo com o restante da máquina. Esta solução foi aprovada pelo engenheiro e implantada

na máquina protótipo, com resultados muito positivos. Após uma validação de três meses, esta solução foi estendida a toda a linha de produtos.

Neste estudo de caso, é possível identificar que a diferença de informações entre a equipe de projetistas e a de revisores desempenha um fator prejudicial ao tempo de reprojeção. Se o projetista, neste caso, soubesse dessa limitação entre os tempos de resposta dos sistemas, provavelmente, a primeira solução não seria proposta e menos tempo seria dispendido nesta atividade.

Nota-se, também, que a busca da causa-raiz foi executada pelo projetista e trouxe um foco para a atividade de reprojeção. Ao invés de aumentar a resistência de cada item em separado, um único sistema foi alterado, eliminando a causa-raiz e não amenizando seus efeitos. Cabe ressaltar que, o emprego de técnicas de exploração de causas-raiz é decorrente da experiência do projetista e varia de projeto para projeto.

2.5. CARACTERIZAÇÃO DA OPORTUNIDADE

Percebe-se que, durante o desenvolvimento de produtos, muitas ferramentas estão disponíveis à equipe de desenvolvimento. Porém, o cenário se modifica quando se tem atividades de reprojeção, mais especificamente reprojetos que visam à resolução de conflitos. A literatura no assunto é escassa. Não há sistematização dos passos a serem seguidos e abordagens que acompanhem e auxiliem a equipe de desenvolvimento são definidas no modo *ad hoc*.

Cenários onde soluções de engenharia não podem demorar longos períodos de tempo para que atinjam o consumidor final estão ficando pouco a pouco mais comuns. Um exemplo disso foi a ação rápida que a Volkswagen do Brasil empreendeu com o caso do mecanismo de rebatimento do banco traseiro do modelo Fox. Este mecanismo apresentava uma falha de projeto que expunha o cliente final a uma situação de risco (VOLKSWAGEN DO BRASIL, 2010). Logo, uma solução rápida foi necessária a fim de evitar mais acidentes.

Isto posto, vê-se necessário o desenvolvimento de uma abordagem que supra as necessidades de reprojeção visando à resolução de conflitos a fim de sistematizar o processo, aumentar a sua efetividade e reduzir o número de atividades.

Utilizando a revisão da teoria apresentada, os dados práticos trazidos de uma equipe de desenvolvimento e a experiência do autor deste trabalho, será proposto, no próximo capítulo, um modelo para preencher a lacuna identificada.

3. MODELO PARA A UTILIZAÇÃO SISTEMÁTICA DO REPROJETO PONTUAL NO RAMO DA INDÚSTRIA DE BENS DE CAPITAL

A partir da observação do fluxo de informações entre projetistas e engenheiros mais experientes e projetistas iniciantes foi possível identificar que certas rotinas se repetiam com determinada frequência. A maioria das intervenções dos revisores nos projetos de projetistas com pouca experiência se dava pela não consideração de restrições implícitas ao uso do produto ou a seu processo fabril.

Outro ponto que resultava no comprometimento da efetividade do reprojeto, durante a observação, foi não identificar a causa-raiz da solicitação da alteração. Este ponto é muito crítico, já que, como revisor do projeto, este geralmente não tem o conhecimento total do produto (ECKERT *et al.*, 2006). Logo, alterações que não tratam a causa-raiz e apenas minimizam um de seus efeitos, tornam-se potencialmente frequentes à medida que a equipe de desenvolvimento cresce e o conhecimento sobre o produto é dividido entre os membros da equipe.

De forma a aperfeiçoar a eficiência da equipe, as intervenções sobre o produto corrente são tratadas de modo a serem realizadas da maneira mais rápida possível e com o menor custo. Assim, minimizar a extensão e a influência dessa intervenção durante a sua execução e implantação aparece como um caminho óbvio. Porém, sem avaliar todas as causas-raiz do problema, a possibilidade de não considerar a solução ótima durante a exploração do espaço de soluções torna-se grande.

3.1. APRESENTAÇÃO DO MODELO MUSRP

O Modelo para a Utilização Sistemática do Reprojeto Pontual (MUSRP), proposto neste capítulo, pretende suprir as lacunas já descritas. Seu desenvolvimento foi baseado no acompanhamento de diversas atividades de reprojeto em uma indústria de bens de capital localizada na região metropolitana de Curitiba, sempre apoiado em referenciais teóricos consistentes.

Envolve uma sequência de ações e uma série de questionamentos direcionados ao projetista durante as fases iniciais e finais do reprojeto. Sua implementação é feita por meio de uma ferramenta baseada no *software* Microsoft

Excel. Seu posicionamento no início da atividade de reprojeção tem por objetivo concentrar os esforços do projetista em identificar a causa raiz do problema que iniciou a atividade de reprojeção e nas restrições presentes na estrutura do produto e relativa à empresa. No final da atividade, é realizada uma avaliação das escolhas feitas a fim de garantir a compatibilidade do reprojeção com o produto, reduzindo o risco da propagação de efeitos indesejados oriundos da alteração.

A sequência de atividades e questionamentos que formam este modelo, juntamente com as ferramentas propostas, está graficamente representada na Figura 15. Suas ações serão detalhadamente descritas na seção 3.2. Em vias gerais, este modelo executa as seguintes ações:

- a) Determinar as causas raiz do fator gerador do reprojeção;
- b) Identificar os limites de atuação das alterações no produto;
- c) Identificar as restrições impostas pela estrutura da empresa;
- d) Avaliar a possibilidade de implantar a modificação proposta.

Desta forma, pretende-se sistematizar o processo de reprojeções de baixo grau de complexidade de produtos industriais reduzindo a necessidade de experiência prévia do projetista, porém, sem prejudicar o resultado do reprojeção.

O foco na busca de um reprojeção pontual reside no fato de que mudanças são transmitidas através das conexões entre as peças (ECKERT *et al.*, 2006). Partindo-se de que em um reprojeção pontual, as interfaces do sistema não serão modificadas, garante-se que a alteração não se propagará pelo restante do produto. Com isso, reduz-se a necessidade de verificações e testes nos sistemas vizinhos em busca de variações funcionais, de durabilidade ou segurança.

Recuperando a Figura 3, que descreve o processo de gerenciamento de alterações de engenharia segundo Rozenfeld *et al.* (2006), nota-se que a etapa que o projetista tem contato com o projeto é a “Executar Mudança” dentro da fase “Alterar”. O presente modelo tem como objetivo auxiliar o projetista iniciante durante essa etapa, de forma que este tenha acesso ao conhecimento anterior de projetos já desenvolvido pela equipe de desenvolvimento da empresa (Figura 16).

Cabe ressaltar que este modelo não endereça questões relacionadas à preparação de documentos e o compartilhamento de informações com o restante da empresa. Assim, aspectos relacionados com preparação de desenhos e sistemas de gerenciamento de dados do produto não serão tratadas neste estudo.

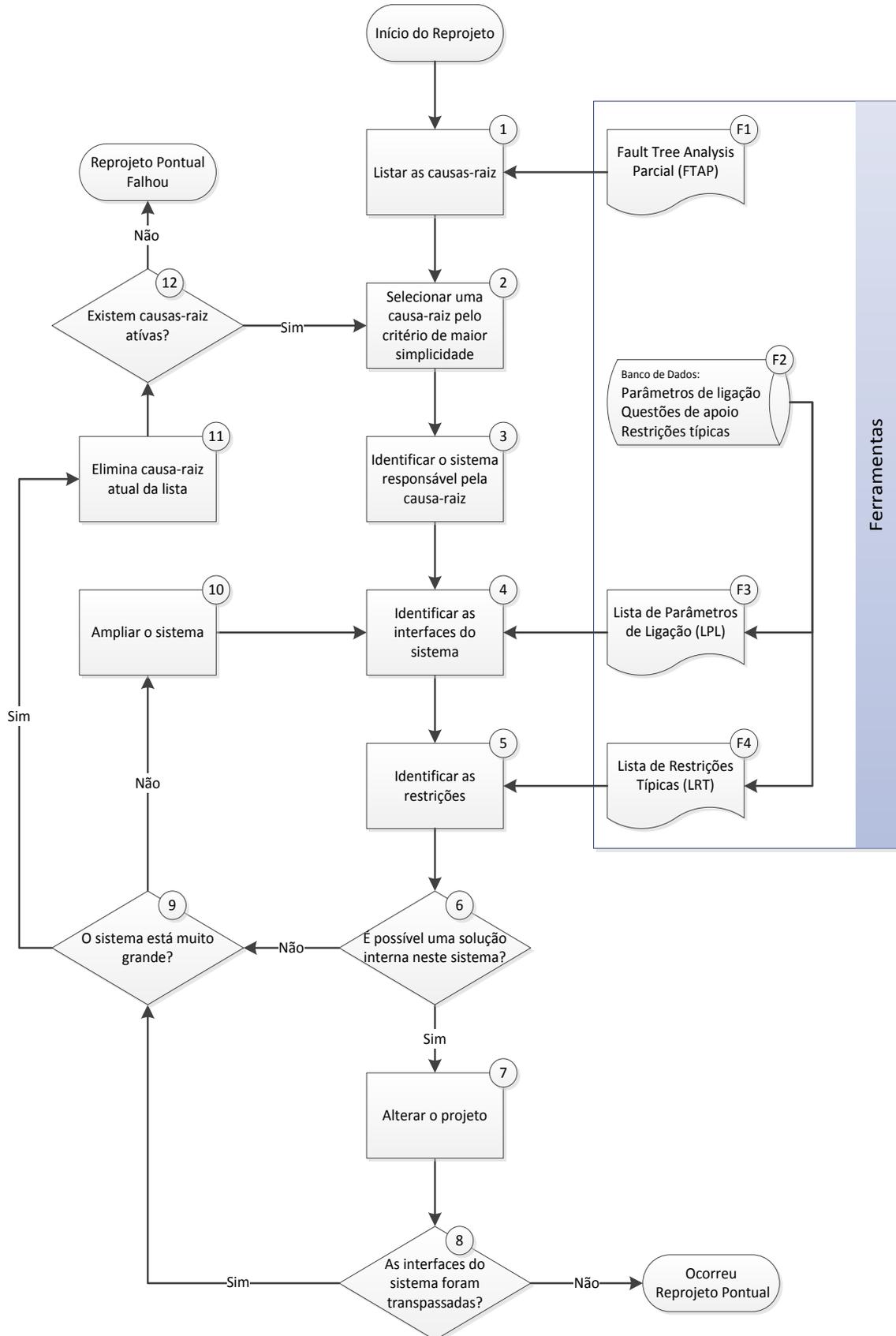


Figura 15 – Modelo para a Utilização Sistemática do Reprojetado Pontual (MUSRP)

