

UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA E
DE MATERIAIS

ROBERTO SHIGUERU SATO

**DIRETRIZES PARA ASSEGURAR A QUALIDADE DA
INFORMAÇÃO DA MANUFATURA DE PRODUTOS**

DISSERTAÇÃO

CURITIBA

2018

ROBERTO SHIGUERU SATO

**DIRETRIZES PARA ASSEGURAR A QUALIDADE DA
INFORMAÇÃO DA MANUFATURA DE PRODUTOS**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais da Universidade Tecnológica Federal do Paraná como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica – Área de concentração: Engenharia de Manufatura.

Orientador: Prof. Dr. Milton Borsato

CURITIBA

2018

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação

S253d Sato, Roberto Shigueru

Diretrizes para assegurar a qualidade da informação de
manufatura de produtos / Roberto Shigueru Sato.-- 2018.
74 f.: il.

Disponível via World Wide Web.

Texto em português com resumo em inglês.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica
Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia
Mecânica e de Materiais. Área de Concentração: Engenharia
de Manufatura, Curitiba, 2018.

Bibliografia: f. 69-71.

1. Engenharia mecânica - Dissertações. 2. Sistemas de
informação gerencial - Controle de qualidade. 3. Produtos
novos - Desenvolvimento. 4. Processos de fabricação. 5. Projeto
de produto - Avaliação. 6. Pesquisa operacional. 7. Software -
Desenvolvimento. 8. Interação homem-máquina. 9. Tolerância
(Engenharia). 10. Produção enxuta. 11. Métodos de simulação.
I. Borsato, Milton, orient. II. Universidade Tecnológica Federal do
Paraná. Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica
e de Materiais. III. Título.

CDD: Ed. 23 -- 620.1

Biblioteca Central do Câmpus Curitiba – UTFPR
Bibliotecária: Luiza Aquemi Matsumoto CRB-9/794

TERMO DE APROVAÇÃO DE DISSERTAÇÃO Nº 342

A Dissertação de Mestrado intitulada: **DIRETRIZES PARA ASSEGURAR A QUALIDADE DA INFORMAÇÃO DE MANUFATURA DE PRODUTOS**, defendida em sessão pública pelo Candidato **Roberto Shigueru Sato**, no dia 10 de dezembro de 2018, foi julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia, área de concentração: Engenharia de Manufatura, e aprovada em sua forma final, pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais – PPGEM.

BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Milton Borsato - Presidente - UTFPR

Prof. Dr. Carlos Cziulik - UTFPR

Prof. Dr. Luiz Fernando Rodrigues Campos - Universidade Positivo

A via original deste documento encontra-se arquivada na Secretaria do Programa, contendo a assinatura da Coordenação após a entrega da versão corrigida do trabalho.

Curitiba, ____ de _____ de 20__.

Carimbo e assinatura do Coordenador do Programa

Não vos amoldeis às estruturas deste mundo,
mas transformai-vos pela renovação da mente,
a fim de distinguir qual é a vontade de Deus:
o que é bom, o que lhe é agradável, o que é perfeito.
(Bíblia Sagrada, Romanos 12, 2)

RESUMO

SATO, Roberto Shigueru. **Diretrizes para assegurar a qualidade da informação da manufatura de produtos.** 2018. 74 f. Dissertação – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica e de Materiais, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Curitiba, 2018.

O desenvolvimento tecnológico tem aumentado a competitividade entre as empresas. Alternativas que assegurem a qualidade das informações nas etapas do Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) aumentam a eficiência e vantagem competitiva. A ausência de dados, a integração entre os sistemas e a não utilização de práticas colaborativas podem dificultar o PDP. Informações relevantes para o desenvolvimento do produto estão diretamente associadas aos modelos geométricos tridimensionais (3D), concebidos em ferramentas *Computer-Aided Design* (CAD). Nestes modelos, as informações necessárias para a manufatura, denominadas *Product and Manufacturing Information* (PMI), podem ser interpretadas computacionalmente em fases posteriores de preparação para produção. Esta pesquisa tem como objetivo o desenvolvimento de um conjunto de diretrizes, que permita aos projetistas assegurarem a qualidade da informação no PDP provida por meio de anotações de PMI. Foi adotado o *framework* metodológico denominado *Design Science Research* (DSR) no desenvolvimento do artefato. Na fase de desenvolvimento da solução foi elaborado um fluxograma com oito etapas. Os resultados são sete diretrizes e uma ferramenta para auxiliar a interação homem-máquina. Para a avaliação, foram utilizados critérios de eficiência, generalidade, facilidade de uso e operacionalidade. A empresa que optar pelo conjunto de diretrizes proposto terá a tendência de evitar falhas de projeto e desperdícios na fabricação. Desta forma, terá o potencial de aumentar a produtividade, a eficiência ao longo do PDP, redução dos custos e aumento da qualidade no produto final.

Palavras-chave: Qualidade da Informação, Product Manufacturing Information, PMI, Projeto para Fabricação, DFM, GD&T

ABSTRACT

SATO, Roberto Shigueru. **Guidelines for ensuring the quality of product manufacturing information**. 2018. 74 f. Dissertation – Program of Materials and Mechanic Engineering, Federal Technology University - Paraná. Curitiba, 2018.

The technological development has increased competition among companies. Alternatives that ensure the quality of the Relevant information in the Product Development Process PDP tend to increase efficiency and competitive advantage. Lack of data, integration between systems, and non-use of collaborative practices can make PDP more difficult. Relevant information to product development is directly associated with three-dimensional (3D) geometric models, devised in CAD tools. In these models, information required for manufacturing called *Product and Manufacturing Information* (PMI), It can be interpreted by computationally in later stages of preparation for the production. This research aims the development of a guideline's set to allowing designers to ensure the quality of information in PDP provided through PMI annotations. A methodological approach, called *Design Science Research* (DSR), was adopted in the development of an artifact to reach the proposed objective. In the solution development phase has produced a flow chart with eight steps. The results are seven guidelines and one tool to assist man-machine interaction. For the evaluation, efficiency, generality, ease of use and operability criteria were used. The company opting for the proposed a guideline's set may avoid design flaws and manufacturing waste. In this way, it shall increase productivity, efficiency throughout the PDP, reduce costs and increase quality in the final product.

Keywords: Information Quality, Product Manufacturing Information, PMI, Design for Manufacturing, DFM, GD&T

LISTA DE FIGURAS

| | | |
|-----------|--|----|
| FIGURA 1 | – Riscos/Incertezas e custos no decorrer do projeto | 13 |
| FIGURA 2 | – Visão geral do processo de desenvolvimento de produto | 18 |
| FIGURA 3 | – Atributos de qualidade da informação | 22 |
| FIGURA 4 | – Exemplo de apresentação de anotação de Geometric Dimensioning and Tolerancing (Dimensionamento e Tolerância Geométrica) (GD&T) | 23 |
| FIGURA 5 | – Apresentação PMI - modelo 3D do CAD com anotações GD&T | 25 |
| FIGURA 6 | – Etapas para execução da DSR | 28 |
| FIGURA 7 | – Etapas para execução do <i>ProKnow-C</i> | 29 |
| FIGURA 8 | – Fluxograma estratégia de desenvolvimento da solução | 32 |
| FIGURA 9 | – Mapa mental para relacionar as categorias da QI com as anotações de PMI | 36 |
| FIGURA 10 | – Parte A do mapa mental | 37 |
| FIGURA 11 | – Parte B do mapa mental | 38 |
| FIGURA 12 | – Parte C do mapa mental | 39 |
| FIGURA 13 | – Parte D do mapa mental | 40 |
| FIGURA 14 | – Etapas de elaboração do conjunto de diretrizes proposta | 42 |
| FIGURA 15 | – Parte A Problemas encontrados | 43 |
| FIGURA 16 | – Parte C Soluções propostas com as sete diretrizes | 44 |
| FIGURA 17 | – Modelo de componente mecânico: tubo para motor | 52 |
| FIGURA 18 | – Tela inicial da ferramenta | 53 |
| FIGURA 19 | – Tela da diretriz 01 da ferramenta | 53 |
| FIGURA 20 | – Exemplo da diretriz 01 | 54 |
| FIGURA 21 | – Tela da diretriz 02 da ferramenta | 54 |
| FIGURA 22 | – Exemplo da diretriz 02 | 55 |
| FIGURA 23 | – Tela da diretriz 03 da ferramenta | 55 |
| FIGURA 24 | – Exemplo da diretriz 03 | 56 |
| FIGURA 25 | – Tela da diretriz 04 da ferramenta | 56 |
| FIGURA 26 | – Exemplo da diretriz 04 | 57 |
| FIGURA 27 | – Tela da diretriz 05 da ferramenta | 57 |
| FIGURA 28 | – Exemplo da diretriz 05 | 58 |
| FIGURA 29 | – Tela da diretriz 06 da ferramenta | 58 |
| FIGURA 30 | – Exemplo da diretriz 06 | 59 |
| FIGURA 31 | – Tela da diretriz 07 da ferramenta | 59 |
| FIGURA 32 | – Exemplo da diretriz 07 | 60 |
| FIGURA 33 | – Tela da aba Report da ferramenta | 60 |
| FIGURA 34 | – Tela do conjunto diretriz na ferramenta | 61 |
| FIGURA 35 | – Resultado da avaliação para as diretrizes | 65 |
| FIGURA 36 | – Resultado da avaliação para a ferramenta | 65 |

LISTA DE QUADROS

| | | | |
|----------|---|---|----|
| QUADRO 1 | – | Descrição dos atributos da qualidade das informações | 20 |
| QUADRO 2 | – | Mapeamento para anotações PMI | 23 |
| QUADRO 3 | – | Características da Apresentação e Representação do PMI | 26 |
| QUADRO 4 | – | Organização do questionário para as anotações de PMI | 45 |
| QUADRO 5 | – | Correspondência das diretrizes com os atributos da qualidade das informações | 49 |
| QUADRO 6 | – | Modelo de questionário para avaliação | 64 |
| QUADRO 7 | – | Respostas Engenheiro I | 72 |
| QUADRO 8 | – | Respostas Engenheiro II | 73 |
| QUADRO 9 | – | Respostas Engenheiro III | 74 |

LISTA DE ABREVIATURAS

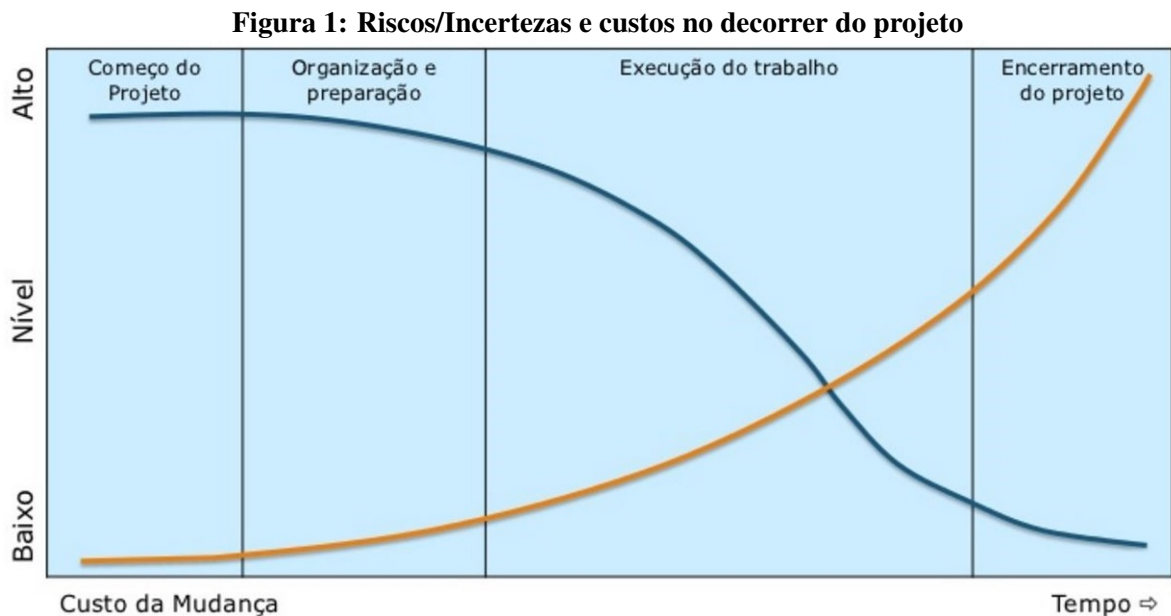
- ASME** American Society of Mechanical Engineers (Sociedade Americana de Engenheiros Mecânicos)
- CAD** Computer-Aided Design (Projeto Assistido por Computador)
- DFA** Design for Assembly (Projeto para Montagem)
- DFI** Design for Inspectability (Projeto para Inspeção)
- DFM** Design for Manufacturing (Projeto para Manufatura)
- DFMEA** Design Failure Mode and Effects Analysis (Análise de Modo e Efeitos de Falha de Projeto)
- DFR** Design for Recyclability (Projeto para Reciclagem)
- DFS** Design for Serviceability (Projeto para Serviços)
- DFX** Design for “X” (Projeto para outras metodologias específicas)
- DSR** Design Science Research (Projeto de Pesquisa Científica)
- GD&T** Geometric Dimensioning and Tolerancing (Dimensionamento e Tolerância Geométrica)
- ISO** International Organization for Standardization (Organização Internacional para Padronização)
- PDP** Processo de Desenvolvimento de Produto
- PMI** Product and Manufacturing Information (Informação de Manufatura de Produto)
- QI** Qualidade de Informação
- VBA** Visual Basic for Applications (Aplicação Básico Visual)

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| 1 INTRODUÇÃO | 13 |
| 1.1 OBJETIVO GERAL | 15 |
| 1.1.1 Objetivos Específicos | 15 |
| 1.2 JUSTIFICATIVA | 15 |
| 1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO | 16 |
| 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA | 17 |
| 2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E A INFORMAÇÃO | 17 |
| 2.2 DESIGN FOR “X” | 18 |
| 2.3 QUALIDADE DA INFORMAÇÃO NA MANUFATURA | 19 |
| 2.4 INFORMAÇÃO DE MANUFATURA DO PRODUTO (PMI) | 21 |
| 2.4.1 Apresentação e Representação do PMI | 24 |
| 3 ASPECTOS METODOLÓGICOS | 27 |
| 3.1 CARACTERIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE PESQUISA | 27 |
| 3.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA | 27 |
| 3.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO | 29 |
| 3.3.1 Identificação do problema e motivação | 29 |
| 3.3.2 Definição dos objetivos da solução | 31 |
| 3.3.3 Desenvolvimento da solução | 31 |
| 3.3.4 Demonstração da solução | 33 |
| 3.3.5 Avaliação da solução | 33 |
| 3.3.6 Comunicação dos resultados | 34 |
| 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO | 35 |
| 4.1 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO | 35 |
| 4.2 DEMONSTRAÇÃO DA SOLUÇÃO | 52 |
| 4.3 AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO E ANÁLISE DA DISCUSSÃO | 62 |
| 5 CONCLUSÃO | 67 |
| REFERÊNCIAS | 69 |
| Apêndice A – RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS | 72 |

1 INTRODUÇÃO

O lançamento de um produto no mercado é determinado pela forma como é concebido, desenvolvido e fabricado. As fases iniciais de um projeto de produto são caracterizadas por muitas incertezas. Os riscos decorrentes da falta de informação sobre as etapas seguintes podem agregar custos desnecessários. No início do projeto os custos envolvidos no Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) são baixos, ao mesmo tempo que as decisões tomadas possuem alto impacto nas etapas seguintes. À medida que o gerenciamento da informação é implantado, dados são coletados e o grau de incerteza é reduzido. Nas etapas de execução, equipamentos e insumos ligados ao processo de produção já foram adquiridos, influenciando no crescimento exponencial da curva dos custos da mudança. Nos estágios finais, qualquer alteração reflete em custos elevados, é uma relação "causa efeito". Portanto, resolvendo este problema as empresa brasileiras/multinacionais, deixariam de refletir essa baixa eficiência, baixa produtividade e se tornariam mais competitivas (Figura 1)(INSTITUTE, 2013).



Fonte: PMI (2013)

Decisões tomadas no início do projeto podem afetar diretamente aspectos ligados aos custos e qualidade ao longo de todo o ciclo de vida (ROZENFELD et al., 2007). Validações e análises realizadas nas fases iniciais do projeto reduzem retrabalhos e custos excessivos com protótipos físicos, os quais impactam diretamente no custo do PDP e, conseqüentemente, do

produto final (KOEN et al., 2001).

O PDP, quando visualizado como um fluxo de informações, consiste basicamente na criação, comunicação e utilização das informações de produto (ROZENFELD et al., 2007). Dentre todos os insumos de uma empresa, a informação e o conhecimento têm conquistado grande espaço. A capacidade da organização em gerir a informação e o conhecimento pode cooperar para inovações de produtos, processos e serviços, promovendo maior vantagem competitiva. (FANG et al., 2016).

A abordagem *Design for Manufacturing* (DFM) trata da incorporação dos conhecimentos ligados à fabricação ao projeto de produto, de tal forma que as características dos processos de fabricação possam ser levadas em consideração na etapa de projeto, ainda quando o custo de modificação é relativamente baixo (EASTMAN, 2012). Uma das formas desenvolvidas para garantir que as informações relevantes para fabricação sejam trabalhadas antecipadamente no PDP é a associação destas informações diretamente em modelos geométricos tridimensionais (3D) concebidos em ferramentas *Computer-Aided Design* - Projeto Assistido por Computador (CAD). Os elementos de informação necessários para a manufatura, denominados *Product and Manufacturing Information* - Informação de Manufatura de Produto (PMI), podem ser interpretados computacionalmente em fases posteriores de preparação para produção.