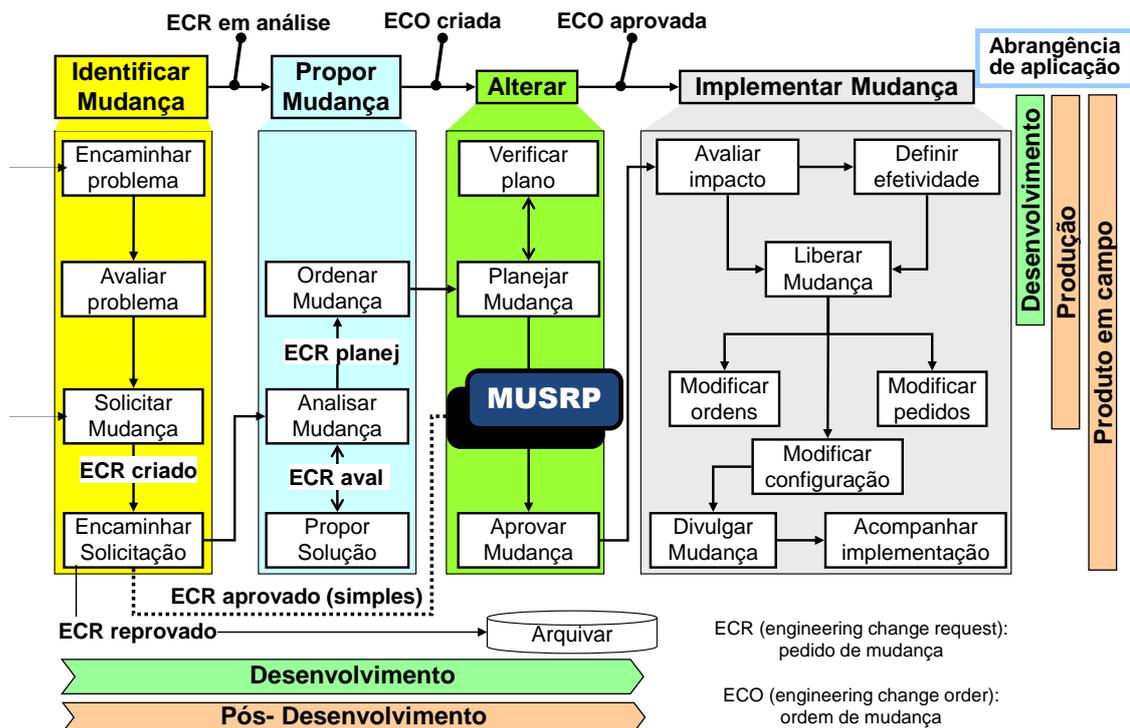


Figura 16 – Posicionamento do MUSR no modelo de Rozenfeldt *et al.*
 Fonte: Adaptado de (ROZENFELD *et al.*, 2006)

3.2. ETAPAS DO MUSR

Para auxiliar o entendimento do presente modelo, além das descrições de cada etapa, será mapeado um exemplo prático de um reprojeto. Este reprojeto é originado após a padronização do uso de porcas sextavadas com inserto de nylon de perfil alto (DIN 982) em toda a linha de produtos, substituindo algumas porcas sextavadas sem este inserto (DIN 934) e porcas sextavadas com inserto de nylon de perfil baixo (DIN 985). Após esta padronização, uma junta não oferecia mais a fixação segura do vidro da porta de uma cabine, acarretando em peças soltas na validação do produto. A representação em CAD 3D deste contexto é visualizada na Figura 17.

Com o intuito de clarificar a sequência de execução do modelo, no início da descrição de cada etapa serão relacionados quais blocos do fluxograma da Figura 15 estão relacionados.

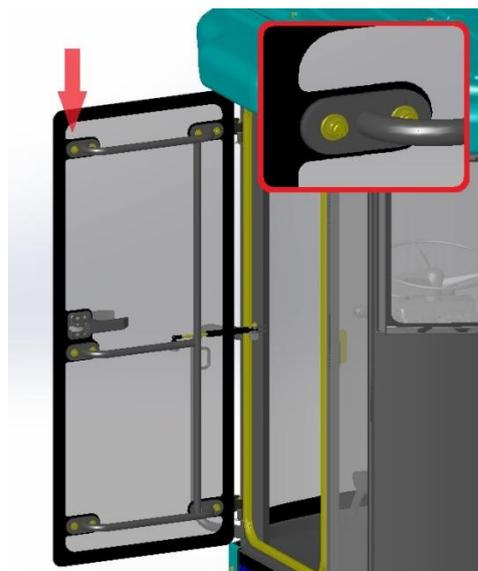


Figura 17 – Representação CAD da região próxima à junta de fixação

3.2.1. Listar as causas-raiz do reprojeto

Blocos 1, 2 e F1.

Ao receber a solicitação de reprojeto deve-se, de início, coletar dados a respeito do motivo da mesma. Para tanto, o modelo MUSRP recomenda o uso da ferramenta *Fault Tree Analysis Parcial* (FTAP). Com esta ferramenta é possível obter as possíveis causas-raiz de tal solicitação, sendo estas ordenadas da mais simples para a mais complexa.

Observando o método *Fault Tree Analysis* (FTA) – descrito na seção 2.3.1 – percebe-se que ao fim do segundo passo é obtida a árvore de falhas. Esta árvore de falhas nada mais é do que o conjunto de causas-raiz do evento, dispostas de forma hierárquica com relacionamentos *booleanos*. Porém, o modelo necessita apenas da listagem dessas causas. Para tanto, é efetuada uma varredura pela árvore de falhas em busca dos eventos de nível mais baixo. Ou seja, os eventos básicos ou os que não foram expandidos por falta de informação ou necessidade de detalhamento.

A FTAP consiste em selecionar todos os eventos de nível mais baixo que dizem respeito ao projeto e ordenar, partindo do menor impacto que o evento gerará no projeto para o maior. As considerações de simplicidade são obtidas utilizando algum método de criatividade. Rozenfeld *et al* (2006) indica diversos métodos para solução de problemas simples como, por exemplo, o *Brainstorming*, o *Lateral*

Thinking e o *Synetics*. Deste modo, obtém-se a listagem das causas-raiz a serem abordadas nas etapas seguintes do MUSRP.

Aplicando o FTAP no exemplo de reprojeto definido no início da seção 3.2 é obtida a árvore de falhas da Figura 18. Nela, se pode perceber que os eventos se relacionam com o iniciador do reprojeto através de operadores *booleanos*. Percebe-se, também, a existência de cinco eventos de nível mais baixo, listados no Quadro 2. Ao filtrar apenas os que dizem respeito ao projeto e não a variações de processo, restam apenas os dois últimos eventos listados. Após uma seção de *Brainstorming* em busca de restrições de projeto, os eventos são ordenados do menor ao maior impacto que eles gerarão no projeto, caso sejam alterados. Esta lista ordenada é a saída da ferramenta FTAP e está demonstrada no Quadro 3.

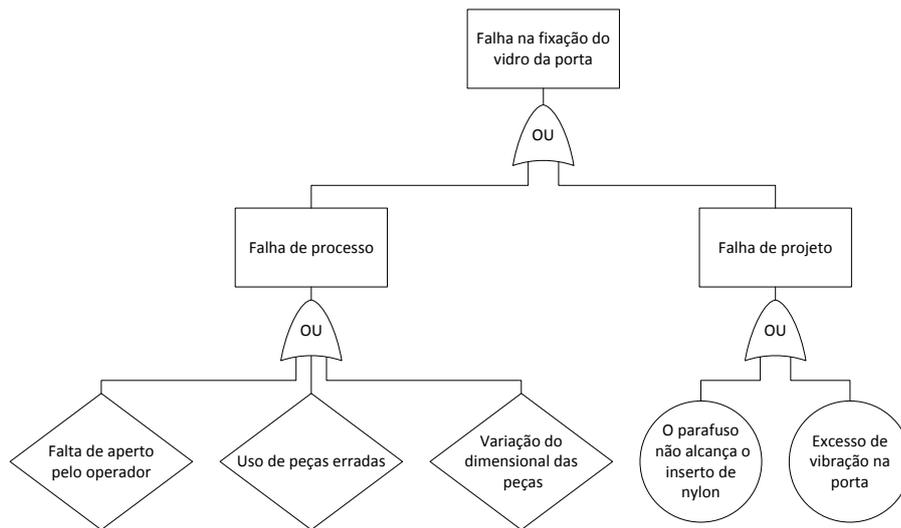


Figura 18 – Árvore de falhas do exemplo

Lista dos eventos da extremidade da Árvore de falhas
Falta de aperto pelo operador
Uso de peças erradas
Variação dimensional das peças
Parafuso não alcança o inserto de nylon
Excesso de vibração na porta

Quadro 2 – Lista dos eventos da extremidade da Árvore de falhas

Saída do FTAP
Parafuso não alcança o inserto de nylon
Excesso de vibração na porta

Quadro 3 – Saída do FTAP

A ordem apresentada no Quadro 3 é decorrente das seguintes ponderações originadas pelo *Brainstorming*: i) para reduzir as vibrações na porta seria necessário realizar alterações nos coxins da cabine, que poderiam trazer implicações para todas as conexões da cabine com o restante da máquina; ii) para fazer com que o parafuso alcance o inserto de nylon das porcas DIN 982 basta aumentar a dimensão deste, sem influir no restante do conjunto.

3.2.2. Identificar o sistema responsável

Bloco 3.

Com base na lista de causas-raiz, seleciona-se a mais simples que, pela ordenação proposta pelo FTAP, será a primeira. A partir deste ponto, o reprojeto estará focado na solução desta causa.

Partindo do preceito de que toda causa-raiz é decorrente ou se origina de um sistema, busca-se o menor sistema que contenha esta causa e seja possível executar ao menos uma alteração que solucione a causa raiz. A escolha pelo menor sistema reside no fato de que quanto menor for a alteração no produto, menores são as chances desta alteração propagar restrições pelo restante do produto.

O processo de identificação do menor sistema que contém a causa-raiz é explorativo/criativo e depende de inúmeros fatores de projeto. Portanto, é sugerida ao projetista a utilização de métodos criativos como o *Brainstorming*, o *Lateral Thinking*, o *Synetics*, entre outros.

Utilizando o primeiro evento da lista gerada pelo FTAP no exemplo ilustrativo, busca-se por meio de um *Brainstorming* identificar qual é o sistema que está relacionado com o evento “Parafuso não alcança o inserto de nylon”. Observando a representação da Figura 17 é possível selecionar o conjunto de fixação do vidro (em destaque) como o sistema responsável por absorver alterações do reprojeto. O sistema contém os seguintes itens: i) chapa de apoio do vidro; ii) parafuso DIN603 M10X35 (duas unidades); iii) porca DIN 982 M10 (duas unidades).

3.2.3. Identificar as interfaces

Blocos 4 e F3.

Tendo conhecimento do sistema passível de mudança é necessário identificar quais são seus limites e como ele interage com os sistemas vizinhos. A solução proposta consiste em uma Lista de Parâmetros de Ligação (LPL), que agrega os tipos mais comuns de parâmetros que servem de interface entre sistemas de produtos. Cada item da LPL está vinculado a, ao menos, uma questão de apoio (QA). A função destas QAs é guiar o projetista durante o desenvolvimento da solução indicando pontos já vivenciados por outros projetistas acerca dos parâmetros identificados.

Quando o projetista se depara com a atividade de identificação das interfaces, este deve avaliar cada um dos parâmetros listados na LPL, assinalando os que possuem significância dentro do sistema selecionado. Deste modo, relações com as quais o projetista não possui contato diário ficam mais fáceis de serem identificadas pelo fato da LPL incluir os mais diversos tipos de parâmetros. Após identificar quais parâmetros estão presentes no sistema, as QAs vinculadas permitirão uma análise mais detalhada das consequências da alteração do sistema.

A LPL é constituída de uma listagem contendo parâmetros de ligação presentes em sistemas mecânicos. São por meio destes parâmetros que as interações entre as peças ocorrem em um produto industrial. Também, são por estes mesmos parâmetros que as mudanças em um produto se propagam. Eckert, Clarkson e Zanker (2004) descrevem alguns destes parâmetros que estão listados no Quadro 4.

Parâmetros de ligação base
Geometria
Força
Torque
Temperatura
Vibração

Quadro 4 – Lista de Parâmetros de Ligação(LPL) base
Fonte: Adaptado de (ECKERT, CLARKSON e ZANKER, 2004)

As Questões de Apoio (QAs) são elaboradas de forma a gerar indagações durante o desenvolvimento do reprojeto. São relacionadas diretamente a um parâmetro de ligação e devem ser direcionadas ao projetista inexperiente quando

este parâmetro for significativo para o sistema selecionado. Um conjunto inicial de QAs está contido no Quadro 5.

Nesta etapa são selecionados todos os parâmetros pertinentes ao sistema selecionado. Com esta definição é possível selecionar as QAs que irão formar as avaliações posteriores das soluções propostas.

A LPL e as QAs demonstradas há pouco são apenas uma sugestão para a implantação deste modelo em um cenário real. Os projetistas mais experientes, ao auxiliarem os iniciantes, podem sugerir parâmetros ou questionamentos diferentes dos existentes. Estes parâmetros novos devem ser inseridos na LPL da empresa – e relacionados com as novas QAs – para expandir a capacidade de resolução de problemas das equipes com pouca experiência que utilizam esta ferramenta.

Parâmetro de Ligação	Questão de Apoio
Geometria	É utilizado o mesmo padrão de conexão com os sistemas vizinhos?
	Não foram adicionados recursos que oferecem risco ao usuário?
Força	A força transmitida para os sistemas vizinhos não excede os valores originais?
	A nova solução suporta as cargas provenientes dos sistemas vizinhos?
Torque	O torque transmitido para os sistemas vizinhos não excede os valores originais?
	A nova solução suporta os torques provenientes dos sistemas vizinhos?
Temperatura	Os limites de temperatura transmitida para os sistemas vizinhos são mantidos?
	A dilatação dos componentes novos/alterados não irá interferir nos sistemas vizinhos?
Vibração	Foi realizado o adequado tratamento das fontes de vibração introduzidas?
	A absorção de vibrações do sistema foi mantida?

Quadro 5 – Conjunto inicial de Questões de Apoio

No exemplo ilustrativo é possível selecionar os seguintes parâmetros de ligação:

- a) Geometria, pelo fato de ter conexões físicas com os seguintes componentes: Vidro da porta; e Armação da porta;
- b) Força, pelo fato de suportar a carga do vidro da porta;
- c) Vibração, por estar sujeita a vibrações provenientes da movimentação da máquina.

3.2.4. Identificar as restrições

Blocos 5 e F4.

Assim como na identificação das interfaces, a identificação das restrições relativas ao reprojeto influencia de forma considerável na assertividade do processo como um todo. Enquanto as interfaces dizem respeito a parâmetros internos do projeto, as restrições envolvem todas as influências do restante do ciclo de vida do produto. Portanto, para cada sistema selecionado as restrições irão variar e, por consequência, sempre que alterado o sistema de foco de retrabalho, as restrições deverão ser reavaliadas.

A justificativa para a reavaliação das restrições fica mais clara quando se examina primeiramente a alteração de uma peça comercial e, por não conseguir agrupar todas as suas alterações na mesma, amplia-se o sistema englobando um conjunto de fabricação interna. Neste caso, o conjunto de restrições muda completamente, passando a considerar parâmetros de fabricação interna deste item.

Para auxiliar o projetista nesta etapa foi utilizada uma abordagem semelhante à empregada na LPL. Utilizou-se a mesma estrutura de lista para servir como referência ao projetista. O objetivo de se definir a Lista de Restrições Típicas (LRT) é identificar os parâmetros não pertencentes ao projeto que influenciam no desenvolvimento do reprojeto. Para tanto, diversas características da indústria e dos processos ligados a ela são detalhadas na forma de uma lista. Sua utilização consiste na varredura de todos os seus tópicos avaliando a pertinência ao sistema selecionado. Ao identificar os tópicos que influenciam no reprojeto, cabe ao projetista avaliar o impacto das mudanças neste sistema e ponderar se a alteração proposta colabora para a melhoria do produto ou apenas adiciona mais complexidade ao processo produtivo do mesmo.

Cabe ressaltar que a LRT não é fixa. Muito pelo contrário, existem diferenças expressivas que podem partir de modelos de negócio, tamanho de empresa, processo produtivo, relacionamento com fornecedores, entre outros fatores operacionais da empresa. Portanto, é aconselhável a adequação da LRT conforme a realidade de cada empresa. O Quadro 6 apresenta um conjunto de restrições que podem ser utilizadas como ponto de partida para a aplicação em indústrias do ramo de bens de capital.

Restrições Típicas	
Manter a intercambiabilidade	Não alterar peças de fornecedores
Utilizar o mesmo ferramental de fabricação	Necessidade de retrabalhar peças em estoque
Utilizar o mesmo dispositivo de montagem	Não é possível alterar o material
Utilizar apenas peças já fabricadas internamente	Materiais limitados aos de estoque normal
Utilizar processos de fabricação internos	Restringir as alterações a fornecedores locais

Quadro 6 – Lista de Restrições Típicas (LRT)

Dentre as restrições da LRT o exemplo ilustrativo está relacionado à: “Utilizar o mesmo dispositivo de montagem”; “Não alterar peças de fornecedores”; “Manter a intercambiabilidade”; e “Necessidade de retrabalhar peças em estoque”.

3.2.5. Avaliar a possibilidade de solução

Blocos 6 e 7.

Após identificar os pontos mais críticos passíveis de alterações em reprojeto, deve-se gerar soluções para a causa raiz identificada do problema abordando apenas o sistema selecionado e levando em consideração as QAs relacionadas com os parâmetros de ligação vinculados ao sistema. É importante também, permanecer limitado às restrições selecionadas na LRT para que o projeto seja coerente com o restante da empresa. A geração de alternativas torna-se mais direta com estes processos anteriores já que restringe mais as possibilidades de criação à medida que o sistema torna-se menor. Cabe ressaltar que apenas quando todas as QAs tiverem suas respostas afirmativas e forem respeitadas todas as restrições da LRT dentro do sistema selecionado, é que a solução pode ser considerada para o reprojeto pontual.

Percebendo a possibilidade de uma solução, o projetista inicia o trabalho nas alterações necessárias e, após finalizá-las, o processo segue para avaliar se as interfaces não foram afetadas durante o reprojeto (seção 3.2.6). Por outro lado, se este chega à conclusão de que não há a possibilidade de uma solução sem extrapolar as fronteiras do sistema, o processo segue para a reavaliação do sistema (seção 3.2.7).

Recuperando as QAs relacionadas ao exemplo ilustrativo e utilizando os itens previamente selecionados na LRT foi buscada uma solução dentro do sistema

definido. A solução encontrada envolve a troca do parafuso francês M10x35 por um M10x40.

3.2.6. Avaliar as interfaces

Bloco 8

Com o projeto já modificado parte-se para avaliar possíveis alterações nas interfaces com os sistemas vizinhos ao sistema. Para tanto, é necessário reavaliar todas as QAs vinculadas aos parâmetros de ligação selecionados anteriormente e as restrições julgadas pertinentes na LRT. Se for verificado que as alterações ficaram contidas no sistema e não foram alteradas as interfaces, conclui-se que o processo de reprojeto é caracterizado como pontual.

Porém, se for verificado que alguma interface foi afetada, a solução proposta é descartada, visto que não é possível garantir que nenhuma alteração será transmitida para os sistemas vizinhos. Com isso, passa-se para a reavaliação do sistema.

Refazendo o procedimento de questionamento da seção anterior pode-se perceber que as fronteiras do sistema não foram afetadas no exemplo ilustrativo. Portanto, o procedimento descrito nas seções anteriores culminou em um reprojeto pontual.

3.2.7. Reavaliação do sistema

Blocos 9, 10, 11, 12.

Esta etapa aborda uma sequência de questões direcionadas ao projetista com o objetivo de garantir a compatibilidade de uma solução proposta com o produto. Tendo como base as interfaces identificadas e as restrições encontradas são propostas soluções que atendam-nas. Uma vez proposta uma solução que, a primeira vista, esteja de acordo com restrições encontradas e contida entre as interfaces identificadas são executadas as alterações necessárias no projeto.

Com o projeto alterado são reavaliados estes critérios para garantir que nenhuma decisão tomada durante a alteração possa impactar na compatibilidade com o produto. Se a avaliação não apontar alterações de interfaces (como descrito

na seção 3.2.6), o projeto é classificado como pontual e a alteração pode ser implantada no produto.

Percebendo que não foi possível encontrar uma solução para o reprojeto no sistema identificado ou que após as alterações, alguma interface foi modificada, parte-se para uma avaliação da extensão do sistema. Caso o sistema ainda esteja bastante reduzido perante o produto, o processo retorna para a fase de identificação do sistema com o objetivo de ampliá-lo de forma que as alterações possam ficar contidas entre as suas interfaces.

Se, por outro lado, o sistema já estiver demasiadamente grande quando se compara com o produto, exclui-se a causa-raiz que está sendo tratada e seleciona-se a próxima causa-raiz, seguindo a mesma ordenação definida no FTAP, e o processo segue para a seleção do sistema descrito na seção 3.2.2. Caso não existam mais causas-raiz a serem abordadas, o método aponta que não é possível realizar uma abordagem de reprojeto pontual.

3.3. DESCRIÇÃO DA FERRAMENTA COMPUTACIONAL

Para auxiliar a aplicação do modelo em ambientes industriais optou-se pelo desenvolvimento de uma ferramenta computacional baseada no Microsoft Excel que interligue as etapas e permita que o projetista priorize as atividades criativas e que agreguem valor. Aconselha-se o uso desta ferramenta computacional em conjunto com o software de modelagem CAD 3D utilizado pela empresa, para que as iterações de projeto sejam facilitadas, juntamente com a entrada de dados na planilha.

A tela inicial é mostrada na Figura 19. A partir dela o projetista tem a possibilidade de iniciar uma avaliação de reprojeto pontual a qualquer momento. O início do processo é dado pelo botão “Nova Análise”. Além desta opção, é possível acessar, a qualquer momento da utilização da ferramenta, a base de dados da ferramenta para a atualização das LRT, LPL e QAs. Para tanto, é necessário clicar na aba “Base de Dados” na região inferior esquerda da tela. Esta funcionalidade será descrita no fim desta seção.

Na Figura 21 está representado o módulo de seleção do sistema (bloco 3). Nele, a causa-raiz ativa mais simples é exibida, fazendo com que o projetista foque a atenção para a identificação do sistema em questão. Também, mostra o último sistema selecionado, caso não seja a primeira iteração. A passagem para a próxima tela também é feita pelo acionamento do botão “Próxima” e só é permitida após o preenchimento do campo “Sistema Selecionado”.

Seleção do sistema		Próxima
Causa-raiz atual	Parafuso não alcança o inserto de nylon	
Sistema anterior		
Sistema Selecionado	Chapa de apoio do vidro; Parafuso DIN 603 M10X35 (2x); Porca DIN 982 M10 (2x)	

Figura 21 – Seleção do sistema

A Lista de Interfaces Típicas está demonstrada na Figura 22 (blocos 4 e F3). Com o auxílio desta tela o projetista tem a possibilidade de verificar quais interfaces do sistema selecionado interagem com o restante do produto. Nela, o projetista avalia as interfaces dispostas na coluna da esquerda e, caso esteja presente no sistema, a célula da coluna da direita é assinalada com o símbolo “x”. Esta lista de interfaces do sistema servirá de entrada para a seleção das QAs que serão exibidas no Formulário de Avaliação de Solução (Figura 24).