Não utilizar as informações disponíveis durante as etapas do PDP, ou não analisá-las, pode impactar o processo negativamente, acarretando em desperdícios e não conformidades (PAHL; BEITZ, 1996). A apresentação incorreta e a má interpretação do PMI podem resultar em atrasos significativos de projeto e erros caros (HEDBERG et al., 2016). Liu et al. (2013) salientam ainda que a identificação das revisões, continua a ser realizada aleatoriamente, quando deveriam ser focadas nas mais relevantes, a fim de resolver o problema da qualidade.

O sistema de transferência de conhecimento da Toyota foi analisado e percebeu-se que várias unidades organizacionais podem cooperar para uma transferência efetiva de conhecimento. Mais de uma unidade organizacional pode funcionar como uma rede de transferência de conhecimento. Diferentes tipos de conhecimento podem ser transferidos por diferentes unidades. O conhecimento tácito e explícito também pode ser transferido por diferentes unidades e diferentes posições de rede podem ativar a transferência de conhecimento. Unidades organizacionais podem trabalhar complementarmente e configurar uma rede de transferência de conhecimento (SUH, 2015).

A presente pesquisa inicialmente realizou uma revisão estruturada da literatura, composta de análise bibliométrica e sistêmica, para identificar o estado da arte, principais tendências e lacunas existentes na literatura sobre os temas Desenvolvimento de Produto,

Manufatura Digital e Informação de Fabricação de Produto. Por meio desta etapa inicial, identificou-se três principais oportunidades de pesquisa para desenvolvimento: (i) solucionadores de problemas ou sistemas inteligentes, (ii) ontologias e interoperabilidade semântica, e (iii) interface de fácil utilização a partir de anotações Product and Manufacturing Information (Informação de Manufatura de Produto) (PMI). O detalhamento desta revisão é apresentado no artigo Sato et al. (2018).

Nesta pesquisa, optou-se por abordar o desenvolvimento de uma interface de fácil utilização a partir de anotações PMI. A seguinte indagação foi formulada: De que modo as anotações de PMI poderiam ser asseguradas quanto à sua qualidade levando em conta as fases subsequentes do PDP, de tal forma que sejam de fato informações, como Liker e Morgan (2006) definem, “na medida certa, no momento certo e para os agentes certos”?

1.1 OBJETIVO GERAL

O objetivo geral do presente trabalho é desenvolver um conjunto de diretrizes que permita aos projetistas assegurar a qualidade da informação provida por meio de anotações de PMI no PDP.

1.1.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Para atender ao objetivo geral, foram definidos os seguintes objetivos específicos:

- a) Elaboração de um diagnóstico na empresa parceira a respeito do uso do PMI;
- b) Definição de um conjunto de diretrizes, que correlacione anotações de PMI com qualidade da informação;
- c) Desenvolvimento de uma ferramenta de software que facilite a utilização do conjunto de diretrizes por parte dos projetista;
- d) Avaliação do conjunto de Diretrizes e da ferramenta de software no contexto industrial;

1.2 JUSTIFICATIVA

O compartilhamento de conhecimento é considerado pela maioria das empresas de manufatura como uma das questões mais importantes na gestão, pois proporciona maior eficiência na qualidade e no tempo do PDP (GAO; BERNARD, 2018). Os problemas que

mais impactam no PDP, como a falta de informações, integração entre sistemas de software, comunicação de troca de dados, interfaceamento em modelos geométricos, e a não utilização de práticas de projeto colaborativo, necessitam ser abordados. Desta forma, será possível gerar conhecimento, a fim de desenvolver os objetivos e criar soluções mais acessíveis aos usuários (COSTA et al., 2013).

A disposição inadequada das anotações PMI pode afetar a qualidade da informação e gerar perda de informações que, por consequência, resultará em erros de projeto e fabricação. De acordo com Ahmed e Han (2015), as anotações PMI influenciam diretamente no tempo, qualidade e custos da manufatura, bem como nas decisões do projeto.

O presente conjunto de diretrizes, poderá guiar os projetistas a assegurar a disposição das informações de manufatura do produto com qualidade durante a fase inicial do PDP. Pretende-se contribuir evitando falhas de projeto e desperdícios na fabricação (com tempo, material e mão de obra). O uso do conjunto das diretrizes aumentará a produtividade, a eficiência ao longo do PDP, reduzirá custos e aumentará a qualidade no produto final. Por consequência, a satisfação do cliente será maior e a empresa poderá ganhar em competitividade no mercado.

Para desenvolver esta pesquisa utilizou-se como parceira em um cenário real, uma empresa multinacional, bastante representativa, lider no mercado no seguimento de veículos automotivo. Selecionou-se o departamento de desenvolvimento de projetos mecânicos de componentes/conjuntos, como cenário, tanto para o desenvolvimento da solução, quanto para a demonstração e avaliação da solução proposta, por se tratar diretamente com o PMI, nas fases iniciais do PDP.

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

Nesta presente pesquisa, o capítulo inicial apresenta de forma introdutória o contexto em que está inserida, os objetivos geral e específicos, assim como a justificativa para a sua elaboração. Em seguida, no Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórica necessária para que o estudo seja compreendido. O Capítulo 3 seguinte, apresenta os aspectos metodológicos utilizados no desenvolvimento deste trabalho de pesquisa. No Capítulo 4 os resultados e discussões do desenvolvimento do modelo proposto, sua demonstração e avaliação são apresentados. Por fim, o Capítulo 5 apresenta a conclusões, expondo também as dificuldades encontradas durante o desenvolvimento da pesquisa e sugere recomendações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo são apresentados os conceitos que foram utilizados diante deste trabalho de pesquisa. O Processo de Desenvolvimento de Produto e sua relação com as informações é demonstrado na seção 2.1. Em seguida, é exposto o conceito de Design for “X”. A seção 2.3 mostra como referência a Qualidade da Informação na Manufatura. Por fim, destaca-se a Informação da Manufatura do Produto (PMI) e sua subdivisão em Apresentação e Representação. Dessa maneira, cumpre-se o objetivo de retratar todos os conceitos e definições necessários para a compreensão do presente trabalho.

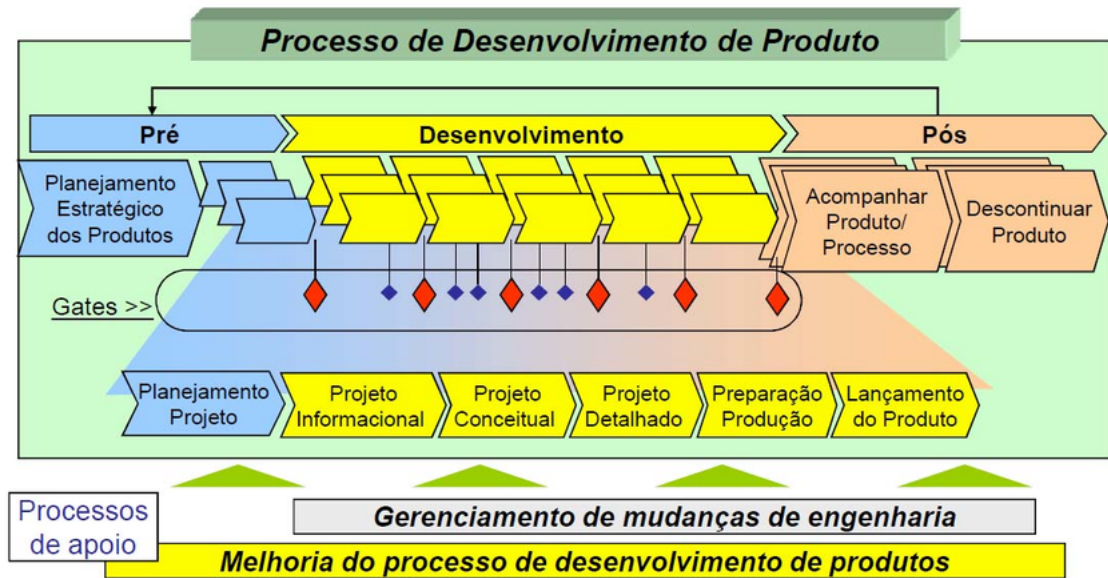
2.1 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTOS E A INFORMAÇÃO

O Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) corresponde a um conjunto de atividades que se inicia com a definição do produto até a sua descontinuidade, considerando necessidades de mercado, possibilidades e restrições tecnológicas. Para estabelecer o fluxo de atividades do PDP, as empresas normalmente baseiam-se em modelos de referência genéricos. Modelos de referência são uma representação gráfica ou textual de um PDP ideal, que servem de base para a melhoria ou elaboração do PDP de uma determinada empresa. Esses modelos asseguram uma visão única do PDP para toda a empresa e a repetitividade dos processos de projeto (ROZENFELD et al., 2007).

Conforme a ilustração da Figura 2, as atividades do PDP se dividem em três macro fases: i) Pré-desenvolvimento; ii) Desenvolvimento; e iii) Pós-desenvolvimento. As macro fases de pré e pós-desenvolvimento são mais genéricas e podem ser empregadas tanto em empresas de fabricação de bens de consumo duráveis e de capital, como também em outros tipos de empresa. A macro fase de desenvolvimento enfatiza os aspectos tecnológicos correspondentes à definição de um produto em si, assim como suas características e forma de produção. Portanto, tais atividades são dependentes da tecnologia envolvida no produto.

O PDP é um processo complexo e, segundo Ullman (2001), pode ser destacado por tomadas de decisão a serem realizadas ao longo de seu desenvolvimento. Por esse motivo o PDP é um processo que demanda intensa troca de informações. Segundo KNEEBONE (1998), dados e informações apresentam definições diferentes. Dados são obtidos por meio de sensores ou outros artefatos. O resultado da sintetização destes dados da origem às informações.

Figura 2: Visão geral do processo de desenvolvimento de produto



Fonte: Rozenfeld et al. (2007)

Assim, pode-se afirmar que o PDP apresenta vários fluxos de informação que envolvem diversas áreas, representando uma rede de informações. Cada participante ou equipe coleta informações de entrada necessárias, realiza análises, toma decisões e finalmente disponibiliza novas informações às etapas seguintes (YASSINE; SREENIVAS; ZHU, 2008). Nesse sentido a qualidade das informações utilizadas é de fundamental importância.

2.2 DESIGN FOR “X”

Design for “X” (Projeto para outras metodologias específicas) (DFX) é uma abordagem que auxilia as empresas a mudar a forma de gerenciar o desenvolvimento de produtos, a fim de se tornar mais competitivas. Embora produto e processo simultâneo (por vezes referido como engenharia simultânea) incorpora riscos inerentes, os benefícios do paralelismo pode ser substancial quando esta abordagem se traduz em obter produtos para o mercado mais rapidamente. e permite a melhor utilização dos recursos disponíveis dentro do”DFX. O ”X”em DFX representa várias outras metodologias específicas para diversas situações, inspeção, serviço, montagem, dentre outros. conforme o conhecimento que se pretende incorporar ao projeto de produto (GATENBY; FOO, 1990; KEYS, 1990; MEERKAMM, 1994).

Desta norma é possível citar: Design for Assembly (Projeto para Montagem) (DFA), Design for Inspectability (Projeto para Inspeção) (DFI), Design for Recyclability (Projeto para Reciclagem) (DFR), Design for Serviceability (Projeto para Serviços) (DFS), Design for

Manufacturing (Projeto para Manufatura) DFM, entre outros. O Design for Manufacturing (Projeto para Manufatura) (DFM), concentra-se no projeto para manufatura, que faz parte do ciclo de vida de produto (STOLL, 1986; DEAN; SALSTROM, 1990; YOUSSEF, 1994).

DFM é a prática de projetar produtos com foco em fabricação. A pronta consideração das questões de fabricação pode encurtar o tempo de ciclo de desenvolvimento do produto, minimizar o custo geral de desenvolvimento e garantir uma transição suave para a produção. Bralla (1999), Korngold e Luscher (2000), com contribuição de forma eficiente para a informação da qualidade.

2.3 QUALIDADE DA INFORMAÇÃO NA MANUFATURA

O contexto do pensamento *lean* conforme, Womack et al. (1991) destaca cinco pontos fundamentais: qualidade total imediata, minimização do desperdício, melhoria contínua, processos "*pull*" e flexibilidade. A qualidade total imediata corresponde a busca pelo "defeito zero". Ou seja, antecipar a detecção e solução de problemas. A minimização do desperdício corresponde eliminar atividades que não tem valor agregado e a otimização do uso de recursos. A melhoria contínua propõe a redução de custos, melhoria da qualidade, aumento da produtividade e compartilhamento de informações. Os processos "*pull*" correspondem a produzir somente quando se tem uma demanda. A intenção da flexibilidade é produzir rapidamente diferentes lotes com grande variedade de produtos.

Em resumo, o pensamento *lean* tem como objetivo desenvolver um processo otimizado, com uso adequado de materiais, redução de desperdícios e ser flexível a possíveis mudanças. Com base neste conceito, destaca-se a importância da qualidade de informações. De acordo com Strong, Lee e Wang (1997), Qualidade de Informação (QI) corresponde a sua capacidade de ser adequada e utilizada por seus consumidores. QI pode ser caracterizada por 4 categorias, definidas por 15 atributos (Quadro 1). O passo seguinte compreende os itens integrantes da qualidade da informação. Strong, Lee e Wang (1997) descrevem as quatro categorias: intrínseco, acessibilidade, contextual e representativo.

Segundo Strong, Lee e Wang (1997), a categoria QI intrínseca está relacionada aos diferentes tipos de fontes de informações. Os consumidores destas informações não são capazes de reconhecer os problemas apresentados, mas identificam que estas entram em conflito. A categoria QI de acessibilidade está relacionada a acessibilidade técnica, representação das informações e volume de informações que são interpretadas pelos consumidores. No contexto do desenvolvimento do produto, voltadas para as anotações do PMI, a categoria QI contextual, corresponde as seguintes características relacionadas: às informações faltantes

ou incompletas, informações inadequadamente definidas ou medidas (quando associadas a dados) e informações que não podem ser apropriadamente agregadas. A última categoria, QI representativa, corresponde às seguintes características: acesso a informações que necessitam de diversos especialistas para que possam ser interpretadas e informações descritas por meio de imagens e texto.

Dentro de cada categoria são definidas os atributos que serão relacionadas no presente estudo. O Quadro 1 apresenta atributos da qualidade os quais Bauch (2004) transcreve cada um destes em atributos formando uma casa com quatro pilares representando as categorias (Figura 3).

Quadro 1: Descrição dos atributos da qualidade das informações

| Categorias | Cód. | Atributos | Definição |
|----------------------------|-------------|------------------|--|
| Intrínseco | A1 | Acuracidade | Os dados estão corretos, confiáveis e certificados sem erros. |
| | A2 | Objetividade | A informação é imparcial. |
| | A3 | Confiabilidade | A informação é altamente considerada em termos de fonte. |
| | A4 | Credibilidade | A informação é considerada verdadeira e crível. |
| Acessibilidade | A5 | Acessibilidade | A informação está disponível, ou fácil e rapidamente recuperável. |
| | A6 | Segurança | O acesso à informação é restringido apropriadamente para manter sua segurança. |
| Contextual | A7 | Relevância | A informação é aplicável e útil para a tarefa em questão. |
| | A8 | Valor Agregado | A informação é benéfica, fornece vantagens de seu uso. |
| | A9 | Pontualidade | As informações estão suficientemente atualizadas para a tarefa em questão. |
| | A10 | Compleitude | Não está faltando informação e é de amplitude e profundidade suficientes para a tarefa em questão. |
| Continua na próxima página | | | |

Quadro 1 – conclusão da página anterior

| Categorias | Cód. | Atributos | Definição |
|-------------------|-------------|---------------------------|---|
| | A11 | Quantidade de Informação | A quantidade ou o volume de dados disponíveis é apropriado. |
| Representativo | A12 | Interpretabilidade | Os dados estão em linguagem e unidades apropriadas e as definições de dados são claras. |
| | A13 | Facilidade de Compreensão | Os dados são claros sem ambigüidade e facilmente compreendidos. |
| | A14 | Representação Concisa | Dados são representados de forma compacta. Ou seja, breves na apresentação mas completos e diretos. |
| | A15 | Representação Consistente | Informações são apresentadas no mesmo formato e compatíveis com os dados anteriores. |