Lista de Parâmetros de Ligação		Próximo
Sistema Avaliado		
Chapa de apoio do vidro; Parafuso DIN 603 M10X35 (2x); Porca DIN 982 M10 (2x)		
Interface	Presente	
Geometria	x	
Força	x	
Torque		
Temperatura		
Vibração	x	

Figura 22 – Seleção dos parâmetros de ligação

A Lista de Restrições Típicas (Figura 23) tem um formato semelhante à LPL e seu preenchimento segue o mesmo princípio (blocos 5 e F4). A LRT é apresentada na coluna da esquerda e, quando notado o vínculo entre alguma

restrição listada e o sistema selecionado, é assinalado com o símbolo “x” a coluna da direita correspondente a restrição.

Lista de Restrições Típicas		Próximo
Sistema Avaliado		
Chapa de apoio do vidro; Parafuso DIN 603 M10X35 (2x); Porca DIN 982 M10 (2x)		
Restrição	Presente	
Manter a intercambiabilidade	x	
Utilizar o mesmo ferramental de fabricação		
Utilizar o mesmo dispositivo de montagem	x	
Utilizar apenas peças já fabricadas internamente		
Utilizar processos de fabricação internos		
Não alterar peças de fornecedores	x	
Necessidade de retrabalhar peças em estoque	x	
Não é possível alterar o material		
Materiais limitados aos de estoque normal		

Figura 23 – Seleção das restrições típicas

Após determinar todos esses dados, apresenta-se o Formulário de Avaliação de Solução (Figura 24) que tem a função de facilitar a identificação de qualquer incompatibilidade relativa a uma solução que viesse a ser proposta (bloco 6). Nele são apresentados os seguintes dados:

- a) Causa-raiz atual;
- b) Sistema avaliado;
- c) Lista de restrições típicas influentes no sistema;
- d) Lista de parâmetros de ligação entre o sistema e o restante do produto;
- e) Questões de apoio baseadas nos parâmetros de ligação do sistema.

Juntamente a estes dados é mostrado um histórico das causas-raiz abordadas e os sistemas já avaliados. Desta forma, o formulário atua também como um histórico das tentativas de modificação. Este formulário tem o tamanho de uma folha A4 podendo ser impresso ou salvo em algum formato fechado para funcionar como documentação de alteração de engenharia.

Ao acionar o botão “Próximo” uma sequência de perguntas é direcionada ao projetista com o intuito de garantir que a solução proposta é compatível com o produto (blocos 6, 8, 9, 10, 11 e 12). As perguntas passadas ao projetista estão relacionadas como mostrado no modelo (Figura 15) e descritas na seção 3.2.7.

	A	B	C	D	E
1	LRT	LPL		QA	
2	Manter a intercambiabilidade	Geometria	1	1	É utilizado o mesmo padrão de conexão com os sistemas vizinhos?
3	Utilizar o mesmo ferramental de fabricação	Força	2	1	Não foram adicionados recursos que oferecem risco ao usuário?
4	Utilizar o mesmo dispositivo de montagem	Torque	3	2	A força transmitida para os sistemas vizinhos não excede os valores originais?
5	Utilizar apenas peças já fabricadas internamente	Temperatura	4	2	A nova solução suporta as cargas provenientes dos sistemas vizinhos?
6	Utilizar processos de fabricação internos	Vibração	5	3	O torque transmitido para os sistemas vizinhos não excede os valores originais?
7	Não alterar peças de fornecedores		6	3	A nova solução suporta os torques provenientes dos sistemas vizinhos?
8	Necessidade de retrabalhar peças em estoque		7	4	Os limites de temperatura transmitida para os sistemas vizinhos são mantidos?
9	Não é possível alterar o material		8	4	A dilatação dos componentes novos/alterados não irá interferir nos sistemas vizinhos?
10	Materiais limitados aos de estoque normal		9	5	Foi feito o adequado tratamento das fontes de vibração introduzidas?
11			10	5	A absorção de vibrações do sistema foi mantida?
12			11		
13			12		
14			13		
15			14		
16			15		
17					
18					
19					
20					
21					
22					
23					
24					
25					
26					
27					
28					

Figura 25 – Base de dados

A tela é dividida em três áreas, uma para cada tipo de conteúdo. Na coluna A é encontrada a lista de restrições típicas da ferramenta. Nas colunas B e C são listados os parâmetros de ligação juntamente com um número de vinculação que será utilizado para estabelecer a relação entre os parâmetros de ligação e as questões de apoio. O espaço destinado as QAs é constituído das colunas D e E, onde a coluna E contém as questões e a coluna D relaciona a QA com o parâmetro relativo a ela.

Com a descrição da ferramenta e do modelo concluídos, parte-se para a validação dos mesmos. No próximo capítulo, será descrita uma atividade realizada com projetistas em ambiente controlado e, em seguida, serão discutidos os dados obtidos.

4. AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL DO MODELO

A seguir, será apresentado o experimento realizado para o teste prático do Modelo para Utilização Sistemática do Reprojeto Pontual. Também, serão discutidos os resultados obtidos e as mudanças propostas para o modelo.

4.1. DESCRIÇÃO DO EXPERIMENTO

Para validar o MUSRP foi proposta uma atividade de reprojeto a cinco participantes. Esta atividade de reprojeto consistia na alteração de uma churrasqueira a bafo construída por uma pequena metalúrgica. A motivação do reprojeto era a ocorrência de casos de queima das mãos ao manipular os pegadores da mesma. Nas seções seguintes serão descritos com mais detalhes: o tema, o cenário, os participantes e a atividade.

4.1.1. Cenário do experimento

Para o desenvolvimento do experimento, foi criado um cenário fictício de uma pequena metalúrgica da região metropolitana de Curitiba. A produção desta empresa fictícia é constituída de aparatos domésticos de baixa complexidade de fabricação, não exigindo ferramental exclusivo. Foi fornecida aos participantes uma listagem do ferramental instalado nesta empresa, que pode ser conferida no Quadro 7. Além da listagem, foram disponibilizados vídeos demonstrativos do funcionamento de cada processo com o objetivo de esclarecer possíveis dúvidas acerca do processo produtivo.

Lista de ferramental
Calandra de chapas
Dobradeira de chapas
Dobradeira de tubos manual
Furadeira industrial
Máquina de corte a laser
Máquinas de solda MIG/MAG
Serra circular de tubos

Quadro 7 – Lista de ferramental instalado na empresa fictícia

Além dos processos internos, foi dada a possibilidade de comprar itens de fornecedores. A única ressalva foi para que a peça comprada fosse compatível com a realidade da empresa.

Adicionalmente, foi criada a situação de que um dos produtos desta empresa está apresentando queixas recorrentes de clientes. O que forçou a empresa a contratar um projetista externo para criar uma solução para os clientes e evitar a reclamação de futuros consumidores.

As queixas são referentes a queimaduras durante a utilização da churrasqueira de tambor. Ao manusear qualquer puxador da churrasqueira, com ela em operação por mais de uma hora, o ferimento ocorria. Uma imagem do projeto da churrasqueira de tambor é mostrada na Figura 26.



Figura 26 – Projeto da churrasqueira de tambor utilizada no experimento

4.1.2. Perfil dos participantes

Foram selecionados cinco participantes para a avaliação do MUSRP, quatro estudantes de engenharia no início de carreira com pouca experiência (grupo PI) e um projetista de formação técnica com larga experiência em projetos (participante PE). O PE foi utilizado como elemento de controle. O Quadro 8 resume

o perfil de cada participante. Para o levantamento desses dados utilizou-se parte do questionário presente no Apêndice A e preenchido pelos próprios participantes.

	PI1	PI2	PI3	PI4	PE
Idade:	21 anos	23 anos	23 anos	23 anos	34 anos
Tempo de experiência:	Nenhum	2 anos	3 anos	3 anos	19 anos
Cargo:	Estagiário	Analista Des. Prod.	Técnico de Manufatura	Consultor	Projetista Sênior
Contato com reprojeção:	Nenhum	Direto	Indireto	Direto	Direto

Quadro 8 – Características dos participantes do experimento

4.1.3. Execução da atividade

Para o grupo PI foi realizada uma apresentação baseada nos slides presentes no Apêndice B com o objetivo de nivelar os conhecimentos dos participantes nos conceitos de reprojeção, propagação de alterações e do método FTA. O curso foi ministrado pelo autor do trabalho no laboratório LEGIO nas dependências do campus Curitiba da UTFPR no dia 21 de agosto de 2012 com início às 18 horas e 30 minutos e teve duração de 30 minutos. Além disso, apresentou-se o MUSRP e a ferramenta computacional aos presentes. Na parte final do curso foi exposto o cenário (descrito na seção 4.1.1) que os participantes deveriam considerar para fazer as escolhas durante a atividade de reprojeção.

Foi estipulado um tempo máximo de duas horas para realizar a atividade do experimento (Figura 27). Para o desenvolvimento da atividade pelo grupo PI foi disponibilizado:

- a) Questionário impresso (Apêndice A);
- b) Fluxograma do MUSRP impresso (Figura 15);
- c) Lista de blocos do FTA impressa (Quadro 1);
- d) Ferramenta computacional MUSRP;
- e) Projeto em formato *SolidWorks* da churrasqueira de tambor;
- f) Lista de Ferramental disponível na empresa;
- g) Vídeos demonstrativos dos processos de fabricação;
- h) Arquivo eletrônico da apresentação (Apêndice B).

Além disso, foi disponibilizado o acesso à internet com o objetivo de prospectar ideias e possíveis soluções para o cenário apresentado.



Figura 27 – Participantes do grupo PI durante o experimento

Para o participante PE, não foi apresentado o curso e apenas os itens “a” (de forma digital), “e” e “f” foram disponibilizados. O experimento foi realizado a distância, com início no dia 22 de agosto de 2012, às 18 horas e 30 minutos. Também, foi estipulado o tempo máximo de duas horas para a conclusão.

4.1.4. Parâmetros avaliados durante o experimento

Os parâmetros avaliados no experimento foram selecionados de forma a permitir uma avaliação da efetividade do MUSRP no que tange a capacidade de identificar oportunidades de reprojeção pontual e o efetivo endereçamento de uma solução. Para tanto, os seguintes parâmetros foram avaliados:

- a) Número de peças alteradas/adicionadas: permite a avaliação do quanto foi alterado o produto;
- b) Número de sistemas alterados: possibilita a avaliação da extensão da mudança proposta;
- c) Qualidade da solução: parâmetro qualitativo que avalia a efetividade da solução proposta;

- d) Tempo gasto para a modificação: parâmetro de *performance*, a aplicação do MUSRP busca minimizá-lo;
- e) Quantidade de consultas às folhas de descrição da empresa: o acesso às folhas de processo mostra a intenção do projetista fornecer soluções mais ligadas à realidade da empresa;
- f) Número de pesquisas na internet: fornece uma medida indireta do conhecimento do projetista acerca do produto;
- g) Número de iterações do modelo: identifica quantas alterações no foco do retrabalho ocorreram (somente no grupo PI).

Os parâmetros “a” à “c” foram mensurados avaliando o arquivo no formato *SolidWorks* gerado pelos participantes durante o experimento. O parâmetro “d” foi determinado pelo tempo total gasto na atividade. Os parâmetros “e” à “g” foram obtidos pelo questionário mostrado no Apêndice A.