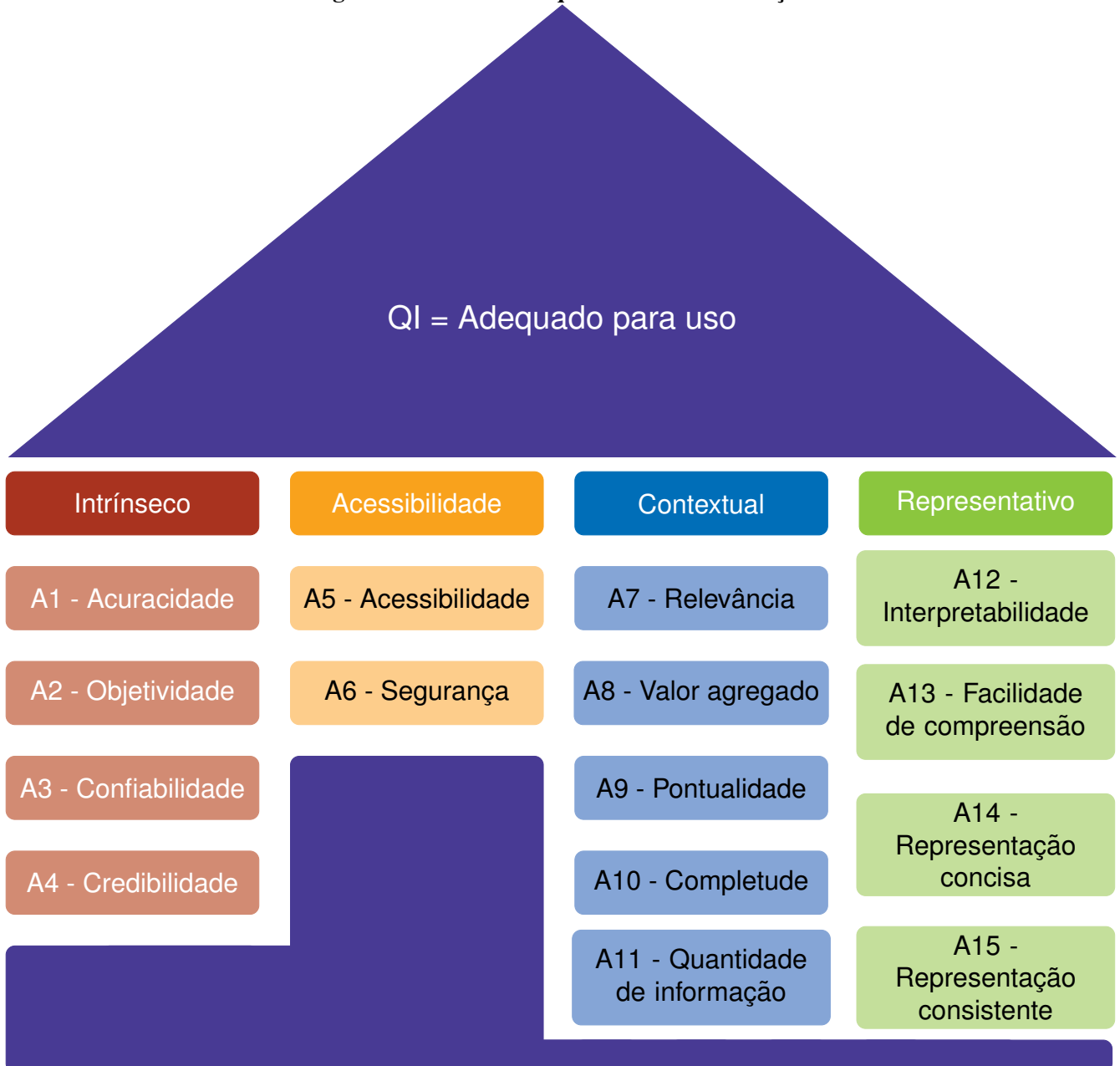
Fonte: Adaptado de Strong, Lee e Wang (1997)

2.4 INFORMAÇÃO DE MANUFATURA DO PRODUTO (PMI)

O PMI consiste em anotações e atributos associados às bordas e faces do modelo 3D do *Computer-Aided Design* (CAD) com o propósito de detalhar a geometria do produto, e suas especificações na perspectiva de fabricação. (FRECHETTE; JONES; FISCHER, 2013). As anotações PMI incluem Dimensionamento e Tolerância Geométrica - GD&T (*Geometric Dimensioning and Tolerancing*) e não geométricos, tais como especificações de textura de superfície, requisitos de acabamento, notas de processo, especificações de materiais e símbolos de soldagem, dentre outros.

O GD&T é uma linguagem simbólica usada para comunicar tolerância, em peças fabricadas, visando funcionabilidade, montagem inclusive custos, dentre outros. As simbologias associadas ao GD&T está dividido em: (i) Apresentação - que utiliza as Normas ASMEY.14.41-2012 e ISO16792-2015; e a (ii) Sintaxe e Semântica de GD&T, que são os padrões da indústria, que utiliza as Normas ASMEY.14.5-2009 e ISO1101-2017 (Quadro 2). A sintaxe significa a indicação nos desenhos através de elementos, símbolos, dentre outras, enquanto que a semântica significa que é o resultado da aplicação após sintaxe ou seja, a peça real, após a utilização das indicações das sintaxes, se está de fato como indicado na sintaxe (anotações de PMI).

Figura 3: Atributos de qualidade da informação



Fonte: Adaptado de Bauch (2004)

Estas anotações de GD&T foram desenvolvidas para abordar problemas relacionados à descrição de variações na geometria da peça e na sua respectiva montagem ((SRINIVASAN, 2008; FISCHER, 2015)). A Figura 4 mostra um exemplo típico de uma anotação GD&T com três componentes distintos na notação, que são:

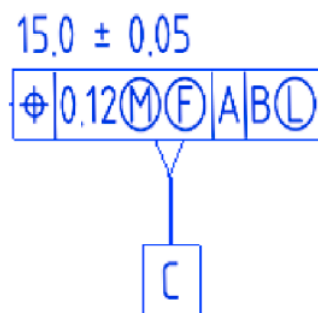
- Dimensão linear (15.0) com tolerância mais-menos (0.05);
- Quadro de controle de recursos com três seções:

Quadro 2: Mapeamento para anotações PMI

| | | | | | |
|-----|-----|-----------------------|---|-------------------|-------------------|
| CAD | PMI | Anotações | GD&T | ASME Y 14.41-2012 | Apresentação |
| | | | | ISO 16792-2015 | |
| | | | | ASME Y 14.5-2009 | Síntaxe Semântica |
| | | | | ISO 1101-2017 | |
| | | Dados não geométricos | Especificações da textura de superfície | | |
| | | | Requisitos de acabamento | | |
| | | | Notas de processo | | |
| | | | Especificação do material | | |
| | | | Símbolo de soldagem | | |
| | | Atributos | | | |

Fonte: Adaptado de Lipman e Lubell (2015)

- i) Símbolo de posição (\oplus);
 - ii) Definição da Zona de Tolerância (0.12) com condição máxima do material e modificadores de estado livre, (M) (*Máximo material condition*) e (F) (*Free-state modifier*) condição de estado livre, partes não-rígido em círculos respectivamente;
 - iii) Quadro de Referência a *datums* “A” e “B” com um modificador de condição de material mínimo (L) (*least-* menor requisito de material) em círculo).
- c) *Datum Feature* “C”.

Figura 4: Exemplo de apresentação de anotação de GD&T

Fonte: Lipman e Lubell (2015)

A Figura 5 apresenta um exemplo de modelo 3D do CAD com as anotações GD&T de apresentação, incluindo dimensões, tolerâncias, ferramentas de controle de geometria, zonas de tolerância, quadros de referência e recursos de referência.

Existem casos de não-conformidade no momento em que o projetista insere as anotações de PMI. por exemplo; em relação às Normas, e ou função, e ou fabricação, e ou montagem, e ou

em relação aos custos, dentre outros. As seguintes informações do PMI poderiam estar ausentes erradas, sem necessidade, não recomendadas, dentre outros, como por exemplo:

- Não possui referências de travamento nos graus de liberdade de Movimento de Rotação e ou Translação;
- Não possui os limites de mais e menos na dimensão;
- Não possui um modificador no referencial da referência e a tolerância de dimensão;
- Não possui o símbolo do diâmetro da cota;
- Tem a dimensão errada e está faltando o modificador da zona de tolerância;
- Está faltando o modificador de zona de tolerância;
- Tem o valor da zona de tolerância incorreta;
- Está faltando a tolerância.

Quando o metrologista descobre que as anotações do PMI estão errados, o projeto já está bem adiantado, ou seja já, estão com o protótipo, ferramental e dispositivos prontos, então qualquer alteração pode impactar nos custos de mudança que serão bastante altas, é uma relação “causa efeito”.

Por esta razão é de grande importância, inserir as anotações de PMI dentro de um conjunto de diretrizes que permita assegurar a qualidade das informações de manufatura do produto já no início do projeto.

Porque resolvendo este problema as empresa brasileiras/multinacionais, deixariam de refletir essa baixa eficiência, baixa produtividade e se tornariam mais competitivas.

2.4.1 APRESENTAÇÃO E REPRESENTAÇÃO DO PMI

Uma distinção importante é a diferença entre a representação e apresentação do PMI (FEENEY; FRECHETTE; SRINIVASAN, 2015).

As características de representação e apresentação do PMI descrevem a geometria do produto, sistemas de coordenadas, geometria suplementar, anotações e visualizações salvas, conforme (LIPMAN; LUBELL, 2015).

A apresentação do PMI (também conhecido como PMI gráfico) consiste em elementos de geometria, como linhas, arcos, cor, forma e posicionamento, que descrevem aparências

a inclusão dessas informações, então é possível, que elas sejam repassadas a outros setores da mesma organização, ou até mesmo para fornecedores.

STEP (*STandard for the Exchange of Product model data* - Padrão para a Troca de dados do Modelo do Produto)

A Tabela 3, ilustra de uma forma resumida as principais diferenças entre as características de apresentação e representação do PMI.

Quadro 3: Características da Apresentação e Representação do PMI

| | Anotações | Sistema de coordenadas | Geometria suplementar | Vista salva |
|----------------------|--|--------------------------------|-----------------------|-----------------|
| Apresentação do PMI | Visibilidade, cor, nome, layout, localização, orientação | Visibilidade, cor, nome, texto | Visibilidade, cor | Estrutura, nome |
| | Linhas texto | - | - | - |
| Representação do PMI | Estrutura, parâmetro, geometria | Estrutura, parâmetro | Estrutura, parâmetro | - |

Fonte: Xiao et al. (2018)

Após o embasamento teórico, partimos para o capítulo dos Aspectos Metodológicos, para servir de base para desenvolver os objetivos específicos, para a solução deste trabalho de pesquisa.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

Neste capítulo apresenta-se a caracterização da pesquisa proposta e os procedimentos empregados. A caracterização da metodologia de pesquisa utilizada neste trabalho é abordada na Seção 3.1, seguida pela Seção 3.2, a qual apresenta a abordagem metodológica. Por fim, na Seção 3.3, o procedimento metodológico adotado é descrito.

3.1 CARACTERIZAÇÃO DA METODOLOGIA DE PESQUISA

Pesquisas prescritivas possuem como foco a busca pelo desenvolvimento de soluções para um problema e pela compreensão de um determinado fenômeno (HEVNER; CHATTERJEE, 2010). Já as pesquisas descritivas visam fornecer um diagnóstico para o problema motivador da pesquisa, sendo o problema e não a solução o objeto deste trabalho de pesquisa (BONAT, 2009). De acordo com o objetivo desta trabalho de pesquisa, que é buscar soluções quanto aos aspectos relacionados aos atributos da qualidade da informação voltadas as anotações do PMI, pode-se caracterizá-la como uma pesquisa prescritiva.

Para a execução de pesquisas prescritivas propõe-se a adoção do *framework* Design Science Research (Projeto de Pesquisa Científica) (DSR) como método de pesquisa, visto que essa abordagem tem como objetivo o desenvolvimento de artefatos para solucionar problemas e melhorias de sistemas existentes (DRESCH; LACERDA; ANTUNES, 2015).

3.2 ABORDAGEM METODOLÓGICA

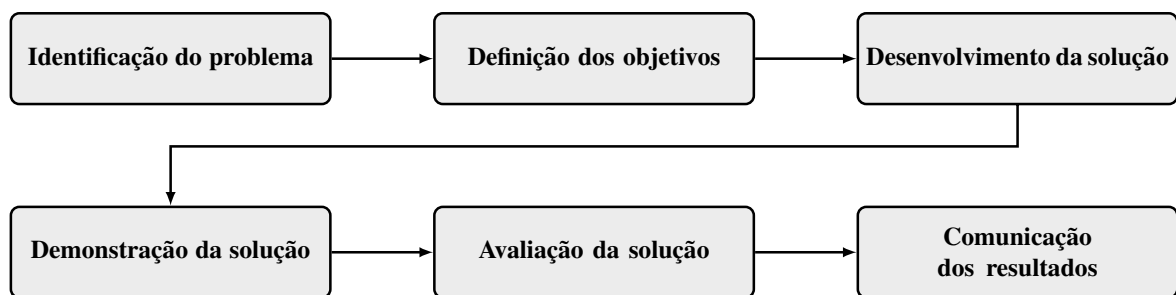
Portanto, para desenvolver este artefatos para resolver os problemas observados, realizar contribuições de pesquisa, avaliar os projetos e comunicar os resultados (PEFFERS et al., 2007) foi adotado o *framework* metodológico denominado DSR, que busca melhorar a percepção dos profissionais em seus campos de atuação de forma a atingir o objetivo para resolução de problemas (SIMON, 1996).

Já para Peffers et al. (2007), Design Science Research (Projeto de Pesquisa Científica) (DSR) consiste em princípios, práticas e procedimentos de condução de pesquisa visando três objetivos: ser consistente com a literatura existente, proporcionar um processo nominal para a realização da pesquisa, e proporcionar um modelo mental para apresentar e avaliar a pesquisa.

Propõe-se para o desenvolvimento deste trabalho de pesquisa, um conjunto de diretrizes para alcançar este objetivo. Para Dresch, Lacerda e Antunes (2015), *framework* metodológico é um conjunto de passos utilizado para executar determinada tarefa, sendo típico de pesquisas baseadas no DSR.

De acordo com Peffers et al. (2007), Hevner e Chatterjee (2010) o *framework* DSR é composto por um conjunto de seis fases que conduzem a uma solução. São elas: i) Identificação do problema e motivação; ii) Definição dos objetivos da Solução; iii) Desenvolvimento da Solução; vi) Demonstração da Solução; v) Avaliação da Solução; e, vi) Comunicação dos resultados. As fases do framework DSR são retratadas na Figura 6.

Figura 6: Etapas para execução da DSR



Fonte: Peffers et al. (2007)

Cada uma das fases que compõem a estrutura metodológica do *framework* é explicada a seguir.

- Fase 1- Identificação do problema e motivação: essa fase compreende a definição do problema de pesquisa e a justificativa da solução proposta. Faz-se necessário nessa fase conhecer o estado do problema e a importância de sua solução.
- Fase 2- Definição dos objetivos da solução: nessa fase deve-se inferir os objetivos da solução a partir do conhecimento do que é possível e viável e da definição do problema. Para tal faz-se necessário conhecer o estado dos problemas e das soluções atuais, se houverem e sua eficácia.
- Fase 3- Desenvolvimento da solução: compreende a criação do artefato, a determinação de funcionalidade desejada e como será sua arquitetura.
- Fase 4- Demonstração da solução: nessa fase, utiliza-se o artefato para resolver uma ou mais instâncias do problema, i.e. experimentação, simulação, prova, estudo de caso ou outra atividade apropriada.

Fase 5- Avaliação da solução: nessa etapa observa-se e mede-se quanto o artefato auxilia na solução do problema, comparando-se os objetivos da solução com os resultados obtidos através da sua demonstração.

Fase 6- Comunicação dos resultados: comunicar o problema e sua importância, o artefato, a utilidade e a novidade, o rigor do seu projeto e sua eficácia para os pesquisadores e público relevante.

Cada uma dessas atividades é detalhada na seção 3.3, apresentando como e o que foi realizado.

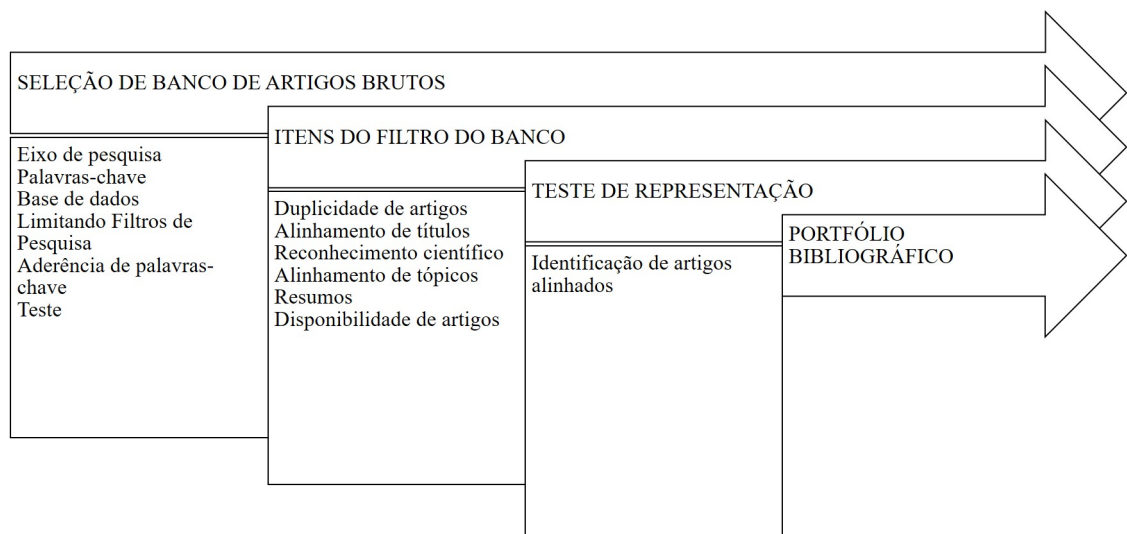
3.3 PROCEDIMENTO METODOLÓGICO

3.3.1 IDENTIFICAÇÃO DO PROBLEMA E MOTIVAÇÃO

A primeira etapa do DSR, Identificação do problema e motivação, se relaciona ao objetivo geral deste estudo: criar um conjunto de diretrizes capaz de auxiliar os projetistas a garantirem a qualidade da informação em anotações de PMI, contribuindo para uma efetiva implantação da abordagem DFM.

A identificação do problema foi realizada por meio da método *ProKnow-C* (*Knowledge Development Process-Constructivist*), a qual visa sistematizar o processo de busca e seleção de artigos (Figura 7), identificando artigos relevantes à pesquisa.

Figura 7: Etapas para execução do *ProKnow-C*



Fonte: O Autor

Para a realização desse trabalho definiram-se três eixos de pesquisa: desenvolvimento de produto, manufatura digital e informação de fabricação do produto (PMI). Por meio da utilização do *ProKnow-C*, chegou-se a um portfólio bibliográfico final de 41 artigos. Todos esses artigos foram lidos na íntegra e as oportunidades de pesquisa foram identificadas. Dentre estas oportunidades, destacou-se a utilização de interfaces de fácil utilização para anotações PMI. O levantamento bibliográfico detalhado encontra-se no Sato et al. (2018).