4.2. RESULTADOS DO EXPERIMENTO

Todos os participantes geraram soluções para o cenário descrito. Porém, nem todos consideraram todos os parâmetros necessários para a fabricação e solução do problema proposto. O tempo para gerar as soluções apresentadas pelos participantes foi inferior ao tempo gasto pelo projetista experiente sem o auxílio do MUSRP. A Tabela 2 exibe os tempos gastos por cada participante. A qualidade das soluções variou bastante de projetista para projetista, podendo se feita uma relação direta à experiência. A seguir as soluções serão avaliadas individualmente.

Tabela 2 – Tempo gasto com o reprojeito por participante

Participante	Tempo gasto com o reprojeito
PI1	45min
PI2	1h26min
PI3	1h01min
PI4	1h13min
PE	1h30min

4.2.1. Participante P11

O FTAP não foi realizado. Apenas uma lista de possíveis causas-raiz foi identificada. Desta forma, não foi possível avaliar os possíveis relacionamentos entre as causas-raiz. As causas-raiz listadas pelo participante estão presentes no Quadro 9. O uso da LPL e da LRT foi ineficaz. A interface “geometria” não foi selecionada, o que leva a crer que a conexão física entre o sistema selecionado e o restante do produto não foi considerada.

Causas-raiz identificadas pelo participante P11
Baixa dissipação de calor (diâmetro pequeno)
Material de alta condutividade térmica

Quadro 9 – Causas-raiz identificadas pelo participante P11

Houve problemas com a seleção do sistema. O participante P11 selecionou apenas o sistema grelha, e não todos os puxadores que causam o problema.

Com relação ao uso do sistema, o participante não realizou iterações. Segundo o seu julgamento, o reprojeto foi finalizado na primeira tentativa. Não foram realizadas pesquisas na internet em busca de novas ideias e a listagem de ferramentas foi acessada apenas uma vez.

A alternativa gerada não soluciona o problema, embora a causa raiz apontada, se corretamente avaliada, resolvesse o problema. A Figura 28 mostra quais foram as considerações de projeto avaliadas pelo P11 e a Figura 29 a solução proposta.

Avaliação de Solução		Próximo
Causa-raiz atual	Baixa dissipação de calor (diâmetro pequeno)	
Sistema Avaliado		
Grelha		
LPL	LRT	
Temperatura	Manter a intercambiabilidade	
	Utilizar o mesmo ferramental de fabricação	
	Utilizar apenas peças já fabricadas internamente	
	Utilizar processos de fabricação internos	
QAs		
Os limites de temperatura transmitida para os sistemas vizinhos são mantidos?		
A dilatação dos componentes novos/alterados não irá interferir nos sistemas vizinhos?		
Histórico		
Causa-Raiz	Sistema	
Baixa dissipação de calor (diâmetro pequeno)	Grelha	

Figura 28 – Tela "Avaliação de Solução" – PI1

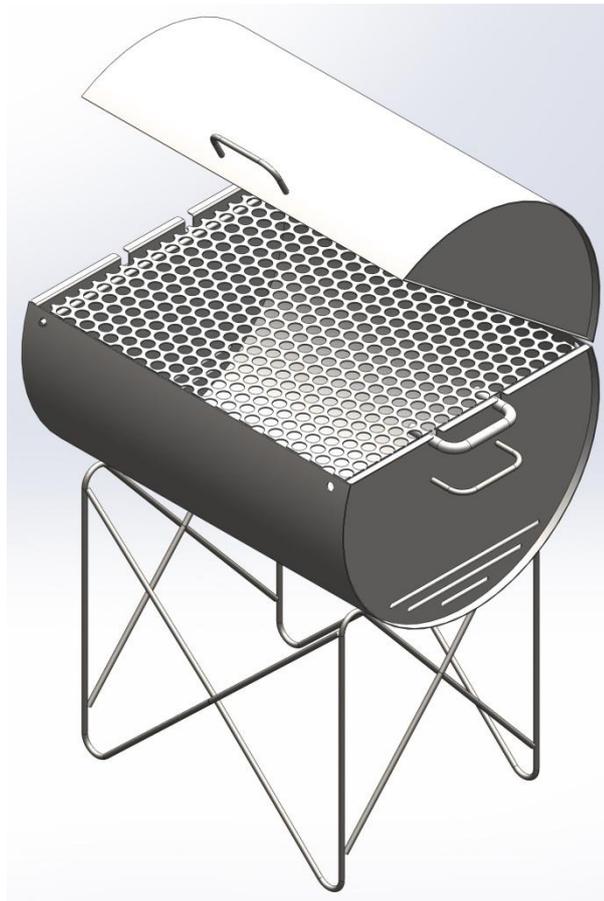


Figura 29 – Solução proposta por PI1

A única alteração no projeto foi alterar o diâmetro do puxador da grelha, resultando em alteração em uma peça e em um sistema apenas. Visto que a área de troca de calor não é suficiente para a retirada de todo o calor transmitido ao puxador, a efetividade da solução proposta é posta em dúvida. Desta forma, o reprojeto é caracterizado como não conforme, cabendo uma reavaliação por parte do projetista.

4.2.2. Participante PI2

A solução proposta por este participante também não atende o cenário (Figura 30). A utilização de uma proteção para os puxadores é uma boa solução. Porém, da forma apresentada, está incompleta. Não foi determinado o material que constitui as proteções. Além disso, não foram considerados os processos de fabricação da peça de proteção dos puxadores. Sendo eles constituídos de uma peça única, impossibilitam a montagem no puxador sem desfazer alguma das dobras do puxador. Desta forma, o reprojeto também é caracterizado como não conforme e deve ser reavaliado.



Figura 30 – Solução proposta por PI2

Apesar da comprometida efetividade da solução entregue, o entendimento a respeito do FTAP por este participante foi bom. As causas-raiz encontradas por ele, em ordem de simplicidade, podem ser conferidas no Quadro 10.

Causas-raiz identificadas pelo participante PI2
Calor excessivo transmitido aos puxadores
Falta de isolamento dos puxadores
Tamanho incorreto dos puxadores

Quadro 10 – Causas-raiz identificadas pelo participante PI2

Durante o experimento houve uma mudança no foco do reprojeto. O participante julgou que causa-raiz “Calor excessivo transmitido aos puxadores” como a mais simples de ser abordada. Porém, ao tentar projetar alguma solução para eliminar esta causa-raiz, se deparou com alternativas muito complicadas, segundo seu julgamento. Deste modo, afirmou não ser possível abordar a causa-raiz e o foco passou a ser a “Falta de isolamento dos puxadores”.

A seleção da “interface puxador/usuário” como sistema a ser abordado mostrou que o conceito de reprojeto pontual foi bem compreendido pelo participante (Figura 31). Afirma-se isso pelo fato do sistema envolver o mínimo de componentes que possibilita a eliminação da causa-raiz.

Avaliação de Solução		Próximo
Causa-raiz atual	falta de isolamento dos puxadores	
Sistema Avaliado		
Interface puxador/usuario		
LPL	LRT	
Temperatura	Manter a intercambiabilidade	
	Utilizar processos de fabricação internos	
	Necessidade de retrabalhar peças em estoque	
QAs		
Os limites de temperatura transmitida para os sistemas vizinhos são mantidos?		
A dilatação dos componentes novos/alterados não irá interferir nos sistemas vizinhos?		
Histórico		
Causa-Raiz	Sistema	
falta de isolamento dos puxadores	Interface puxador/usuario	
calor excessivo transmitido aos puxadores	Conexão dos puxadores com a carcaça	

Figura 31 – Tela "Avaliação de Solução" – PI2

Focando no número de peças e sistemas alterados a solução pode ser considerada ótima. Nenhuma peça foi alterada, apenas uma peça foi inserida na montagem.

Houve uma pesquisa na internet para a busca de ideias e a listagem de ferramentas da empresa foi acessada três vezes.

4.2.3. Participante PI3

A solução apresentada por este participante (Figura 32) supre os requisitos do cenário e, como a solução do participante PI2 descrita na seção 4.2.2, não altera nenhuma peça, apenas adiciona. Os conceitos apresentados são muito semelhantes, embora este participante tenha entregue uma solução mais completa no que tange a fabricação da peça. Pode-se considerar que este reprojeto atingiu os objetivos do cenário descrito.

Os sistemas não tiveram peças alteradas, o que é um ponto muito positivo para esta solução, pois manteve todas as interfaces geométricas do produto original. A montagem consiste em fixar, por meio de parafusos, as duas peças de madeira que compõem a proteção do puxador em cada unidade de empunhadura.

A seleção das causas-raiz foi conceitualmente falha, visto que foram citados parâmetros de modificação, como é mostrado no Quadro 11. Apesar desta falha conceitual, a atividade teve um comportamento linear, caracterizado pela ocorrência de apenas uma iteração do sistema (Figura 33).

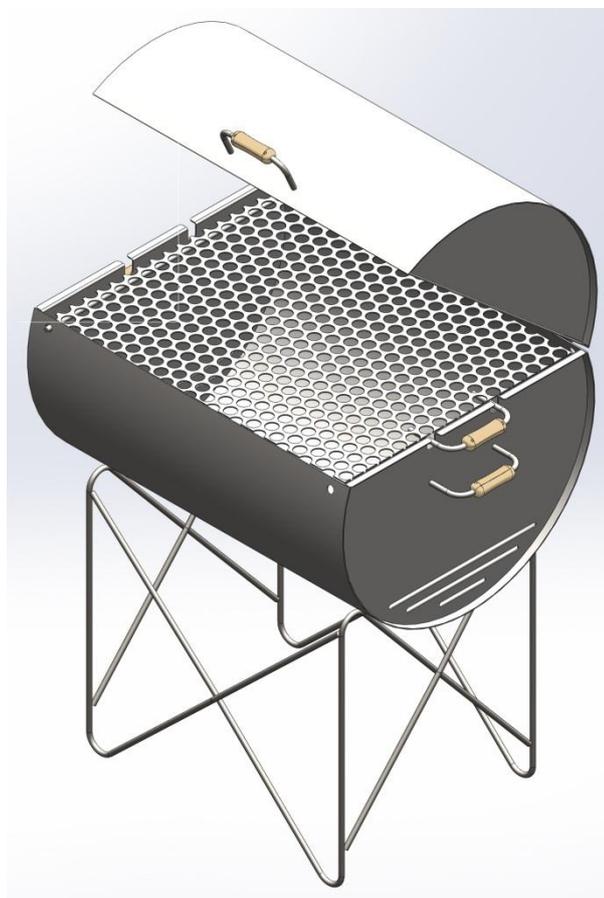


Figura 32 – Solução proposta por PI3

Causas-raiz identificadas pelo participante PI3
Revestimento dos puxadores
Material dos puxadores
Geometria dos puxadores
Proximidade dos puxadores à chama

Quadro 11 – Causas-raiz identificadas pelo participante PI3

A listagem de ferramentas da empresa foi acessada apenas uma vez. Nenhuma pesquisa na internet foi realizada, indicando a convivência anterior com alguma situação semelhante.

Avaliação de Solução		Próximo
Causa-raiz atual		Revestimento dos puxadores
Sistema Avaliado		
Puxador		
LPL	LRT	
Geometria	Utilizar o mesmo ferramental de fabricação	
Temperatura	Utilizar processos de fabricação internos	
	Necessidade de retrabalhar peças em estoque	
QAs		
É utilizado o mesmo padrão de conexão com os sistemas vizinhos?		
Não foram adicionados recursos que oferecem risco ao usuário?		
Os limites de temperatura transmitida para os sistemas vizinhos são mantidos?		
A dilatação dos componentes novos/alterados não irá interferir nos sistemas vizinhos?		
Histórico		
Causa-Raiz	Sistema	
Revestimento dos puxadores	Puxador	

Figura 33 – Tela "Avaliação de Solução" – PI3

4.2.4. Participante PI4

A solução apresentada por este participante (Figura 34) não atende aos produtos já vendidos, como exigido pelo cenário. Como a alteração exige operações de solda, essa intervenção seria difícil de ser aplicada nas unidades já fabricadas. Um parâmetro que reflete esse comportamento da solução é o número de sistemas alterados. Mesmo não alterando a fabricação de nenhuma peça isolada, a adição de peças nos conjuntos soldados propiciou a mudança nas interfaces entre as peças originais.

As causas-raiz foram bem endereçadas, como é possível observar no Quadro 12, e o sistema avaliado está bem delimitado. As considerações contidas na LRT (Figura 35) indicam que a alteração foi focada para uma solução manufaturada totalmente internamente à empresa.

Causas-raiz identificadas pelo participante PI4
Área excessiva de troca térmica entre puxador e churrasqueira
Falta de isolamento térmico no puxador
Proximidade com a fonte de calor

Quadro 12 – Causas-raiz identificadas pelo participante PI4



Figura 34 – Solução proposta por PI4

Avaliação de Solução

Próximo

Causa-raiz atual

Área excessiva de troca térmica entre puxador e churrasqueira

Sistema Avaliado

Interface massaneta x churrasqueira

LPL	LRT
Geometria	Utilizar o mesmo ferramental de fabricação
Temperatura	Utilizar processos de fabricação internos
	Necessidade de retrabalhar peças em estoque
	Materiais limitados aos de estoque normal

QAs

- É utilizado o mesmo padrão de conexão com os sistemas vizinhos?
- Não foram adicionados recursos que oferecem risco ao usuário?
- Os limites de temperatura transmitida para os sistemas vizinhos são mantidos?
- A dilatação dos componentes novos/alterados não irá interferir nos sistemas vizinhos?

Histórico

Causa-Raiz	Sistema
Área excessiva de troca térmica entre puxador e churrasqueira	Interface massaneta x churrasqueira

Figura 35 – Tela "Avaliação de Solução" – PI4

A solução ocorreu sem mudanças no foco, ou seja, ocorreu apenas uma iteração com o sistema. A preocupação com a manufaturabilidade é percebida pelos dois acessos que o participante fez à lista de ferramentas da empresa. Assim como o participante PI3, ele não acessou a internet em busca de ideias de solução.

4.2.5. Participante PE

A solução proposta pelo participante PE (que atuou como grupo de controle) foi a que mais alterou o produto (Figura 36). Com o mesmo cenário apresentado, este participante alterou inclusive a forma de operação do produto. Foram alterados todos os conjuntos soldados do produto e implantadas modificações que não foram solicitadas no cenário proposto. Mesmo isolando o problema original, a solução alterou o conceito dos puxadores implicando em peças novas.



Figura 36 – Solução proposta por PE

Desta forma, o participante indicou que, devido ao grande número de alterações, a solução enviada aos clientes deveria ser diferente da apresentada. Foi

sugerido o envio de luvas térmicas para evitar as queimaduras nos produtos já vendidos. Assim, esta solução é parcial, visto que atende apenas os requisitos para a produção de novos produtos.

4.3. AVALIAÇÃO DO EXPERIMENTO

De forma geral, todos os participantes do grupo PI abordaram causas-raiz que solucionam os casos de queimadura nos clientes. As principais diferenças residiram no grau de detalhamento e em aspectos de implantação da solução.

Acredita-se que o rendimento baixo do participante PI1 concentra-se principalmente nos seguintes pontos: i) falta de uma experiência mínima com o produto, no que tange a utilização do mesmo; e ii) falta de uma avaliação mais cuidadosa da efetividade da alteração. O primeiro ponto é justificado pelo fato do participante ter alterado apenas um dos puxadores. O segundo ponto diz respeito à falta de efetividade que a solução apresenta.

Cabe ressaltar que uma alteração visando aumentar a dissipação de calor pelo puxador é possível, mas com os parâmetros apresentados não surte efeito prático.

Na solução proposta por PI2, o quesito de manufacturabilidade ficou comprometido. Este ponto pode ser mais bem abordado na ferramenta, bastando adicionar informações à LRT que digam respeito às limitações específicas de cada equipamento da empresa. Outra possibilidade é utilizar algum tipo de análise de *Design for Manufacture* (DFM) na fase de avaliação da solução.

Num contexto macro, o participante PI3 propôs a melhor solução, embora tenha apresentado erros conceituais no FTAP. Neste caso, seria necessária uma revisão dos conceitos do FTA. Provavelmente, esta deficiência decorra do breve curso apresentado. Fica indicada a necessidade de uma explicação mais detalhada do método, ou ainda, uma alteração na ferramenta de forma que sejam exibidas dicas ou algum exemplo de preenchimento dos campos.

O participante PI4 apresentou uma solução voltada, principalmente, para um contexto de produção, com alterações de difícil implantação em produtos prontos (em estoque ou já vendidos).

O participante PE também voltou sua solução para o contexto de produção. Possivelmente, com um cenário mais claro, que especificasse com clareza a necessidade de uma solução para os produtos já fabricados mudasse consideravelmente os resultados deste experimento.

Fica claro que o participante PE não teve preocupação com minimizar as alterações no produto corrente, o que implicaria em custos de implantação maiores, tanto de produção como de logística. Possivelmente, com o uso da ferramenta proposta neste trabalho seu desempenho teria sido melhor.

Avaliando o conjunto das soluções propostas, nota-se que diversos princípios de solução foram abordados e não foram encontradas duas soluções idênticas. Este fato é devido à subjetividade inerente aos processos de projeto e reprojeção de produtos. O resultado final do processo leva em conta diversos fatores pertinentes ao projetista, dentre eles a experiência prévia e o contato com situações semelhantes durante o seu dia-a-dia.

Para que seja possível comparar a quantidade de peças alteradas/adicionadas pelas soluções é necessário desconsiderar as alterações que não digam respeito aos casos de queimaduras. Assim, para fins de comparação, foram computadas as mudanças relativas apenas ao cenário exposto. O tempo de reprojeção também foi ajustado na mesma proporção do número de peças. Na Tabela 3 é possível comparar o tempo gasto por cada participante e o número de peças alteradas/adicionadas em cada solução proposta. A linha PE mostra a alteração abrangendo todas as alterações propostas pelo participante PE, enquanto a linha PE* computa apenas as alterações ligadas diretamente ao cenário proposto. A linha PE* foi utilizada como base das porcentagens contidas na tabela.

Tabela 3 – Comparação das soluções propostas

Participante	Peças excluídas	Peças incluídas	Variação de peças		Tempo de reprojeção		Tempo por peça	
			total	%	total	%	total	%
PI1	1	1	2	22%	0h45min	83%	0h22min	375%
PI2	0	1	1	11%	1h26min	159%	1h26min	1433%
PI3	0	3	3	33%	1h01min	113%	0h20min	339%
PI4	1	2	3	33%	1h13min	135%	0h24min	406%
PE	5	10	15	167%	1h30min	167%	0h06min	100%
PE*	3	6	9	100%	0h54min	100%	0h06min	100%

É possível perceber que o uso da ferramenta não propiciou tempos menores de desenvolvimento no grupo PI. Pelo contrário, aumentou em média 25%. Isso é devido, principalmente, pela diferença de experiência dos dois grupos. Enquanto o participante PE levou cerca de seis minutos para realizar uma modificação, o grupo PE levou em média 38 minutos. Acredita-se que este parâmetro dependa basicamente da habilidade do projetista com a ferramenta CAD 3D. Neste experimento, os participantes do grupo PI não possuíam prática compatível com o participante PE, afetando ainda mais este parâmetro.

Assim, o parâmetro mais relevante para o modelo foi a variação do número de peças. Na média, houve 75% de redução do número de peças afetadas com o uso do modelo. Desta forma ficam explícitos os possíveis ganhos com a utilização do modelo em cenários de reprojeto. Além de impactar significativamente menos na estrutura da empresa, permite que os reprojeto sejam realizados por projetistas menos experientes, implicando em menores custos de alteração.

Avaliando os comentários dos participantes pode-se destacar como pontos positivos:

- a) Facilita o processo entre a definição das causas-raiz e soluções;
- b) Direciona o raciocínio para uma solução mais eficaz e de menor grau de complexidade;
- c) Reduz o impacto nos sistemas adjacentes;
- d) Analisa pontualmente as falhas.

Como pontos negativos, foram abordados: a dependência da experiência do projetista para realizar as avaliações no decorrer do processo e a necessidade de um banco de dados mais completo.

No quesito da dependência do projetista, não é a intenção do modelo remover completamente a necessidade do conhecimento do projetista, visto que todo tipo de reprojeto envolve uma parcela inerente de subjetividade. O que se busca é a redução dessa necessidade. Assim, ao se obter um reprojeto completo, como os apresentados pelos participantes PI3 e PI4, conclui-se que essa dependência foi reduzida.

A necessidade de um banco de dados mais completo é um aspecto muito influente no resultado final do experimento. O banco de dados utilizado no experimento é apenas uma proposição generalista. Para a aplicação em um ambiente real, suas entradas devem ser atualizadas para o contexto da empresa.

Assim, faz-se uma avaliação positiva das possibilidades de implementar este modelo em um ambiente real. Com uma preparação do banco de dados adequada à empresa, são possíveis ganhos com este modelo. É certo, também, que um treinamento deverá ser ministrado para compatibilizar os conceitos de propagação de alterações e de reprojeto para garantir o uso eficiente da ferramenta.

5. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

5.1. CONCLUSÕES

Uma oportunidade para conduzir uma investigação no campo da identificação e execução sistemática de reprojetos pontuais em produtos industriais foi caracterizada e examinada.

Foi levantada a importância do reprojeto tanto para o ciclo de vida do produto como na rotina da equipe de desenvolvimento de produtos. Para isso, foram explorados tópicos como: o PDP; o reuso de projetos; a propagação de alterações; e caracterizada a demanda e as características de atividades de reprojeto na indústria de máquinas agrícolas.

O conceito de reprojeto pontual foi abordado, e uma definição formal dele foi proposta com base nos referenciais pesquisados. Sua incidência na indústria de equipamentos agrícolas foi comprovada por meio de dados de projetos obtidos de uma equipe de desenvolvimento de produtos.

Com a junção das informações oriundas da literatura técnica e da vivência do autor do presente trabalho na indústria de máquinas agrícolas, um modelo para a utilização sistemática do reprojeto pontual foi apresentado e devidamente caracterizado. O MUSRP foi inserido no contexto do modelo de referência proposto por Rozenfeld *et al.* (2006). Desta forma, se vale de um modelo testado em diversos ramos para aplicar uma nova forma de abordar as intervenções de reprojetos pontuais.

Para avaliar o modelo, uma ferramenta computacional foi desenvolvida e testada com um grupo de projetistas em início de carreira. Utilizando um projetista com larga experiência como grupo de controle, foram obtidos resultados bastante promissores, como a redução de, em média, 75% de peças alteradas com o mesmo cenário apresentado. Porém, é visto que, para uma avaliação mais conclusiva, mais testes são necessários.

Assim, acredita-se que o objetivo principal desta pesquisa, demonstrado na seção 1.3.1, foi justificado e atingido, visto que o modelo proposto descreve um caminho sistemático para utilização do reprojeto pontual.

5.2. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Nesta seção, são sugeridos aprimoramentos e desenvolvimentos relacionados com o modelo e a ferramenta apresentados.