De acordo com a pesquisa realizada pode-se notar que existe uma perda significativa de dados e informações no processo de codificação das anotações de PMI, em relação aos atributos da qualidade da informação. Isso acarreta em problemas de não conformidade em relação aos procedimentos voltados ao uso inadequado das Normas Técnicas, como também codificações não adequadas das anotações de PMI, causando problemas de funcionalidade, fabricação montagem, custo, medição.

Além disso, verificou-se também, a necessidade de aplicação da Análise de Modo e Efeitos de Falha de Projeto - *Design Failure Mode Effect Analysis* (DFMEA) em todos os projetos críticos, e não somente para casos que envolvessem segurança, buscando assim, DFMEA na qualidade das informações, que estivessem relacionadas com as anotações do PMI, tanto voltados para o GD&T, como para os dados não geométricos.

Como exemplo de uma reunião de DFMEA: Sendo que o desenho já estava pronto, com todas as anotações de PMI, onde é que poderia falhar, ou seja, o componente / conjunto poderia quebrar, ou não montar? Na avaliação do modo de falha observou-se que uma determinada característica da peça, poderia estar mal especificada, material por exemplo ou ela poderia estar mal produzida e assim, um dos dois poderia acarretar a falha do componente / conjunto.

A presente pesquisa utilizou como parceira em um cenário real, uma empresa multinacional, localizada na região metropolitana de Curitiba, líder no mercado no seguimento de veículos automotivo, que fabrica caminhões e ônibus por ser uma empresa consolidadas, bastante representativos, de boas práticas no desenvolvimento de produtos, voltados para o desafio, de melhorar a qualidade das informações, e ser uma empresa amplamente reconhecida mundialmente dada a sua relevante participação de mercado. A pesquisa selecionou o departamento de desenvolvimento de projetos mecânicos de componentes / conjuntos, como cenário, tanto para o desenvolvimento da solução, quanto para a demonstração e avaliação da solução proposta por se tratar diretamente com o PMI, nas fases iniciais do PDP.

3.3.2 DEFINIÇÃO DOS OBJETIVOS DA SOLUÇÃO

A etapa de definição dos objetivos da solução é relacionada aos objetivos específicos que convergem para o desenvolvimento de um conjunto de diretrizes que correlacionem, as anotações de PMI com os atributos da qualidade da informação e possam desenvolver uma interface amigável.

Portanto, propõe-se como solução um conjunto de diretrizes que permita aos projetistas avaliarem a qualidade da informação provida por meio de anotações de PMI, de tal forma que o valor agregado pela associação de tais informações possa ser comprovado e conhecido, no sentido de contribuir para a efetiva implantação da abordagem DFM no contexto do desenvolvimento de produto. O desenvolvimento deste estudo incluiu as anotações de PMI, especificamente voltadas para a fabricabilidade, incluindo funcionalidade, montagem e custo, que deverá auxiliar na resolução do problema e motivação.

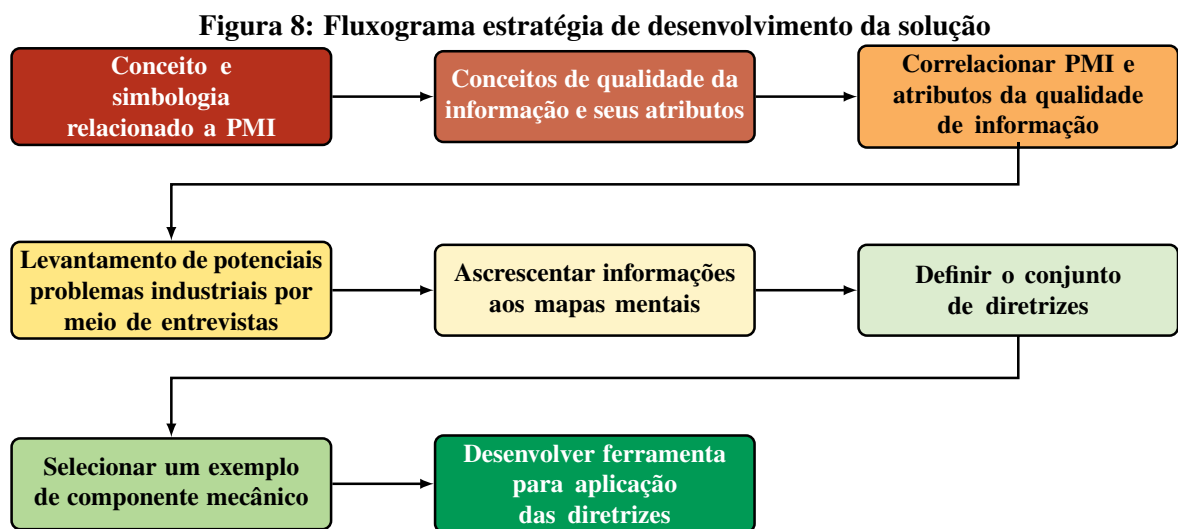
Dessa maneira, o presente trabalho apresenta uma alternativa aos projetistas para guiar seus projetos à realização da capacidade de produção, com qualidade e sem desperdícios.

3.3.3 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

Após a definição dos objetivos, foi estabelecida a estratégia para o desenvolvimento da solução (Figura 8), a qual baseia-se nas seguintes atividades:

1. Conhecer a simbologia e conceitos relacionados a anotações de PMI através de uma busca na literatura técnica e científica;
2. Compreender o conceito de qualidade da informação e determinar seus atributos;
3. Correlacionar PMI e atributos da qualidade da informação, através da elaboração de um mapa mental;
4. Levantar informações a respeito dos problemas na indústria, potencialmente causados pela baixa qualidade da informação referêntes às anotações de PMI, através de questionário devidamente preparadas relacionados às anotações de PMI e correlacionadas aos atributos da qualidade das informações, para entrevistas com profissionais que criam ou consomem informações constantes das anotações de PMI, num contexto real de desenvolvimento de projeto.
5. Acrescentar as informações organizadas em (4) ao mapa mental produzido em (3);

6. Definir o conjunto de diretrizes, com ênfase em facilidade de uso e entendimento, para verificação da qualidade da informação em anotações de PMI, por meio da análise crítica do mapa mental resultante de (5);
7. Selecionar um exemplo de componente mecânico, que possa facilitar o entendimento e utilização do conjunto de diretrizes proposto;
8. Desenvolver uma ferramenta de *software* que facilite a aplicação do conjunto de diretrizes em cada anotação de PMI, como forma de garantir a qualidade destas informações.



Fonte: O Autor

A primeira e a segunda atividade (1) e (2), descritas acima, foram realizadas por meio de pesquisa bibliográfica sobre as anotações PMI e qualidade da informação e seus atributos, conforme as informações apresentadas no Capítulo 2.

Assim, na terceira atividade listada, pelas informações geradas nas atividades anteriores, gerou-se um mapa mental utilizando-se o software *X-Mind*.

A quarta atividade listada foi realizada por meio de duas entrevistas. Na primeira, entrevistou-se individualmente um engenheiro de produto, um projetista mecânico, um desenhista, um metrologista e um engenheiro de qualidade. As informações da primeira entrevista foram organizadas, e partiu-se para a segunda entrevista. Nela os cinco colaboradores foram entrevistados de maneira conjunta.

Com os dados das entrevistas em mãos, a quinta atividade baseou-se na organização dos dados resultantes das entrevistas ao mapa mental já criado. Na sexta e sétima etapa, respectivamente, uma análise crítica foi realizada e as diretrizes foram definidas, bem como

o exemplo de componente mecânico que facilite o entendimento e utilização do conjunto de diretrizes proposto foi selecionado.

Na última etapa, com aquele conjunto de diretrizes (sete diretrizes) foi feita uma correlação de cada diretriz, em relação aos 15 atributos da qualidade da informação, pois o conjunto de diretrizes dizem respeito aos mesmos.

Após o desenvolvimento do conjunto de diretrizes, e da ferramenta de *software* para a aplicação da mesma, seguiu-se para a demonstração da solução.

3.3.4 DEMONSTRAÇÃO DA SOLUÇÃO

A etapa de demonstração visa responder à pergunta: A solução funciona? Ou seja, essa etapa está relacionada ao objetivo específico deste trabalho de pesquisa em demonstrar a aplicação do artefato por meio de provas de conceito no contexto da empresa parceira.

O artefato foi demonstrado pela utilização de conjunto de diretrizes, associados a um tubo especial de aço para bloco de motor.

Para facilitar o entendimento e a utilização do conjunto de diretrizes, criou-se uma ferramenta de *software*, desenvolvida por meio da linguagem de programação *Visual Basica for Application* (VBA) no software excel, e dentro desta ferramenta colocamos todo o conjunto de diretrizes reempacotadas.

Este conjunto de diretrizes permite aos projetistas avaliarem a qualidade da informação provida por meio de anotações de PMI, de componentes/conjunto relativos à funcionalidade, fabricação, montagem e custo em geral.

3.3.5 AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO

A etapa de avaliação da solução busca responder se a solução funciona bem. Ou seja, se essa etapa busca avaliar o artefato quanto aos seguintes critérios, provenientes do DSR: eficiência, generalidade, funcionalidade e operacionalidade. Para tal, utilizou-se o artefato no ambiente da empresa, a fim de verificar se a solução de fato atendia às necessidades levantadas neste trabalho de pesquisa, bem como se ajustes necessitavam ser implementados.

Esta avaliação foi dividida em duas partes. Primeiramente avaliou-se somente as diretrizes, e logo após, a avaliação das diretrizes, avaliou-se também a ferramenta contendo as diretrizes.

Para a primeira parte da avaliação, foi sugerida ao projetista que, ao mesmo tempo

em que ele estivesse criando as anotações de PMI em um desenho, no CAD, já iria checando, aplicando esse conjunto de diretrizes, para assegurar a qualidade das informações da manufatura do produto.

Essa situação teve como objetivo registrar o desempenho desse conjunto de diretrizes, durante a fase da criação das anotações de PMI.

Tanto para a primeira parte da avaliação do conjunto de diretrizes, como também para a segunda parte da avaliação da ferramenta contendo as diretrizes, foi realizada pela aplicação de um questionário composto de quatro perguntas objetivas, seguindo aos mesmos critérios, já descritos acima. Cada critério presente no questionário foi avaliado utilizando-se a escala de Likert (LIKERT, 1932).

Para essa fase da avaliação da solução devido a pressão do trabalho do dia a dia, conseguiu-se selecionar apenas três engenheiros dos cinco engenheiros que participaram das entrevistas iniciais.

3.3.6 COMUNICAÇÃO DOS RESULTADOS

A etapa de comunicação dos resultados visa apresentar e publicar as análises e principais resultados obtidos com este trabalho de pesquisa. Esta comunicação se dará com a publicação de um artigo científico em uma revista de alta relevância, e com a sua divulgação pretende-se ampliar seu uso num contexto real de desenvolvimento de produto, para diversos componentes, produtos, e até mesmo indústrias de outro ramo.

Após a utilização do *framework* metodológico denominado DSR do capítulo anterior (Aspectos Metodológicos), partimos para o capítulo dos resultados da solução deste trabalho de pesquisa.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo tem o objetivo de apresentar os resultados obtidos nesta pesquisa. Seguindo as etapas da DSR, composta por três seções: Seção 4.1 - Desenvolvimento da solução; Seção 4.2 - Demonstração da solução e Seção 4.3 - Avaliação da Solução e Análise da Discussão.

4.1 DESENVOLVIMENTO DA SOLUÇÃO

Nesta etapa serão apresentados os resultados necessários para a construção do artefato proposto. O objetivo é buscar uma maneira de informar a equipe de PDP quanto à qualidade das informações necessárias para as anotações PMI. O desenvolvimento do artefato utilizou a estrutura apresentada na Figura 8.

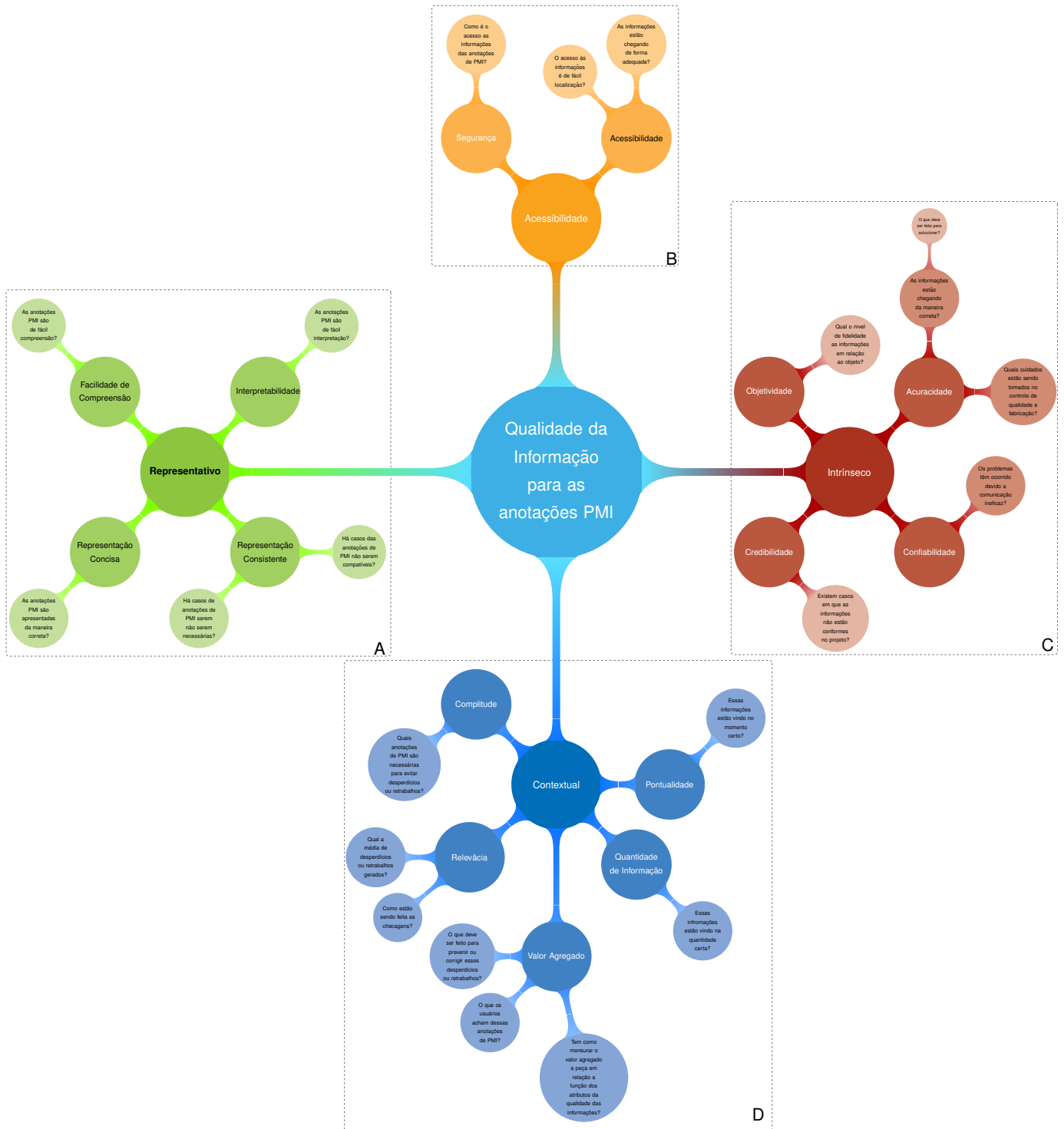
As anotações de PMI e os atributos da qualidade da informação foram mapeados para correlacioná-los. O uso inadequado de elementos gráficos acaba dificultando a interpretação do computador, e conseqüentemente atraso ao usuário.

Para compreender a relação entre as anotações de PMI e os atributos da qualidade de informação propostos por Strong, Lee e Wang (1997), foram criados mapas mentais como demonstra as relações existentes (Figura 9). As categorias demonstrados nos subgrupos A (Representativo) (Figura 10), B (Acessibilidade) (Figura 11), C (Intrínseco) (Figura 12) e D (Contextual) (Figura 13).

Por meio dos mapas mentais, nota-se que nem todos os atributos da qualidade da informação são aplicados diretamente com o PMI, apesar de existir uma relação indireta entre eles. A partir desta relação, construiu-se um questionário para ser aplicado na empresa parceira a fim de encontrar possíveis falhas e propor melhorias.