A fim de melhorar a experiência do projetista com o modelo, é sugerido o desenvolvimento da ferramenta proposta na forma de módulos para os programas CAD 3D. Este formato permite uma integração mais natural do projetista com o modelo, facilitando o uso do mesmo. A possibilidade de integrar este modelo a soluções de gerenciamento de dados de projeto comerciais também tende a favorecer o desempenho do modelo.

A integração com as ferramentas CAD 3D também poderia permitir a identificação automática das interfaces e, assim, possibilitar a avaliação automática da solução sem a dependência do usuário.

A ferramenta poderia abranger de forma mais completa o processo de FTAP, sendo capaz de gerar os diagramas de bloco graficamente, facilitando a identificação dos relacionamentos entre as causas-raiz.

A verificação das interfaces após a alteração de projeto apresentou-se deficiente da forma como é apresentada, visto que não obriga o projetista a reavaliar cada interface. A integração com o sistema CAD 3D pode gerar uma alternativa a este problema, mas outra possibilidade é apresentada: a geração de perguntas dinâmicas feitas ao projetista dependendo das escolhas de interface e restrição.

A alimentação do banco de dados é essencial para a obtenção de resultados aderentes à realidade da empresa. Assim, é de suma importância, ampliar o banco de dados atual da ferramenta para que o processo de personalização em cada empresa seja mais ágil.

REFERÊNCIAS

- BACK, N. et al. **Projeto Integrado de Produtos: Planejamento, Concepção e Modelagem**. Barueri: Manole, 2008.
- ECKERT, C. M. et al. Supporting change processes in design: Complexity, prediction and reliability. **Reliability Engineering And System Safety**, v. 91, n. 12, p. 1521-1534, 2006.
- ECKERT, C.; CLARKSON, P. J.; ZANKER, W. Change and customization in complex engineering domains. **Research in Engineering Design**, London, v. 15, n. 1, p. 1-21, 2004.
- ELDONK, S. J. M. V. et al. Redesign of technical systems. **Knowledge-Based Systems**, v. 9, n. 2, p. 93-104, 1996.
- HASHIM, F. M.; JUSTER, N. P.; PENNINGTON, A. D. A functional approach to redesign. **Engineering with Computers**, London, v. 10, n. 3, p. 125-139, 1994.
- JARRATT, T. A. W. et al. Engineering change: an overview and perspective on the literature. **Research in Engineering Design**, London, v. 22, n. 2, p. 103-124, 2010.
- LI, Z.-S. et al. Model-Based Product Redesign. **International Journal of Computer Science and Network Security**, Seoul, v. 6, n. 1, p. 99-102, 2006.
- MIL-HDBK-338B. **Electronic Reliability Design Handbook**. [S.l.]: U.S. Department of Defense, 1998.
- PAHL, G. et al. **Engineering Design: a systematic approach**. 3rd. ed. London: Springer, 2007.
- ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos: Uma referência para a melhoria do processo**. São Paulo: Saraiva, 2006.
- SMITH, S.; SMITH, G.; SHEN, Y.-T. Redesign for product innovation. **Design Studies**, v. 33, n. 2, p. 160-184, 2012.
- STAMATELATOS, M. et al. **Fault Tree Handbook with Aerospace Applications Version 1.1**. Washington: NASA Office of Safety and Mission Assurance, 2002.
- VOLKSWAGEN DO BRASIL. **Recall. Volkswagen do Brasil**, 2010. Disponível em: <http://www.volkswagen.com/br/pt/servicos/recall.0.html#faq_ModuleColumn_0003_Module_0011>. Acesso em: 19 outubro 2011.

WOGNUM, P. M.; SMITH, I. F. C. Reuse of designs. **Knowledge-Based Systems**, v. 9, n. 2, p. 79-81, 1996.

APÊNDICE A – Questionário aplicado aos participantes do experimento

O questionário apresentado na Figura 37 foi destinado aos participantes do experimento com o objetivo de coletar informações dos mesmos. O questionário é composto de três seções, sendo elas:

- a) Identificação: questões relacionadas à experiência profissional do participante;
- b) Vivência em reprojeto: busca informações sobre como são conduzidas as atividades de reprojeto no meio onde atua profissionalmente;
- c) Uso da ferramenta: coleta informações relativas ao uso da ferramenta durante o experimento e a sua opinião acerca da mesma.

	Ministério da Educação Universidade Tecnológica Federal do Paraná Departamento Acadêmico de Mecânica
Parte 1 - Identificação	
1 - Idade: _____ anos. 2 - Departamento atual: _____ 3 - Cargo: _____ 4 - Formação: _____ 5 - Tempo de empresa: _____ anos e _____ meses. 6 - Tempo atuando no mercado: _____ anos e _____ meses. 7 - Além do cargo atual, já exerceu algum outro cargo? Quais? _____ _____ _____	
Parte 2 – Vivência em reprojeto	
8 - Você participa/acompanha atividades de reprojeto na sua empresa? <input type="checkbox"/> Sim / <input type="checkbox"/> Não 9 - Como as atividades de reprojeto são conduzidas na sua empresa? <input type="checkbox"/> Através de alguma metodologia. <input type="checkbox"/> De forma empírica, somente por profissionais experientes. <input type="checkbox"/> De forma empírica, por profissionais inexperientes COM auxílio. <input type="checkbox"/> De forma empírica, por profissionais inexperientes SEM auxílio. <input type="checkbox"/> Outros: _____	
Parte 3 – Uso da Ferramenta	
10 - Quantas vezes acessou a pasta de ferramentas? _____ vezes. 11 - Quantas vezes realizou pesquisas na internet? _____ vezes. 12 - Quantas vezes percorreu o sistema? _____ vezes. 13 - Em sua opinião, quais são os pontos fortes da ferramenta apresentada? _____ _____ _____ 14 - Em sua opinião, quais são os pontos fracos da ferramenta apresentada? _____ _____ _____	

Figura 37 – Formulário aplicado aos participantes do experimento

APÊNDICE B – Slides apresentados ao grupo de PI no experimento



Figura 38 – Apresentação para a validação da ferramenta MUSRP

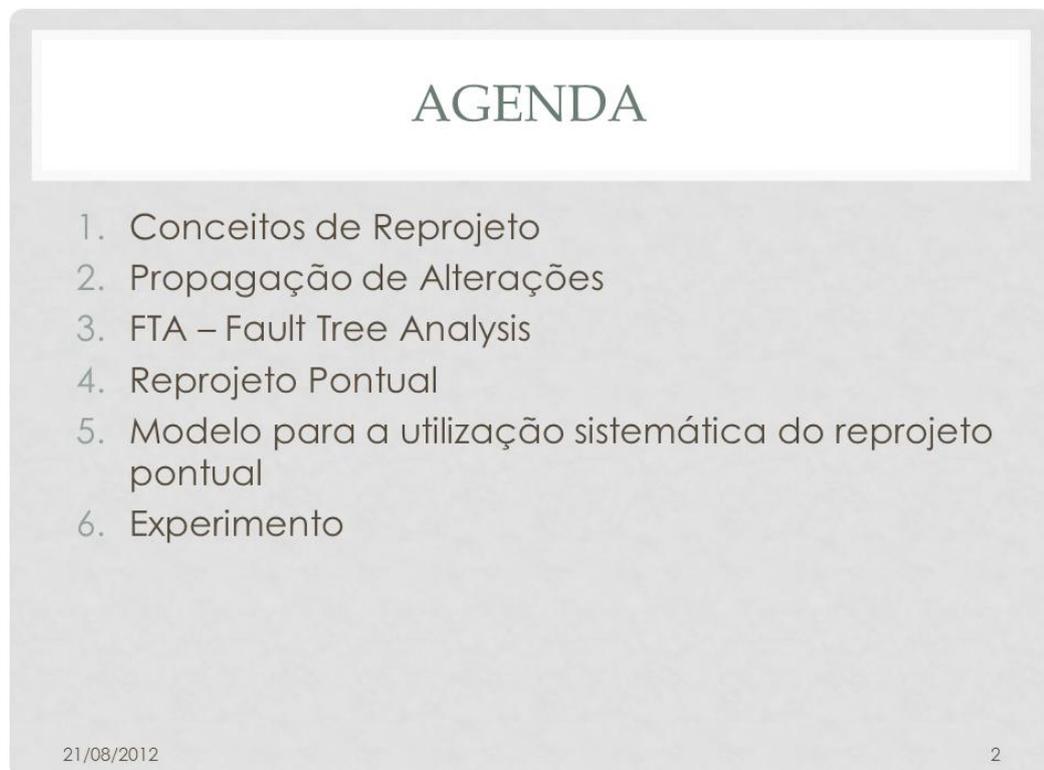


Figura 39 – Apresentação – Agenda

CONCEITOS DE REPROJETO

- Como reprojeto entende-se:

Uma atividade inventiva baseada em um projeto conceitual de um produto já existente, visando melhorar aspectos produtivos ou funcionais, em períodos de tempo inferiores ao projeto de produtos.

21/08/2012

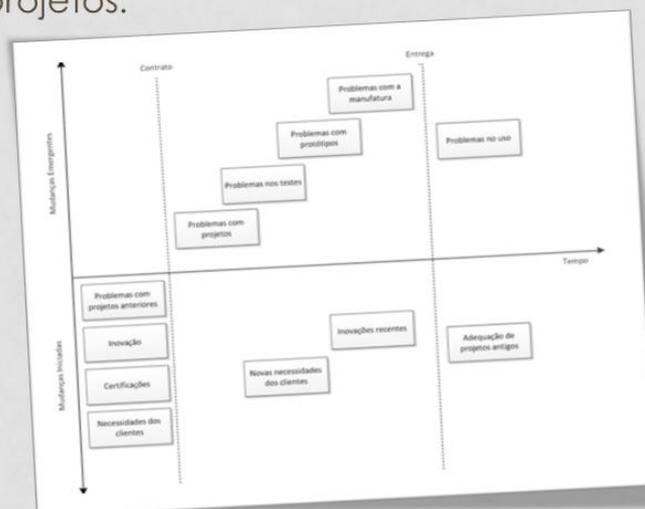
3

Figura 40 – Apresentação – Conceito de reprojeto

CONCEITOS DE REPROJETO

- Fontes de Reprojetos:

- Emergente; e
- Iniciada.



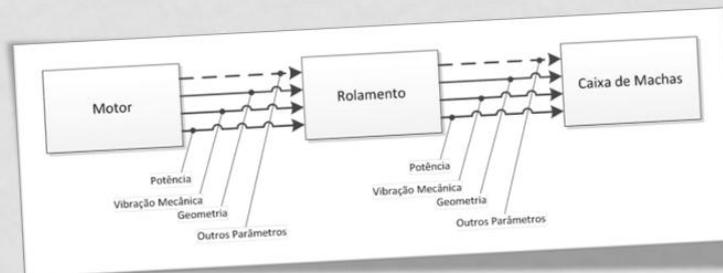
21/08/2012

4

Figura 41 – Apresentação – Fontes de reprojeto

PROPAGAÇÃO DE ALTERAÇÕES

- Baixa previsibilidade e linearidade.
- Propagação através da conexão.
- Exemplos de conexão:
 - Temperatura;
 - Geometria;
 - Vibração;
 - Torque; e
 - Força.