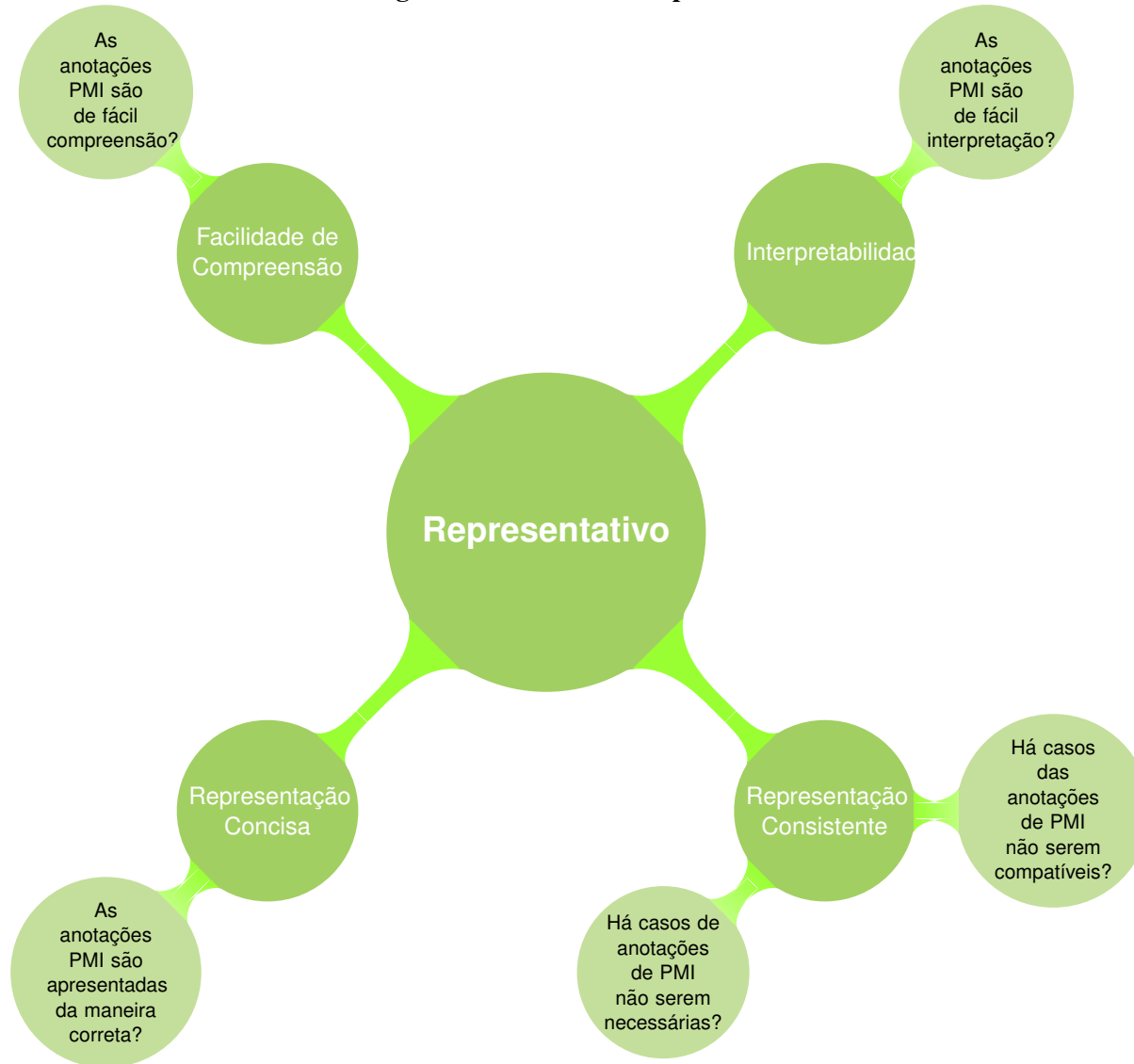
Para alcançar o objetivo proposto desse trabalho de pesquisa, foi preciso desenvolver uma estratégia adequada para elaborar o questionário. Primeiro foi definido que os entrevistados seriam os profissionais com uma maior relação de uso das anotações de PMI. Foram selecionados os seguintes profissionais: (i) engenheiro de produto; (ii) engenheiro de projeto mecânico; (iii) engenheiro verificador de desenho; (iv) engenheiro da qualidade do fornecedor; e (v) metrologista.

Figura 9: Mapa mental para relacionar as categorias da QI com as anotações de PMI



Fonte: O Autor

Figura 10: Parte A do mapa mental



Fonte: O Autor

Figura 11: Parte B do mapa mental

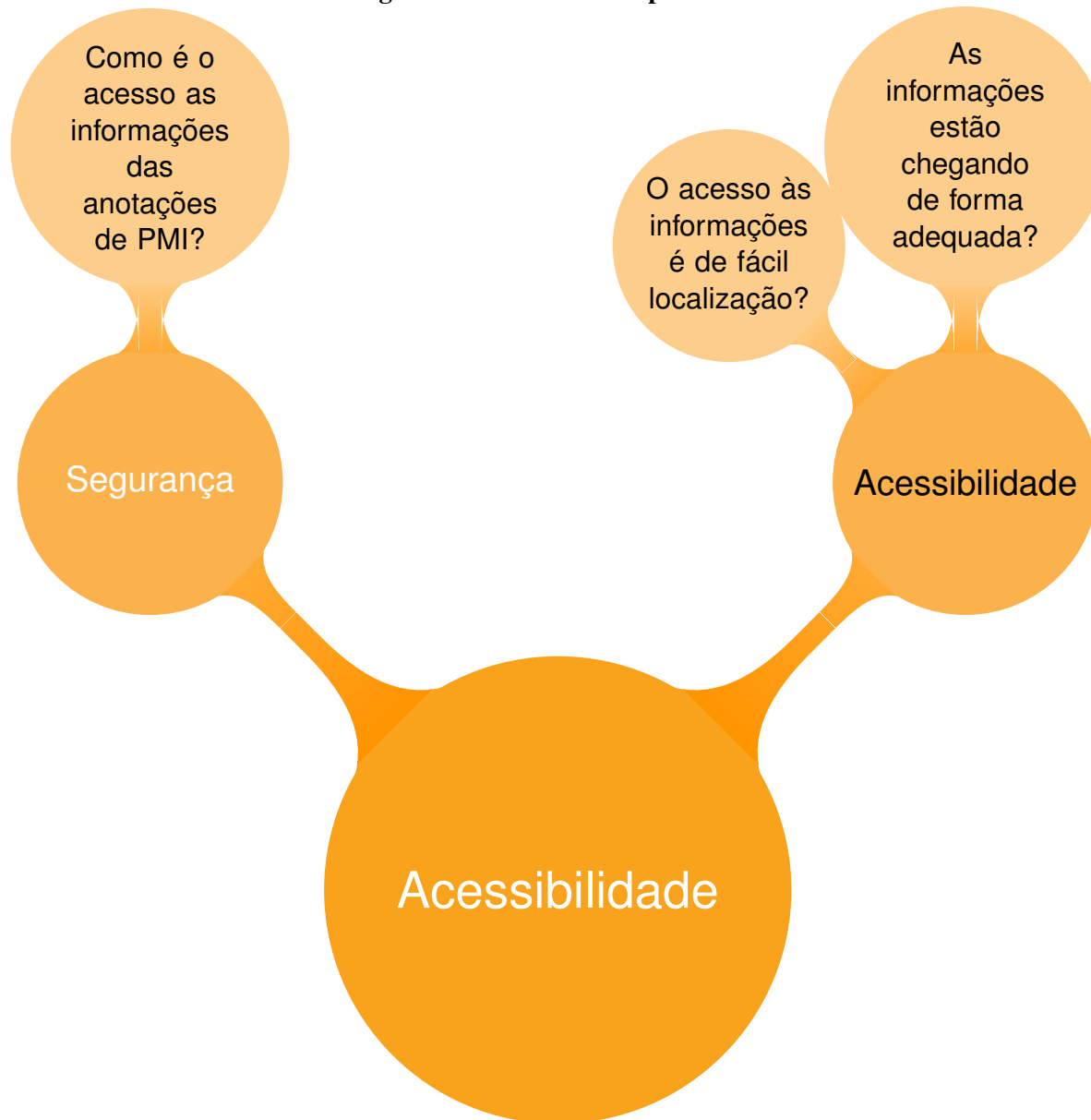
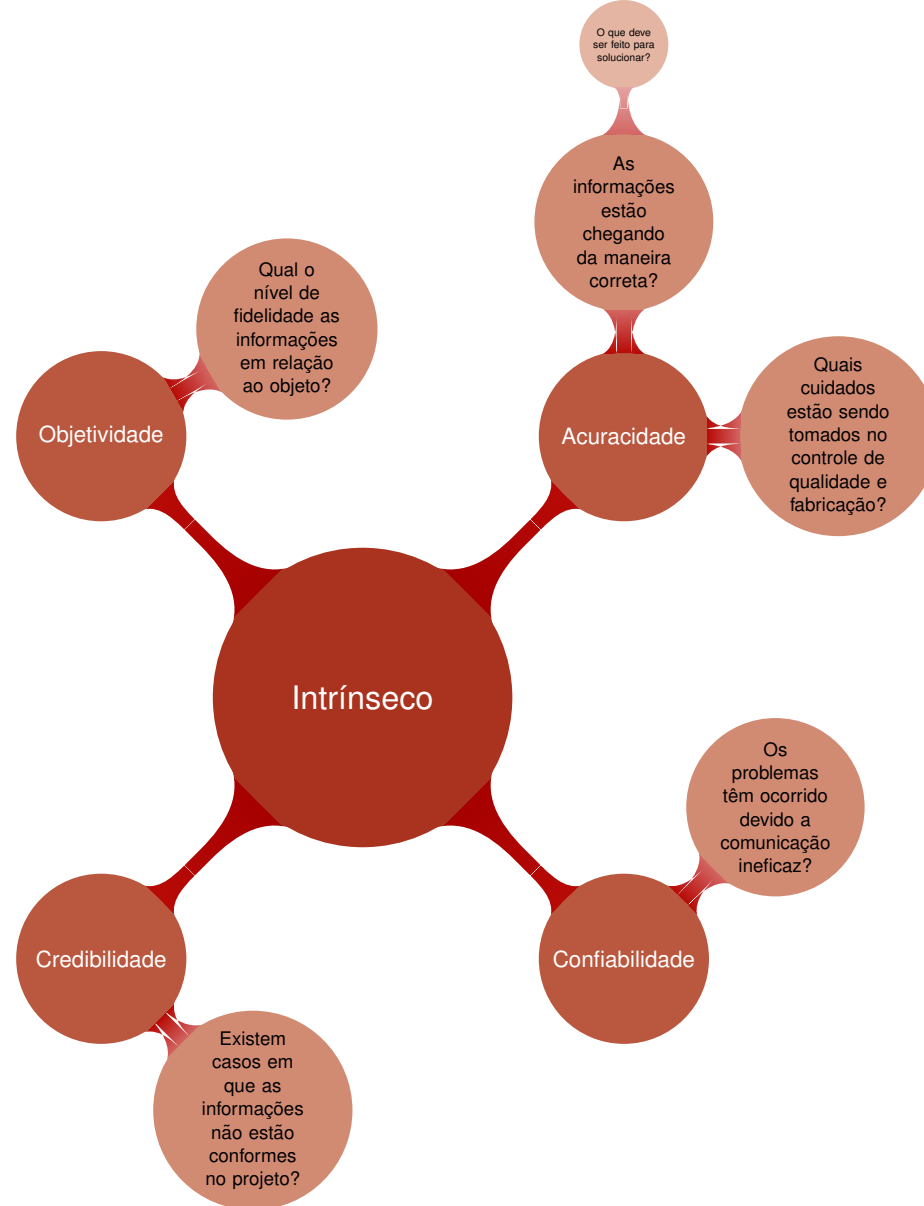


Figura 12: Parte C do mapa mental



Fonte: O Autor

Figura 13: Parte D do mapa mental



Fonte: O Autor

Após elaborado o mapa mental e identificado quem seriam os entrevistados, o questionário foi preparado com perguntas correlacionadas entre as atribuições da qualidade da informação e as anotações de PMI para quem cria as mesmas no projeto, e seus respectivos usuários. Inicialmente, elaborou-se 20 questões abertas / semiestruturadas, pois permite produzir melhores resultados, para a construção do conhecimento. No decorrer da entrevista em uma reunião em conjunto, com engenheiro de produto, engenheiro de projeto mecânico, engenheiro verificador de desenho, engenheiro da qualidade do fornecedor, e metrologista, outras questões foram surgindo, e com as respectivas respostas, foi capturado muitas informações, tanto estatisticamente, como por ocorrências contribuindo grandemente com o objetivo proposto deste trabalho de pesquisa.

Durante a entrevista, totalizaram 103 questões / respostas, baseadas no contexto em discussão. Todas as entrevistas foram transcritas e tabuladas em uma planilha do Microsoft Excel. Dentre as 103 questões / respostas, notou-se que 55 delas não tinham relação com o objetivo deste trabalho de pesquisa, e ou estava em duplicidade, portanto foram descartadas. Das 48 questões / respostas, restantes, algumas estavam atreladas aos mesmos atributos da qualidade da informação, também foram descartadas. Assim, após a organização, resultaram 21 questões / resposta, veja o Quadro 4 que foi conduzido para o diagnóstico do problema da empresa, e após o diagnóstico da empresa, os mesmos foram interrelacionada com os atributos da qualidade da informação, para chegar ao resultado de sete diretrizes (conjunto de diretrizes), veja Figura 14, elaborado para o desenvolvimento da solução, a Figura 15 apresenta os problemas encontrados, a Figura 16 demonstra a solução com as sete diretrizes (conjunto de diretrizes) e o Quadro 5 apresenta a correlação entre cada diretriz e a correspondência com os atributos da qualidade da informação no contexto para a contribuição no desenvolvimento do produto.

É importante notar acima, que uma etapa está levando à outra, exemplo: mapa mental levou ao questionário, o questionário levou às indagações, as indagações às respostas, as respostas ao *Feedback* dos profissionais da empresa, e através das organização destas respostas conseguiu-se fazer o diagnóstico da empresa, e fazendo-se a correlação novamente com os atributos da qualidade da informação conseguiu-se a formular cada uma das diretrizes.

Figura 14: Etapas de elaboração do conjunto de diretrizes proposta

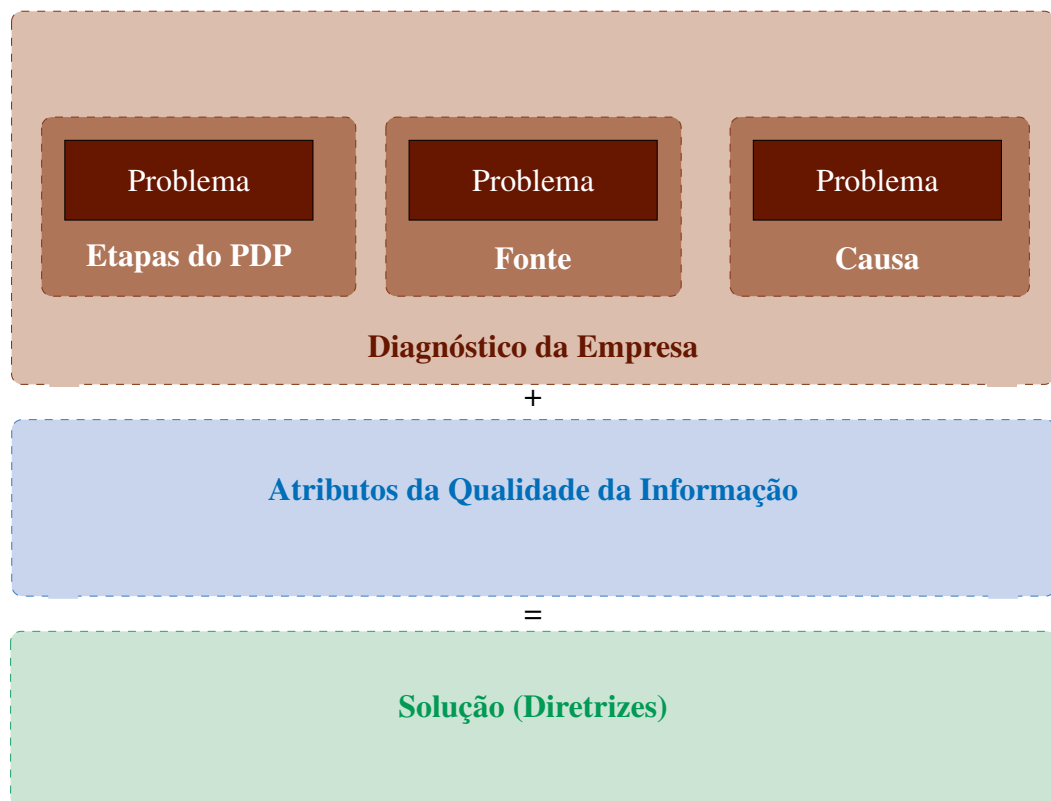


Figura 15: Parte A Problemas encontrados

Problemas encontrados

- Falta interação entre os projetistas e os consumidores referentes as codificações de PMI;
- O projetista não está participando na plenitude quando necessário com o Designer Checker, SQE(A) Metrologista, Engenheiro de Processo, Compras e Fornecedor;
- Os Consumidores dos desenhos com as anotações de PMI não recebem desenhos das versões atualizadas;
- Os Projetistas, não estão colocando as Informação da Qualidade no PMI, na medida certa, ou seja, na quantidade certa, nem a mais, nem a menos;
- Os Projetistas não começam o projeto já partindo do princípio, de fazer certo da primeira vez "Zero Defeito";
- Não são utilizados DFMEA (Design Failure Mode and Effect Analysis – Análise dos Efeitos e Modos de Falha do projeto) em todos os projetos;
- As dimensões não se pode ser aferido, devido às limitações dos equipamentos de medição;
- As tolerâncias geométricas, dimensionais e tolerância, não estão sendo colocado no modelo 3D;
- O desenho em PDF não está vinculado com o Modelo geométrico;
- As lacunas e os gargalos estão nos fornecedores;
- Os Fornecedores não estão conseguindo interpretar as simbologias do PMI;
- As Referências devem ser criadas de maneira adequadas a tender as necessidade do componente/conjunto;
- O Projetista não considera as etapas de Custo, Ergonomia; Fabricação; Montagem ou nas Qualidade das Informações, para a fabricação e montagem da peça funcionando;
- Falta intens de informações para checagem dentro das RTS (REVIEW OF TECHNICAL SPECIFICATIONS);
- O Projetista não utiliza os metodos o Guenchi Guembutsu ("Vá lá e Veja") e o lean Manufacturing (Fabricação enxuta);
- Falta sistematização por parte do CPM (Coordenator Project Management);
- Falta formalidade para modificações de desenhos;
- Falta um conjunto de documentos para checagem das modificações feitas pelo Projetista;
- Não existe critérios do tipo ART- (Anotação de Responsabilidade Técnica) para controlar se a aplicação e funcionalidade das simbologias do PMI;
- Existe divergência no entendimento das Normas.