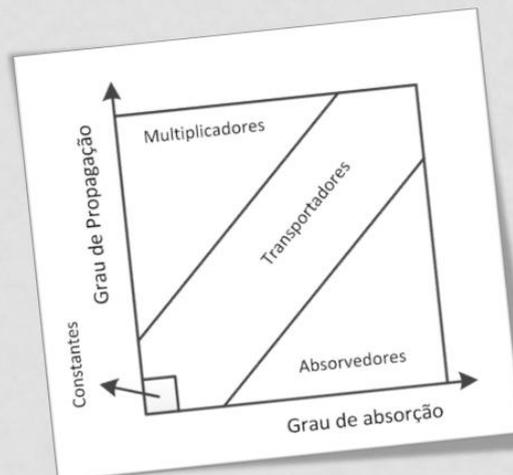
21/08/2012

5

Figura 42 – Apresentação – Propagação de alterações

PROPAGAÇÃO DE ALTERAÇÕES

- Comportamento de propagação:
 - Multiplicadores;
 - Transportadores;
 - Absorvedores; e
 - Constantes.



21/08/2012

6

Figura 43 – Apresentação – Comportamento de propagação

REPROJETO PONTUAL

- Relativo a pequenas alterações de projeto.
- É limitado a um sistema do produto.
- Reduz a necessidade de testes e avaliações.

21/08/2012

7

Figura 44 – Apresentação – Reprojeto pontual

FTA – FAULT TREE ANALYSIS

- Método para a geração de diagramas de bloco
- Objetivo:
 - Encontrar as possíveis causas de falha de um produto; e
 - Mensurar a probabilidade de falha de um produto.
- Blocos que desempenham funções diferentes.
- Etapas:
 - Diagrama de blocos;
 - Árvore de falhas;
 - Desenvolver modelo de probabilidade de falha;
 - Quantificar a probabilidade de falha dos eventos; e
 - Avaliação dos caminhos críticos.

21/08/2012

8

Figura 45 – Apresentação – *Fault Tree Analysis*

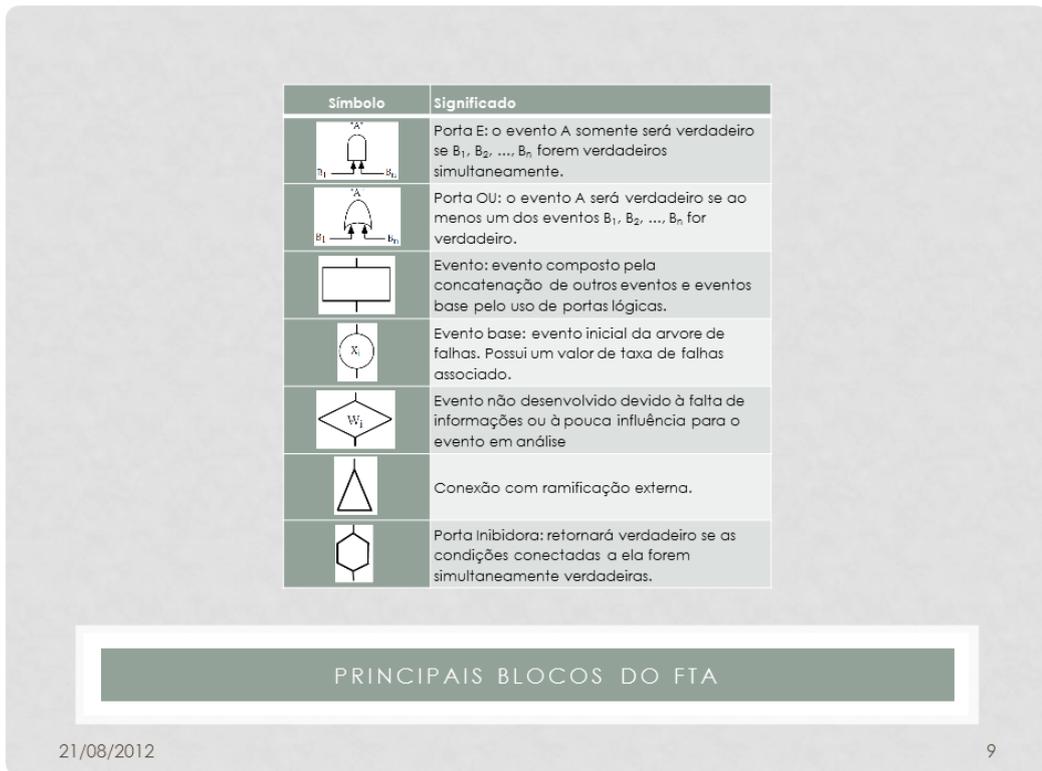


Figura 46 – Apresentação – Principais blocos do FTA

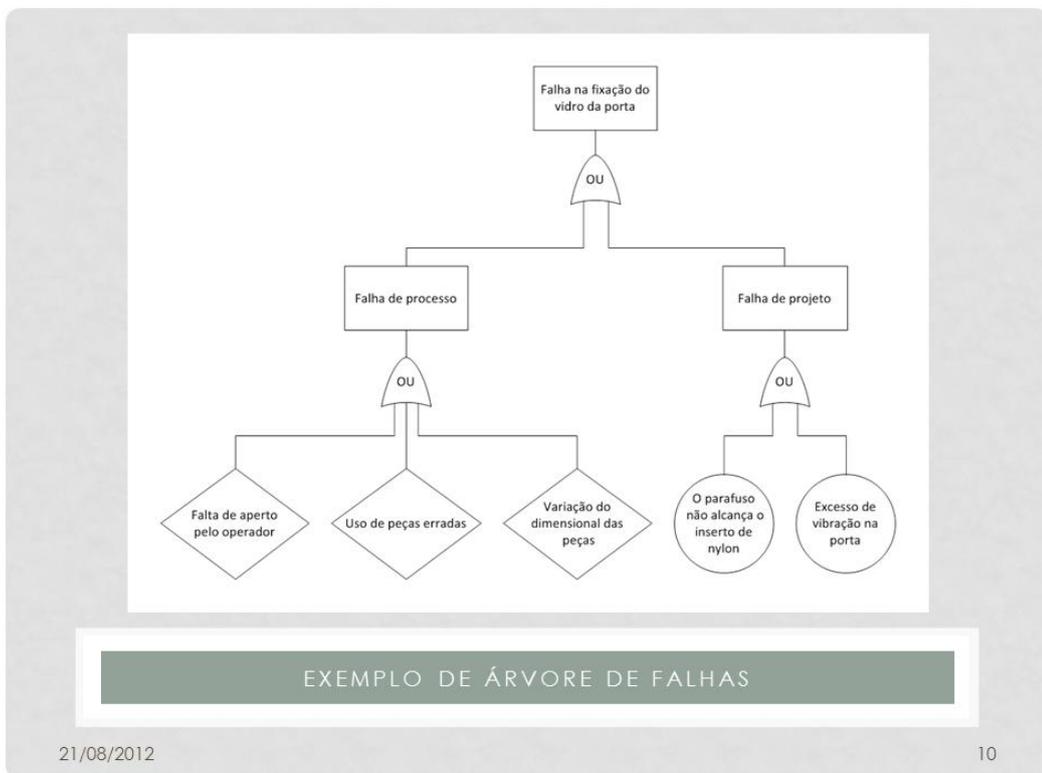


Figura 47 – Apresentação – Exemplo de árvore de falhas

MODELO PARA A UTILIZAÇÃO SISTEMÁTICA DO REPROJETO PONTUAL

- Baseado no acompanhamento de atividades de reprojeto em uma indústria de bens de capital.
- Consiste em uma sequência de ações e uma série de questionamentos.
- Objetivos do modelo:
 - Determinar as causas raiz do fator gerador do reprojeto;
 - Identificar os limites de atuação das alterações no produto;
 - Identificar as limitações impostas pela estrutura da empresa; e
 - Avaliar a possibilidade de implantar a modificação proposta.

21/08/2012

11

Figura 48 – Apresentação – Conceituação do MUSRP

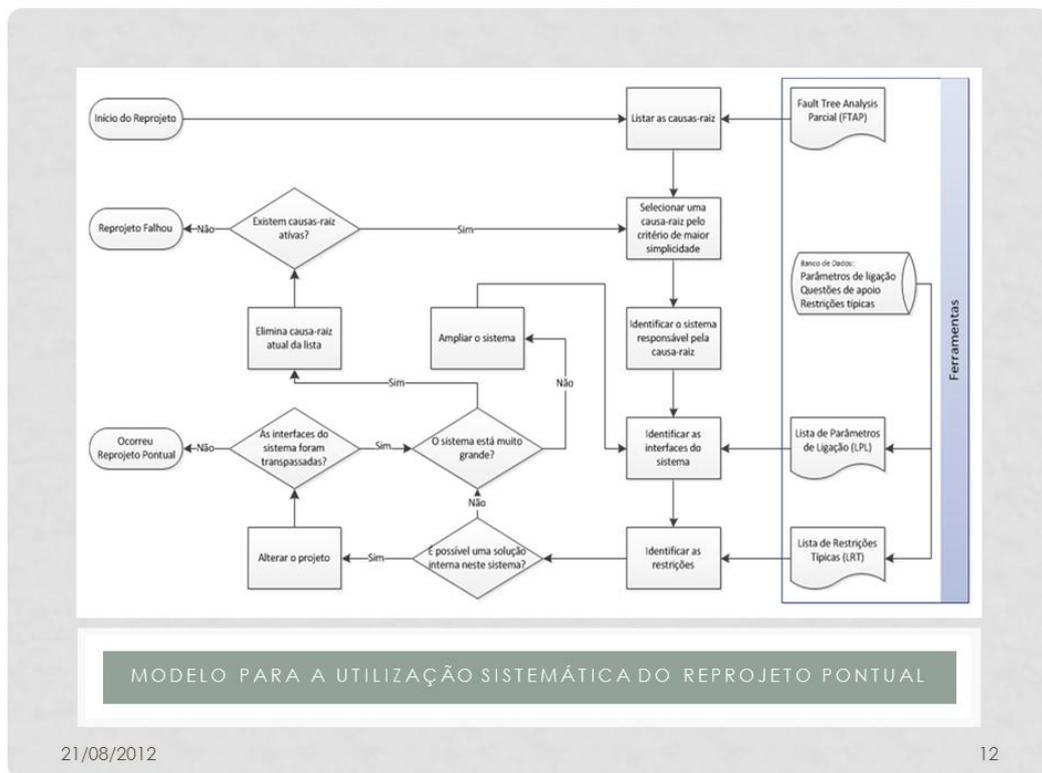


Figura 49 – Apresentação – Fluxograma do MUSRP

MODELO PARA A UTILIZAÇÃO SISTEMÁTICA DO REPROJETO PONTUAL

- Etapas do MUSRP:
 - Listar as causas-raiz do reprojeto;
 - Identificar o sistema responsável;
 - Identificar as interfaces;
 - Identificar as restrições;
 - Avaliar a possibilidade de solução;
 - Avaliar as interfaces; e
 - Reavaliação do sistema.

21/08/2012

13

Figura 50 – Apresentação – Etapas do MUSRP

EXPERIMENTO

- Cenário:
 - Pequena metalúrgica da RMC;
 - Produz diversos produtos para uso residencial;
 - Lista de equipamentos na área de trabalho;
- Tema
 - A empresa está sendo acionada judicialmente devido a queimaduras ocasionadas durante o uso do produto "Churrasqueira de tambor".
 - A queimadura é ocasionada ao toque nos puxadores.
 - É necessária uma ação para corrigir os produtos já vendidos e no estoque.

21/08/2012

14

Figura 51 – Apresentação – Detalhes da atividade



Figura 52 – Apresentação – Agradecimento