Fonte: O Autor

Figura 16: Parte C Soluções propostas com as sete diretrizes

Soluções

- A Sintaxe da Anotação de PMI (Elementos, Símbolos, etc.) devem estar de acordo com as NORMAS TÉCNICAS (Standards) da empresa. (e.g. ISO 5459, ISO 1101). Esta anotação de PMI estão de acordo com as NORMAS TÉCNICAS atualizadas da empresa?
- A sintaxe da Anotações de PMI (Elementos, Símbolos, etc.) deve estar de acordo com a FUNÇÃO do componente/conjunto. (e.g. Conectar tubos adequadamente, ou seja, sem vazamento). Esta anotação de PMI está de acordo com a FUNÇÃO do componente/conjunto?
- A sintaxe da Anotações de PMI (Elementos, Símbolos, etc.) deve estar de acordo o processo de FABRICAÇÃO do componente/conjunto. (e.g. Anotação de PMI deve estar adequado ao processo de Fabricação). Esta anotação de PMI está de acordo com o processo de FABRICAÇÃO do componente/conjunto?
- A sintaxe da Anotações de PMI (Elementos, Símbolos, etc.) deve estar de acordo com o processo de MONTAGEM do componente / conjunto. (e.g. Tolerância de forma e posição deve ser adequada para a Montagem). Esta anotação de PMI está de acordo com o processo de MONTAGEM do componente/conjunto?
- A sintaxe da Anotações de PMI (Elementos, Símbolos, etc.) deve ser considerado nos CUSTOS de fabricação/montagem do componente/conjunto. (e.g. Tolerâncias muito apertada sem necessidade tanto geométrica e ou de acabamento afetam no custo). Esta anotação de PMI considera os CUSTOS de fabricação/montagem do componente/conjunto?
- A sintaxe da Anotações de PMI (Elementos, Símbolos, etc.) deve constar do modelo original CAD 3D, não devendo haver divergência entre o respectivo CAD 2D. do componente / conjunto (e.g. Reduzir impactos das desvantagens). Esta anotação de PMI consta do modelo original CAD 3D, e não há divergência entre o respectivo CAD 2D do componente/conjunto?
- Além da sintaxe da Anotações de PMI (Elementos, Símbolos, etc.) deve também aplicar a ferramenta DFMEA que é o padrão da empresa, no componente/conjunto (e.g. Detectar potencial falhas na fase inicial do projeto). Esta anotação de PMI, mesmo sendo um componente/conjunto que não tenha o potencial de comprometer a segurança, foi realizada um DFMEA?

Fonte: O Autor

Quadro 4: Organização do questionário para as anotações de PMI

| Necessidade da Informações para Checklist | Respostas Abertas | Guia de boas práticas para fabricabilidade |
|---|---|--|
| Existe caso em que o verificador do projeto solicita alterações após envio ao fornecedor? Neste caso, deve ser realizado desde o início o processo para enviar novamente ao fornecedor? | Quando o erro é da Empresa deve voltar ao início e realizar todo o processo de atualização no desenho, e seguir todas as etapas necessárias para serem aprovadas e encaminhado novamente ao fornecedor. | O avanço ocorre após aprovação do metrologista. |
| Tem como garantir que as informações fornecidas estão na versão mais atual? | As informações não são atualizadas com maior frequência, não sendo fornecido da maneira correta e sendo encaminhado versões desatualizadas aos interessados. | Fazer um <i>Poka yoke</i> . |
| Quais recomendações o metrologista deve informar ao projetista, em relação as limitações dos equipamentos de medição? | Durante o desenvolvimento do projeto não leva em conta as limitações dos equipamentos de medição. A Empresa solicita que esta etapa seja realizada pelo fornecedor. | Criação de simbologias GD&T dentro das limitações dos equipamentos de medição. |
| Qual o procedimento utilizado? | É utilizado o Standard, é necessário aprimorar a informação de como localizar para facilitar o uso. | Não deveria acontecer. |
| Há uma rejeição por parte do projetista em não querer utilizar o Standard? | O Standard é extremamente importante para o Design Checker, desta forma não deve ocorrer este processo de rejeição. | Deve seguir o <i>Standard</i> . |
| Quem é que homologa e valida o projeto? | Design Checker é o profissional que homologa e valida o desenho. | Caderno de Lições aprendidas e levantamento de Desperdícios e Retrabalhos. |
| Continua na próxima página | | |

Quadro 4 – conclusão da página anterior

| Necessidade da Informações para Checklist | Respostas Abertas | Guia de boas práticas para fabricabilidade |
|--|---|--|
| Qual o significado de SQE ? | SQE (Supplier Quality Engineering) homologa e valida o Fornecedor. | Caderno de Lições aprendidas e levantamento de Desperdícios e Retrabalhos. |
| De que forma o Metrologista contribui para a qualidade da informação? | A contribuição ocorre com base no grau de suas experiências de medição. | Criação de um caderno para levantamento de contribuições. |
| Quais as maiores preocupações por parte do metrologista? | Ele se preocupa mais se as informações estão de forma eficiente e eficaz para aferição. | Criação de um caderno para levantamento de contribuições. |
| Para casos mais complexos, seria bom se o projetista conversasse também com o metrologista para poder colocar as anotações GD&T, para atender tanto a fabricabilidade, como a medição? | Devido a metrologia estar na área da qualidade, contribuindo de forma mais efetiva a fabricabilidade. | Metrologia também está na área da qualidade |
| Quanto ao ferramental, o SQE poderá rever, junto ao projetista se existe possibilidade de alterar alguma coisa no desenho para baratear o custo do ferramental? | SQE fica entre comprador e fornecedor conhece fabricação e ferramenta. | Baixar custo do ferramental. |
| Continua na próxima página | | |

Quadro 4 – conclusão da página anterior

| Necessidade da Informações para Checklist | Respostas Abertas | Guia de boas práticas para fabricabilidade |
|--|---|--|
| Na sua opinião de que forma o projetista deve agir em casos complexo? | Em casos mais complexos, o projetista deve realizar um contato entre o verificador de desenho e o Metrologista, a fim de oferecer melhor qualidade da informação para a fabricabilidade. | Casos complexos boas práticas entre o verificador de desenho e o Metrologista. |
| Quais as ferramentas CAD o projetista utiliza? | CATIA é usado para projeto de Cabine; PRO/ENGINEER e o CREO, é usa no Projeto de Chassi. | Conhecer melhor CATIA, PRO/ENGINEER e o CREO. |
| Qual a parte o Design Checker da maior importância? | Ele se importa mais com a funcionalidade a manufatura a produzir a peça. | Aspectos da funcionalidade de produção da peça. |
| Existe casos em que não ocorre a montagem, devido a falta de informação do GD&T, referente à montagem? | Seria interessante colocar cotas de referências para facilitar a montagem. | Colocar cotas de referência para montagem. |
| Existem casos em que os projetista não conheça completamente os procedimento, desta forma prejudicando às novas atualizações, podendo prejudicar a Qualidade da Informações? | Alguns projetistas têm este comportamento devido à sua grande experiência, como existe um curto prazo de entrega isso compromete as outras etapas. Como os procedimentos sofrem atualizações assim como as Normas, e se os projetistas não tiverem sempre atentos às respectivas atualizações, podem comprometer a qualidade das Informações. | Não deve ocorrer. |
| Continua na próxima página | | |

Quadro 4 – conclusão da página anterior

| Necessidade da Informações para Checklist | Respostas Abertas | Guia de boas práticas para fabricabilidade |
|---|---|---|
| Qual o grau de intensidade de trabalho o chegador de desenho possui em relação às informação de fabricação? | Da mesma maneira como há 20 anos. | Não deveria estar da mesma forma. |
| Existem casos atípicos? | Exemplo: Uma peça foi desenhada há 12 anos, mas, foi feita todas as combinações das tolerâncias possíveis de uma peça, mas ela perde a funcionalidade (é um grampo, mas não dá pressão e teve que mudar o desenho). | Tratar como casos especiais |
| Quando for necessário fazer alguma atualização em um desenho antigo, será necessário atualizar todo o desenho para a Norma vigente atual? | Mas isso não ocorre devido a sua grande experiência e a outras prioridade mais relevante, por isso, na grande maioria dos casos é atualizado somente o que mais está impactando naquele momento, neste exemplo, somente o raio. | Sempre que for necessário fazer alguma atualização em um desenho antigo, será necessário atualizar todo o desenho para a Norma vigente atual. |
| Quando é necessário reunir com metrologista? | Quando houver alguma inconsistência no desenho. | Deve reunir. |
| O que deve ser feito para atender às necessidades do metrologista e o Designer Checker? | Deixar o desenho mais simples usar menos o o draw (= PDF do desenho), usar mais o 3D como referência (3D = Step). | Com o metrologista. |

Fonte: O Autor

Quadro 5: Correspondência das diretrizes com os atributos da qualidade das informações

| GUIDELINES / QUESTIONS | ATENDE: | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 | A11 | A12 | A13 | A14 | A15 |
| Guideline 1 - The PMI annotation syntax (elements, symbols, etc.) must be in accordance with the company's TECHNICAL STANDARDS (e.g., ISO 5459, ISO 1101). | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Is this PMI annotation in accordance with the company's updated TECHNICAL STANDARDS? | | | | | | | | | | | | | | | |
| Guideline 2 - The PMI annotation syntax (elements, symbols, etc.) must be in accordance with the FUNCTION of the component / assembly (e.g., connecting tubes properly, without leakage). | X | X | X | | | X | X | X | | X | X | X | X | X | X |
| Is this PMI annotation in accordance with the component assembly FUNCTION? | | | | | | | | | | | | | | | |
| Guideline 3 - The syntax of PMI annotations (elements, symbols, etc.) must be in accordance with the MANUFACTURING process of the component / assembly (e.g., adequate tolerance according to production process). | X | X | X | | | X | X | X | | X | X | X | X | X | X |
| Is this PMI annotation in accordance with the MANUFACTURING process of the component/assembly? | | | | | | | | | | | | | | | |
| Continua na próxima página | | | | | | | | | | | | | | | |

A1: Acurácia, A2 Objetividade, A3: Confiabilidade, A4: Credibilidade, A5: Acessibilidade, A6: Segurança, A7: Relevância, A8: Valor agregado, A9: Pontualidade, A10: Completude, A11: Quantidade de informações, A12: Interpretabilidade, A13: Facilidade de compreensão, A14: Representação concisa, A15: Representação consistente

Quadro 5 – conclusão da página anterior

| GUIDELINES / QUESTIONS | ATENDE: | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 | A11 | A12 | A13 | A14 | A15 |
| Guideline 4 - The syntax of the PMI annotations (elements, symbols, etc.) must be in accordance with the ASSEMBLY process of the component / assembly (e.g., shape and position tolerance must be suitable for assembly). | X | X | X | | X | X | X | X | | X | X | X | X | X | X |
| Is this PMI annotation consistent with the ASSEMBLY process of the component / assembly? | | | | | | | | | | | | | | | |
| Guideline 5 - The syntax of PMI annotations (elements, symbols, etc.) should consider the COSTS for manufacturing / assembling of component / assembly (e.g., unjustified geometric tolerances and / or finishing affect the cost). | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Does this PMI annotation consider COSTS for manufacturing / assembling the component / assembly? | | | | | | | | | | | | | | | |
| Guideline 6 - The syntax of PMI annotations (elements, symbols, etc.) must be in the original 3D CAD model, and there should be no divergence between the respective component / assembly 2D drawing. Tolerances that affect part functionality must be in the 2D drawing. | X | X | X | X | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |

Continua na próxima página

A1: Acurácia, A2 Objetividade, A3: Confiabilidade, A4: Credibilidade, A5: Acessibilidade, A6: Segurança, A7: Relevância, A8: Valor agregado, A9: Pontualidade, A10: Completude, A11: Quantidade de informações, A12: Interpretabilidade, A13: Facilidade de compreensão, A14: Representação concisa, A15: Representação consistente

Quadro 5 – conclusão da página anterior

| GUIDELINES / QUESTIONS | ATENDE: | | | | | | | | | | | | | | |
|--|---------|----|----|----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| | A1 | A2 | A3 | A4 | A5 | A6 | A7 | A8 | A9 | A10 | A11 | A12 | A13 | A14 | A15 |
| Is this PMI annotation added to the original 3D CAD model? Is there any divergence between this and the respective 2D drawing component / assembly? | | | | | | | | | | | | | | | |
| Guideline 7 - In addition to the PMI annotations syntax (elements, symbols, etc.) one should also apply company standard DFMEA tools and methods, to the component / assembly for detecting potential failures in the initial design phases. | X | X | X | | | X | X | X | X | X | X | X | X | X | X |
| Is this PMI annotation, the result of a DFMEA analysis, even if the component / assembly does not have the potential to compromise safety? | | | | | | | | | | | | | | | |

Fonte: O Autor

A1: Acurácia, A2 Objetividade, A3: Confiabilidade, A4: Credibilidade, A5: Acessibilidade, A6: Segurança, A7: Relevância, A8: Valor agregado, A9: Pontualidade, A10: Completude, A11: Quantidade de informações, A12: Interpretabilidade, A13: Facilidade de compreensão, A14: Representação concisa, A15: Representação consistente

4.2 DEMONSTRAÇÃO DA SOLUÇÃO

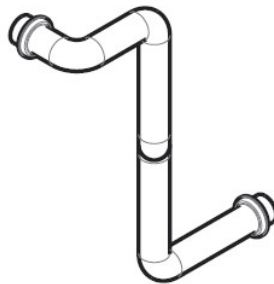
A demonstração da solução foi feita em uma ferramenta de software, desenvolvida por meio da linguagem de programação *Visual Basic for Application* (VBA) no software excel, e dentro desta ferramenta foi colocado todo o conjunto de diretrizes reempacotadas, que aparecem dentro das guias de referências.

O objetivo da demonstração da solução é verificar se conjunto das diretrizes desenvolvidas na seção anterior funciona. Esta demonstração da solução é orientada por um conjunto de diretrizes em um caso prático. Neste caso, foi utilizado um tubo de aço, para passagem de ar, demonstrado na Figura 17, aplicado em motores de caminhões e ônibus, da empresa parceira, indicada no último parágrafo da seção 3.3.1, a fim de auxiliar no uso de todas as diretrizes. As sete questões elaboradas no estudo a partir das anotações de PMI, relacionadas aos atributos da qualidade da informação, caracterizam cada uma das diretrizes. A Figura 18 apresenta a primeira interface com o usuário, onde requisita a sua respectiva identificação do componente/conjunto.

Para o caso do projetista ter que tirar dúvidas a respeito do que a norma expõe, foi mantido um botão para leitura da Norma em questão (ISO 1101, por exemplo), também um outro botão para a demonstração do exemplo do que se refere esta diretriz.

Assim que o projetista avalia o que a diretriz descreve, seleciona-se uma alternativa positiva, negativa ou não aplicável. Se for negativa, toma-se as devidas ações de correção e avança para a próxima diretriz. Para eventuais casos, ainda é possível retornar a fase anterior. Desta forma o projetista pode se sentir confortável em reavaliar suas escolhas durante o processo. É importante lembrar aqui que, será necessário aplicar esta verificação, a cada conjunto de anotações de PMI, ou seja, se no modelo 3D do CAD tiver três anotações do conjunto de anotações de PMI, será necessário aplicar esta verificação três vezes, assim tanto quanto forem a quantidade do conjunto de anotações de PMI.

Figura 17: Modelo de componente mecânico: tubo para motor



Fonte: O Autor

O conjunto das diretrizes foram traduzidas para a língua inglesa para favorecer o compartilhamento da mesma. Desta forma, é possível implantar o conjunto de diretrizes em indústrias de qualquer parte do mundo e dar continuidade as melhorias necessárias.

Figura 18: Tela inicial da ferramenta

Guideline

Start | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Report |

08/09/2018

Company: Montadora XYZ

Staff Member: João da Silva

Position: Projetista Mecânico Senior Id Member: 123456

Element: Tubo Especial Id Element: DC1234

Previous Next ISO 1101 ISO 5459 Save Exit

Fonte: O Autor

A Diretriz 1, Figura 19, descreve a sintaxe que deve estar de acordo com a Norma Técnica vigente na empresa. Ou seja, a codificação utilizada na anotação do PMI. Nesta aba são exemplificadas, inclusive, normas para o usuário estar familiarizado com a denominação ISO ou qualquer outro padrão seguido. Para ir a próxima aba, é necessário escolher a opção desejada, se as anotações de PMI estão, ou não, de acordo. A Figura 20 apresenta o exemplo correspondente.

Figura 19: Tela da diretriz 01 da ferramenta

Guideline

Start | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Report |

Guideline 1

The PMI annotation syntax (elements, symbols, etc.) must be in accordance with the company's TECHNICAL STANDARDS (e.g., ISO 5459, ISO 1101).

Is this PMI annotation in accordance with the company's updated TECHNICAL STANDARDS?

Choose an option:

Yes

No

Not Applicable

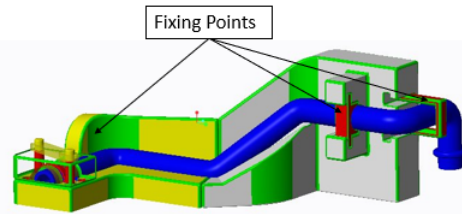
Example

Previous Next ISO 1101 ISO 5459 Save Exit

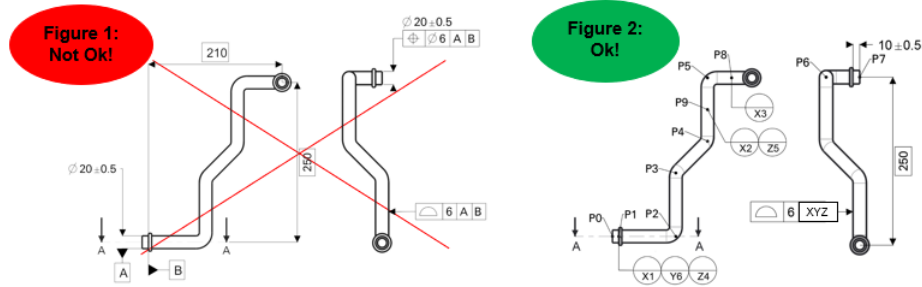
Fonte: O Autor

Figura 20: Exemplo da diretriz 01

Example 1 : Standard References of the Company Rules.



Note: PMI annotations must be in accordance with the company's updated Technical Standards, considering the appropriate application to meet the design requirements and references that allow evaluation and production of the part.



The PMI annotation in **Figure1** does not represent the fixing point of the tooling correctly. The correct representation is shown in **Figure 2**.

Fonte: O Autor

A Diretriz 2, Figura 21, atenta quanto as funções do componente ou montagem. Caso não estejam de acordo com a sintaxe de PMI, pode ocorrer falhas como conexão indevida e vazamento posterior. O projetista precisa estar atento a todas as anotações e atender os requisitos exigidos no projeto assim como representado na Figura 22.

Figura 21: Tela da diretriz 02 da ferramenta

Guideline

Start | 1 | **2** | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Report

Guideline 2

The PMI annotation syntax (elements, symbols, etc.) must be in accordance with the FUNCTION of the component/assembly (e.g., connecting tubes properly, without leakage).

Is this PMI annotation in accordance with the component assembly FUNCTION?

Choose an option:

Yes

No

Not Applicable

Example

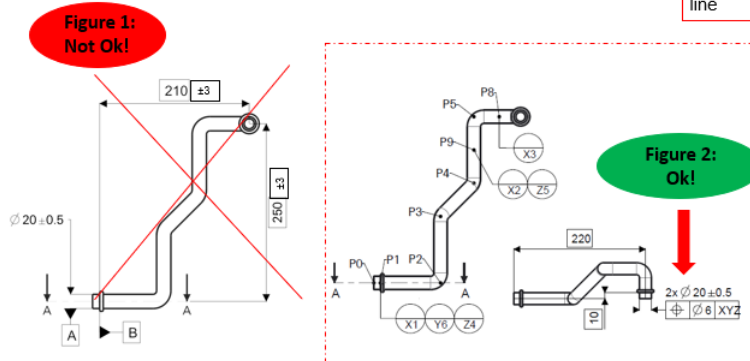
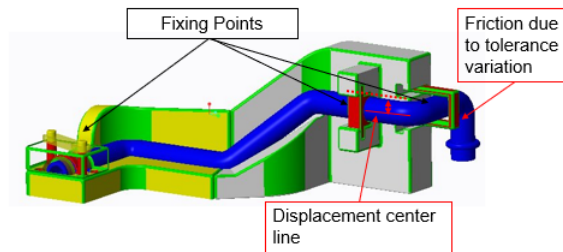
Previous | Next | ISO 1101 | ISO 5459 | Save | Exit

Fonte: O Autor

Figura 22: Exemplo da diretriz 02

Example 2: Design according to function.

The PMI annotation in **Figure 1** does not represent the fitting position with dimensional tolerances correctly (it will have leakage). The correct representation is shown in **Figure 2** with geometrical tolerances (no leakage).



Note: The function of the pipe is to allow flow of fluid between two points, no leakage is allowed and the fitting should be perfect.

Fonte: O Autor

A Diretriz 3, Figura 23, requer concordância das anotações de PMI de acordo com o processo de manufatura. Essa questão foi desenvolvida para auxiliar os projetistas na criação de PMI devido a falta de rigor em relação as exigências do projeto perante a fábrica. A Figura 24 demonstra um caso mais adequado onde tolerâncias podem restringir o processo de manufatura.

Figura 23: Tela da diretriz 03 da ferramenta

Guideline

Start | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Report

Guideline 3

The syntax of PMI annotations (elements, symbols, etc.) must be in accordance with the MANUFACTURING process of the component/assembly (e.g., adequate tolerance according to production process).

Is this PMI annotation in accordance with the MANUFACTURING process of the component/assembly?

Choose an option:

Yes

No

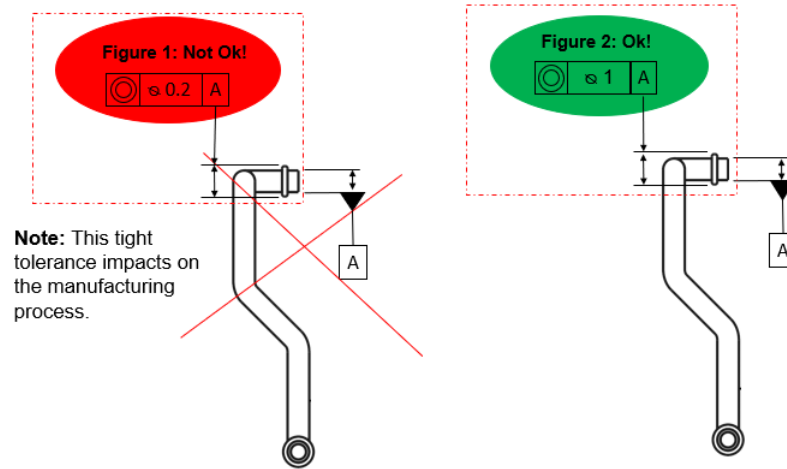
Not Applicable

Example

Previous | Next | ISO 1101 | ISO 5459 | Save | Exit

Fonte: O Autor

Figura 24: Exemplo da diretriz 03
Example 3: Design according to the manufacturing process (too tight tolerance).



The PMI annotation in **Figure 1** is not appropriate for a pipe bending process. The correct tolerance value is shown in **Figure 2**, but is necessary to understand the process manufacturing variation, e.g., bending, forged, etc.

Fonte: O Autor

A Diretriz 4, Figura 25, atenta o projetista para seguir as orientações de PMI durante a montagem do equipamento. As tolerâncias na montagem podem multiplicar o erro gradativamente e essa diretriz reduz significativamente a chance dessa ocorrência. A Figura 26 expõe a divergência dos dados da tolerância.

Figura 25: Tela da diretriz 04 da ferramenta

Guideline

Start | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Report

Guideline 4

The syntax of the PMI annotations (elements, symbols, etc.) must be in accordance with the ASSEMBLY process of the component/assembly (e.g., shape and position tolerance must be suitable for assembly).

Is this PMI annotation consistent with the ASSEMBLY process of the component/assembly?

Choose an option:

Yes
 No
 Not Applicable

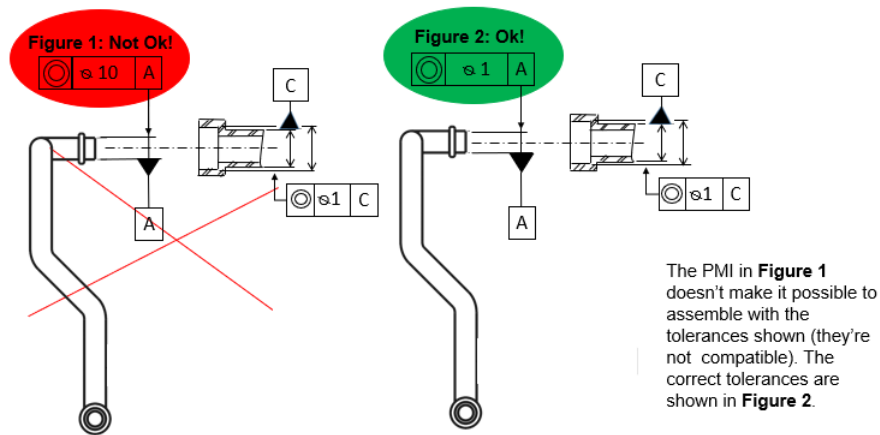
Example

Previous | Next | ISO 1101 | ISO 5459 | Save | Exit

Fonte: O Autor

Figura 26: Exemplo da diretriz 04

Example 4: Design according to the assembly process (counterpart assembly).



Note: Assuming counterpart as appropriate, with geometrical tolerance, e.g., circularity.

Fonte: O Autor

A Diretriz 5, Figura 27, alerta o projetista que suas decisões podem afetar diretamente os custos do projeto. As anotações de PMI devem, favorecer o custo benefício, almejar o menor custo possível mantendo padrões rigorosos da Norma. Geometrias e tolerâncias desnecessárias ou que encareçam o projeto devem ser evitadas ao se perguntar se essa diretriz está sendo atendida conforme demonstrado na Figura 28.

Figura 27: Tela da diretriz 05 da ferramenta

Guideline

Start | 1 | 2 | 3 | 4 | **5** | 6 | 7 | Report

Guideline 5

The syntax of PMI annotations (elements, symbols, etc.) should consider the COSTS for manufacturing/assembling of component/assembly (e.g., unjustified geometric tolerances and/or finishing affect the cost).

Does this PMI annotation consider COSTS for manufacturing/assembling the component/assembly?

Choose an option:

Yes

No

Not Applicable

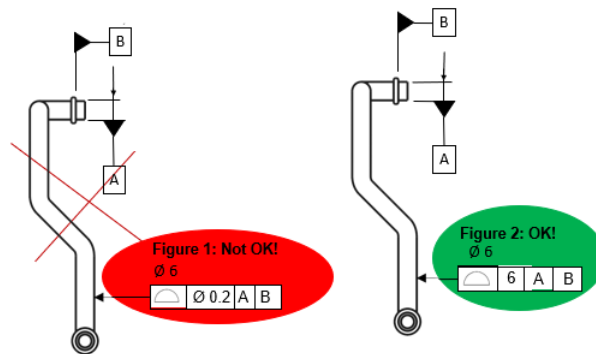
Example

Previous | Next | ISO 1101 | ISO 5459 | Save | Exit

Fonte: O Autor

Figura 28: Exemplo da diretriz 05

Example 5: Design according to the manufacturing / assembly cost.



Note: Too narrow tolerances shown on **Figure 1** will cost much more than those in **Figure 2**, i.e., they could be more flexible, in order not to compromise the cost, for to understand what is the right, is important to do a stack up analysis to know the worst and better tolerance conditions.

Fonte: O Autor

A Diretriz 6, Figura 29, indica ao projetista que todas as anotações de PMI devem estar em ambas indicadas do modelo, 3D e 2D. Mesmo em vistas diferentes o padrão deve ser seguido conforme na Figura 30. No desenvolvimento de um projeto é elaborado o desenho tridimensional do componente e deve-se inserir todas as anotações cabíveis para a real compreensão do que se pretende informar com o modelo. Na sequência, no modelo bidimensional tais anotações devem ser igualmente reproduzidas de acordo com o modelo original. Não devem haver divergências entre as representações da mesma peça ou montagem. Nos casos em que o fornecedor recebe apenas um arquivo, seja ele 2D ou 3D, todas as informações necessárias devem ser embutidas no arquivo.

Figura 29: Tela da diretriz 06 da ferramenta

Guideline

Start | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | **6** | 7 | Report

Guideline 6

The syntax of PMI annotations (elements, symbols, etc.) must be in the original 3D CAD model, and there should be no divergence between the respective component/assembly 2D drawing. Tolerances that affect part functionality must be in the 2D drawing.

Is this PMI annotation added to the original 3D CAD model? Is there any divergence between this and the respective 2D drawing component/assembly?

Choose an option:

Yes

No

Not Applicable

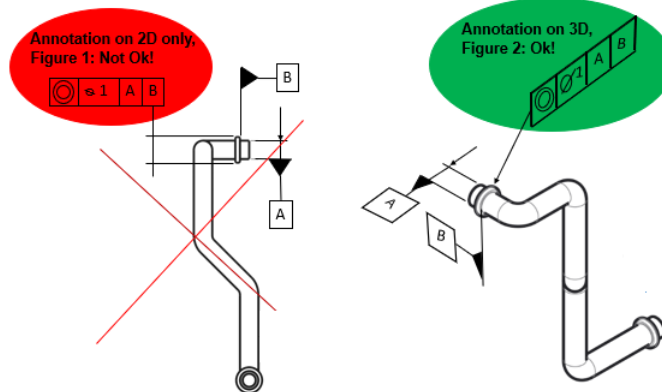
Example

Previous | Next | ISO 1101 | ISO 5459 | Save | Exit

Fonte: O Autor

Figura 30: Exemplo da diretriz 06

Example 6: PMI annotations not should come from 2D Drawing (Figure 1), but from original CAD 3D Model (Figure 2).



Note: To reduce design ambiguities and other important disadvantages.

Fonte: O Autor

A Diretriz 7, Figura 31, visa a busca de falhas no projeto ainda nas fases iniciais, onde o número de incertezas é grande e uma atenção maior é necessária. O uso de DFMEA, exemplificado na Figura 32, no início colabora com a atenção do projetista em parâmetros que abrangem possíveis falhas e resultem em retrabalhos desnecessários.

Figura 31: Tela da diretriz 07 da ferramenta

Guideline

Start | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | Report

Guideline 7

In addition to the PMI annotations syntax (elements, symbols, etc.) one should also apply company standard DFMEA tools and methods, to the component/assembly for detecting potential failures in the initial design phases.

Is this PMI annotation, the result of a DFMEA analysis, even if the component/assembly does not have the potential to compromise safety?

Choose an option:

Yes

No

Not Applicable

Example

Previous | Next | ISO 1101 | ISO 5459 | Save | Exit

Fonte: O Autor

Figura 32: Exemplo da diretriz 07

DESIGN FMEA

Example 7: DFMEA, to correctly specify PMI annotation.

Note: To detect potential failures, it's important to perform DFMEA in the initial phases (Project phase) in order to add greater value to the product.

| Component Name / Process / Operation / or Main Function | Failure Characterization | | | | | Current Situation Assessment | | | | | Action /Results | | | | |
|---|--------------------------|------------------------|--------------------------|----------------|--|---|----------|-------------|-----------|-----|-----------------|--|-----------|----------|-------------|
| | Function | Potential Failure Mode | Potential Failure Effect | Classification | Potential Cause of Failure | Design Verification | Severity | Occurrences | Detection | RPN | Critical | Recommended Action | Contoller | Deadline | Observation |
| Steel Tube | Air Passage | Leakage | Noise | HIC | Incorrect Sealing Diameter Specification | Specify Tolerance for Nozzle Diameters | 7 | 2 | 4 | 56 | | Apply appropriate Datum Letter Reference / Datum Target Reference, with adequate nozzle tolerance | | | |
| | | Friction | Non-Assembly | HIC | Incorrect Drawing Specification | Add Datum and Tolerance References (GD&T) | 7 | 2 | 1 | 14 | | Apply suitable Datum Letter Reference / Datum Target Reference, with adequate tolerance (Shape and Surface) in the nozzles | | | |

Fonte: O Autor

A última aba, Figura 33, refere-se ao relatório que pode ser arquivado em um banco de dados para análises posteriores e melhoria contínua.

Figura 33: Tela da aba Report da ferramenta

Guideline

Start | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | **Report**

Report

Guideline 1
Is this PMI annotation in accordance with the company's updated TECHNICAL STANDARDS?

Guideline 2
Is this PMI annotation in accordance with the component assembly FUNCTION?

Guideline 3
Is this PMI annotation in accordance with the MANUFACTURING process of the component/assembly?

Previous | Next | ISO 1101 | ISO 5459 | Save | Exit

Fonte: O Autor

A Figura 34 apresenta o relatório final gerado pela ferramenta com programa em VBA. Os dados do usuário assim como suas respostas são apresentados no documento final.

Figura 34: Tela do conjunto diretriz na ferramenta

| REPORT | | | |
|--|----------------------------|------------------|--------|
| Company: | Montadora XYZ | | |
| Staff Member: | João da Silva | | |
| Position: | Projetista Mecânico Senior | Id Member: | 123456 |
| Element: | Tubo Especial | Id Element: | DC1234 |
| RESULT OF COMPLIANCE | | | |
| 1. Is this PMI annotation in accordance with the company's updated TECHNICAL STANDARDS? | | | |
| Yes | | | |
| 2. Is this PMI annotation in accordance with the component assembly FUNCTION? | | | |
| Yes | | | |
| 3. Is this PMI annotation in accordance with the MANUFACTURING process of the component/assembly? | | | |
| Yes | | | |
| 4. Is this PMI annotation consistent with the ASSEMBLY process of the component/assembly? | | | |
| Yes | | | |
| 5. Does this PMI annotation consider COSTS for manufacturing/assembling the component/assembly? | | | |
| Yes | | | |
| 6. Is this PMI annotation added to the original 3D CAD model? Is there any divergence between this and the respective 2D drawing component/assembly? | | | |
| Not Applicable | | | |
| 7. Is this PMI annotation, the result of a DFMEA analysis, even if the component/assembly does not have the potential to compromise safety? | | | |
| Not Applicable | | | |
| 15:17 | | 08/setembro/2018 | |

Fonte: O Autor

4.3 AVALIAÇÃO DA SOLUÇÃO E ANÁLISE DA DISCUSSÃO

O objetivo da avaliação da solução é verificar se conjunto das diretrizes desenvolvidas na seção anterior funciona bem. Nesta etapa de avaliação aplicou-se um questionário contendo duas etapas (Quadro 6). A primeira tinha como objetivo principal avaliar apenas as sete diretrizes (conjunto de diretrizes) desenvolvidas. A segunda parte tinha como objetivo avaliar a utilização da ferramenta que contém as diretrizes. Os critérios de avaliação seguem a estrutura proposta pelo DSR. Para o conjunto de diretrizes a etapa de avaliação deve observar os critérios de eficiência, generalidade, facilidade de uso e operacionalidade.

O critério de eficiência busca verificar se a utilização das diretrizes e da ferramenta desenvolvida consegue alavancar o indicador de produtividade. O critério de generalidade verifica se as questões apresentadas nas diretrizes conseguem atender ao maior número dos casos encontrados. A facilidade de uso corresponde a quão fácil é o uso destas diretrizes, como também apresenta a dificuldade no momento de aplicá-la, por meio da ferramenta de software. A operacionalidade aborda a questão do conforto no uso diário das diretrizes, como também a ferramenta de software.

O envio dos questionários foi seguido pela seleção de uma peça mecânica para que o projetista pudesse verificar e avaliar a aplicação deste conjunto de diretrizes, proposta, durante a fase da criação das anotações de PMI. Dos cinco engenheiros que participaram das entrevistas iniciais, devido a pressão do trabalho do dia a dia, apenas três conseguiram fazer parte destas avaliações.

Todos os engenheiros receberam exatamente os mesmos questionários para avaliar tanto a diretriz como a ferramenta para aplicação. As respostas dos questionários encontram-se no Apêndice A. Para avaliar o conjunto de diretrizes e a ferramenta contendo o conjunto das diretrizes, para a sua respectiva aplicação, utilizou a escala Likert (1932), sendo a pontuação de 1 a 5 para Discordo plenamente e Concordo plenamente respectivamente.

Avaliando os resultados para o conjunto de diretrizes, percebe-se que do total de 15 pontos máximos, que poderiam alcançar cada critério, os critérios de eficiência, generalidade e facilidade de uso, as mesmas obtiveram 14 pontos, o critério de operacionalidade obteve pontuação de 13, obtendo-se assim, a média geral de 90 porcentos, indicando que o resultado foi muito bom, conforme demonstrado na (Figura 35). Na avaliação da ferramenta contendo o conjunto das diretrizes, as pontuações para generalidade e facilidade de uso alcançaram 13 pontos, a operacionalidade 14 e a eficiência obteve a menor pontuação com 11 pontos, obtendo assim, a média geral de 84,44 porcentos, indicando que o resultado foi bom, conforme

demonstrado na (Figura 36).

Os resultados das duas avaliações demonstraram que o desenvolvimento das diretrizes foi aceito pelos especialistas com capacidade para aprimorar o processo e a qualidade das informações. No que diz respeito a ferramenta desenvolvida, as respostas por parte dos avaliadores demonstraram a necessidade de melhorar alguns aspectos, principalmente no que diz respeito ao critério de eficiência, pois houve algumas dificuldades no momento de sua utilização. Notou-se que a criação de um manual com o passo a passo do uso da ferramenta poderia auxiliar aqueles que iriam utilizar pela primeira vez.

Sabemos também da limitação que houve, devido ao fato de ter tido poucas pessoas para avaliarem, tanto o conjunto das diretrizes, como também para a ferramenta contendo o conjunto das diretrizes.

Quadro 6: Modelo de questionário para avaliação

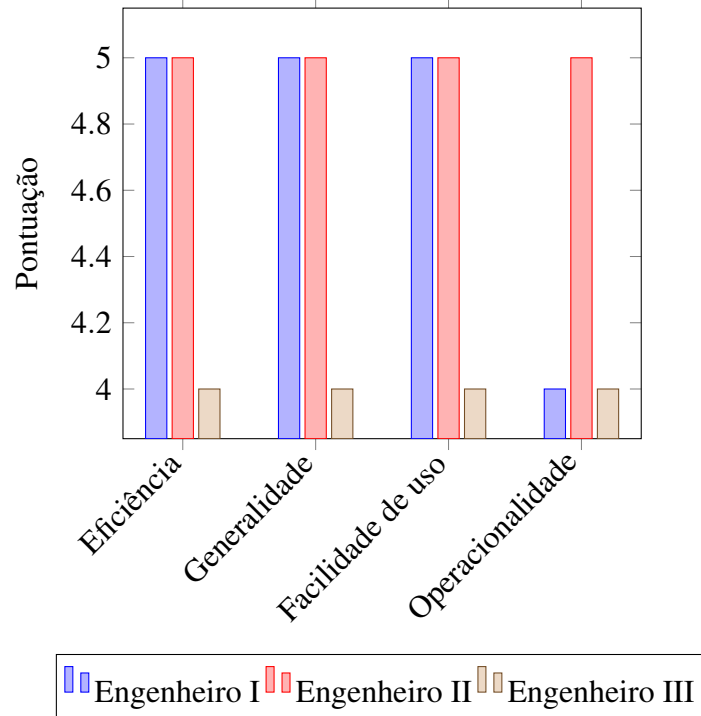
| QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DAS DIRETRIZES | | | | | | |
|---|--|------------------------|----------|--------|----------|------------------------|
| CRITÉRIOS | DIRETRIZES | Discordo Plenamente | Discordo | Neutro | Concordo | Concordo Plenamente |
| EFICIÊNCIA | O uso destas diretrizes, permitirá melhorar a Qualidade da Informação, transmitida por meio de uma anotação de PMI, a quem quer que use essa Informação, posteriormente? | | | | | |
| GENERALIDADE | Estas diretrizes, são genéricas o suficiente, para atender a maioria dos casos de componentes montagens e anotações de PMI? | | | | | |
| FACILIDADE DE USO | Estas diretrizes são fáceis de se entender? | | | | | |
| OPERACIONALIDADE | Consegue-se utilizar estas diretrizes, no seu trabalho do dia a dia? | | | | | |

| QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA | | | | | | |
|--|---|------------------------|----------|--------|----------|------------------------|
| CRITÉRIOS | SOFTWARE | Discordo Plenamente | Discordo | Neutro | Concordo | Concordo Plenamente |
| EFICIÊNCIA | Com esta nova ferramenta de software que está sendo proposta, acha que desperdiça-se menos tempo, para aplicar estas mesmas ações de correção, do que do jeito usual? | | | | | |
| | Esta ferramenta de software funciona bem? | | | | | |
| GENERALIDADE | Esta ferramenta software poderia ser adaptada para utilização em outro cenário? | | | | | |
| FACILIDADE DE USO | Esta ferramenta de software é fáceis de usar? | | | | | |
| OPERACIONALIDADE | Consegue-se utilizar esta ferramenta software no seu trabalho do dia a dia? | | | | | |

| | |
|-------------------------|---|
| SUGESTÕES PARA MELHORIA | PARA O CONTEXTO DESTAS DIRETRIZES E FERRAMENTA DE SOFTWARE APRESENTADA O QUE PODERIA SER MELHORADA? |
| | |
| | |
| | |
| | |

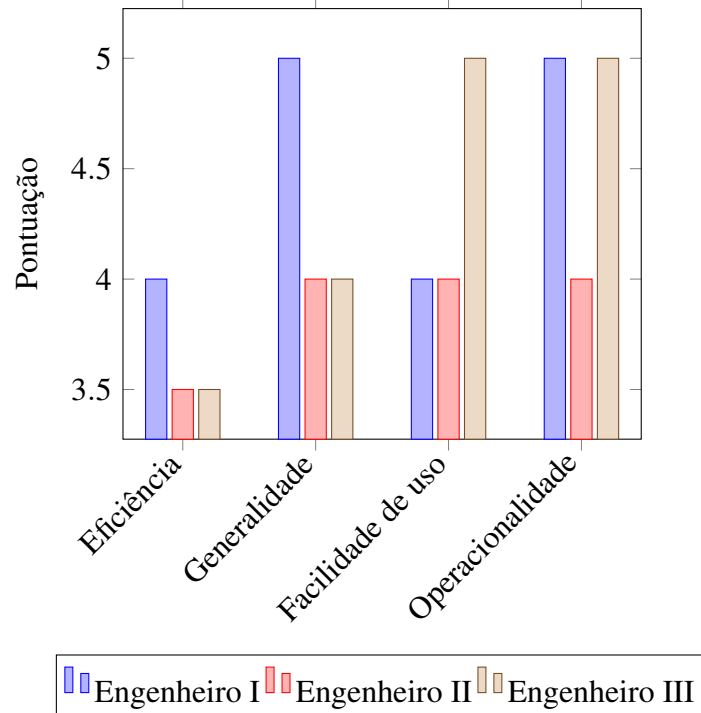
Fonte: O Autor

Figura 35: Resultado da avaliação para as diretrizes



Fonte: O Autor

Figura 36: Resultado da avaliação para a ferramenta



Fonte: O Autor

A ferramenta foi criada para facilitar a checagem dos desenhos aplicando as diretrizes. As informações relativas a checagem foram armazenadas em formato de relatório. No futuro pretende-se criar um banco de dados para extrair as maiores incidências de falhas, promovendo a melhoria contínua dos projetos.

5 CONCLUSÃO

O processo de desenvolvimento de produto permite falhas humanas desde os estágios iniciais. Quanto maior o nível de incertezas, maior a probabilidade de erros. O uso do conjunto de diretrizes proposto a profissionais com ou sem experiência se mostrou consistente na orientação nos estágios iniciais. Quando o especialista segue uma sistemática, são reduzidas as chances de erro. Mesmo a falta de experiência pode ser compensada pelas orientações do conjunto de diretrizes.

O conjunto de diretrizes proposta consiste em forma de assegurar a qualidade durante o PDP, o mesmo aplicado nas fases iniciais do projeto, colabora com a maior parte dos setores industriais onde os especialistas precisam codificar as anotações de PMI. De acordo com os objetivos propostos (Elaboração de um diagnóstico, determinação de um conjunto de diretrizes, desenvolvimento de uma ferramenta e avaliação do conjunto de diretrizes), pode se assegurar que o conjunto das diretrizes satisfaz os requisitos diante dos benefícios percebidos. Durante a avaliação a maior parte dos participantes aprovou e colaborou com sugestões para estudos futuros. Diante do tempo limitado a melhoria proposta foi mantida manual, mas com grande potencial de ser incorporada nas ferramentas CAD utilizadas pela empresa.

O uso de questionário na investigação da pesquisa mostrou se eficiente para coleta de dados. Os engenheiros de produto, projeto e de qualidade possuíam bastante experiência na área de atuação e compartilharam pontos relevantes que não haviam sido considerados. A partir de 20 questões iniciais, que chegaram a totalizar 103 questões / respostas, apesar de 82 não possuírem grande relevância com o objetivo deste trabalho de pesquisa, as demais, questões e respostas, após o diagnóstico da empresa, colaboraram grandemente na construção do conhecimento. A relevância científica é explícita nas sete diretrizes, pois organizaram um grande número de questões em uma sucinta ferramenta utilizada nos estágios iniciais do PDP.

Percebeu-se uma grande dificuldade na gestão de informação, pois o conhecimento implícito é complexo e o uso de ferramentas mais adequadas poderiam melhorar o processo. Os mapas mentais utilizados na organização dos dados colaboraram bastante na visualização, do desenvolvimento da solução, e os benefício percebido foram muito bons. Os engenheiros entrevistados informaram que poderiam ser feitas melhorias no processo para simplificar a abordagem. O uso de um manual poderia ser uma solução na orientação dos usuários. Porém,

como a área de atuação do pesquisador reside na manufatura inteligente, a gestão da informação e interação com usuário podem ser incorporados a um sistema inteligente aplicado em prol da otimização do conhecimento.

A partir dos dados coletados, as diretrizes foram criadas baseadas em conhecimento implícito dos especialistas. O processo de avaliação indicou que existe potencial de redução de desperdícios devido a detecção de falhas ainda nos estágios iniciais, como também potencial aumento na produtividade, devido a ausência de refugos, que afeta diretamente os custos do PDP. Todos os benefícios impactam positivamente, e diretamente ao cliente final, pois reduz o tempo de entrega do produto e aumenta a confiabilidade no pós-venda. Estes indicadores resultam no aumento de competitividade da empresa no mercado de trabalho.

Como recomendações futuras, sugere-se uma abordagem integrada ao software CAD, como também sistemas especialistas, pois o uso de soluções de gerenciamento de conhecimento com instanciações em tempo real, ou seja, enquanto o projeto está sendo criado, o próprio software poderia indicar soluções adequadas ou não de acordo com as diretrizes das normas utilizadas, como também empregar inteligência artificial, para dar suporte aos seus pressupostos criadores das anotações de PMI, relacionadas aos atributos da qualidade da informação, nas fases iniciais do PDP, fazendo com que o sistema aprenda sobre a qualidade da informação.

Outra recomendação é expandir o conteúdo das diretrizes para aplicação únicas da empresa em uma área de conhecimento específico. Além das Normas, o conhecimento implícito poderia ser capturado e reutilizado em projetos posteriores seguindo o conjunto de diretrizes proposta.

REFERÊNCIAS

AHMED, F.; HAN, S. Interoperability of product and manufacturing information using ontology. **Concurrent Engineering**, SAGE Publications Sage UK: London, England, v. 23, n. 3, p. 265–278, 2015.

ASME, A. **ASME Y14.5-2009: Dimensioning and tolerancing : engineering drawing and related documentation practices**. New York: ASME, 2009. OCLC: 932731770. ISBN 978-0-7918-3192-2.

ASME, A. **ASME Y14.41-2012: Digital product definition data practices: engineering drawing and related documentation practices**. [S.l.: s.n.], 2012. OCLC: 922008874. ISBN 978-0-7918-3407-7.

BAUCH, C. **Lean Product Development: Making waste transparent**. Tese (Doutorado) — Massachusetts Institute of Technology, 2004.

BONAT, D. **Metodologia da pesquisa**. [S.l.]: IESDE BRASIL SA, 2009.

BRALLA, J. G. (Ed.). **Design for manufacturability handbook**. 2nd ed. ed. New York: McGraw-Hill, 1999. (McGraw-Hill handbooks). ISBN 978-0-07-007139-1.

COSTA, J. M. et al. Systematization of recurrent new product development management problems. **Engineering Management Journal**, Taylor & Francis, v. 25, n. 1, p. 19–34, 2013.

DEAN, B. V.; SALSTROM, R. L. Utilization of design for manufacturing (dfm) techniques. In: IEEE. **Engineering Management Conference, 1990. Management Through the Year 2000-Gaining the Competitive Advantage, 1990 IEEE International**. [S.l.], 1990. p. 223–232.

DRESCH, A.; LACERDA, D. P.; ANTUNES, J. A. V. **Design science research: a method for science and technology advancement**. [S.l.: s.n.], 2015. OCLC: 903354350. ISBN 978-3-319-07373-6.

EASTMAN, C. M. **Design for X: concurrent engineering imperatives**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 2012.

FANG, F. Z. et al. Closed loop pmi driven dimensional quality lifecycle management approach for smart manufacturing system. **Procedia CIRP**, Elsevier, v. 56, p. 614–619, 2016.

FEENEY, A. B.; FRECHETTE, S. P.; SRINIVASAN, V. A portrait of an iso step tolerancing standard as an enabler of smart manufacturing systems. **Journal of Computing and Information Science in Engineering**, American Society of Mechanical Engineers, v. 15, n. 2, 2015.

FISCHER, B. R. A step up. **Mechanical Engineering Magazine Select Articles**, American Society of Mechanical Engineers, v. 137, n. 03, p. 42–45, 2015.

FRECHETTE, S.; JONES, A.; FISCHER, B. Strategy for Testing Conformance to Geometric Dimensioning & Tolerancing Standards. **Procedia CIRP**, v. 10, p. 211–215, 2013. ISSN 22128271.

GAO, J.; BERNARD, A. An overview of knowledge sharing in new product development. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, Springer, v. 94, n. 5-8, p. 1545–1550, 2018.

GATENBY, D. A.; FOO, G. Design for x (dfx): Key to competitive, profitable products. **AT&T Technical Journal**, Wiley Online Library, v. 69, n. 3, p. 2–13, 1990.

HEDBERG, T. et al. Testing the digital thread in support of model-based manufacturing and inspection. **Journal of computing and information science in engineering**, American Society of Mechanical Engineers, v. 16, n. 2, p. 021001, 2016.

HEVNER, A.; CHATTERJEE, S. Design science research in information systems. In: **Design research in information systems**. [S.l.]: Springer, 2010. p. 9–22.

INSTITUTE, P. P. M. (Ed.). **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)**. Fifth edition. Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc, 2013. ISBN 978-1-935589-67-9.

ISO, I. **ISO 16792-2015: Technical product documentation—Digital product definition data practices**. [S.l.: s.n.], 2015.

KEYS, L. K. System life cycle engineering and df'x'. **IEEE Transactions on Components, Hybrids, and Manufacturing Technology**, IEEE, v. 13, n. 1, p. 83–93, 1990.

KNEEBONE, S. Knowledge management in engineering. **Round Table on Knowledge Management, University of Warwick, Coventry, UK**, 1998.

KOEN, P. et al. Providing clarity and a common language to the “fuzzy front end”. **Research-Technology Management**, Taylor & Francis, v. 44, n. 2, p. 46–55, 2001.

KORNGOLD, J.; LUSCHER, T. Product design for ease of assembly—dfa. **DFM Manual**, v. 15, 2000.

LIKER, J. K.; MORGAN, J. M. The toyota way in services: the case of lean product development. **Academy of management perspectives**, Academy of Management Briarcliff Manor, NY 10510, v. 20, n. 2, p. 5–20, 2006.

LIKERT, R. A technique for the measurement of attitudes. **Archives of psychology**, 1932.

LIPMAN, R.; LUBELL, J. Conformance checking of PMI representation in CAD model STEP data exchange files. **Computer-Aided Design**, v. 66, p. 14–23, set. 2015. ISSN 00104485.

LIU, Y. et al. Identifying helpful online reviews: a product designer's perspective. **Computer-Aided Design**, Elsevier, v. 45, n. 2, p. 180–194, 2013.

MEERKAMM, H. Design for x—a core area of design methodology. **Journal of Engineering Design**, Taylor & Francis, v. 5, n. 2, p. 165–181, 1994.

PAHL, G.; BEITZ, W. **Engineering design: a systematic approach**. [S.l.]: Springer Science & Business Media, 1996.

PEFFERS, K. et al. A design science research methodology for information systems research. **Journal of management information systems**, Taylor & Francis, v. 24, n. 3, p. 45–77, 2007.

PMI, P. (Ed.). **A guide to the project management body of knowledge (PMBOK guide)**. Fifth edition. Newtown Square, Pennsylvania: Project Management Institute, Inc, 2013. ISBN 978-1-935589-67-9.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para a melhoria do processo**. [S.l.]: Editora Saraiva, 2007. OCLC: 457516054. ISBN 978-85-02-05446-2.

SATO, R. S. et al. Product development, digital manufacturing, and product manufacturing information: A bibliometric and systemic analysis. **Procedia Manufacturing**, ELSEVIER, 2018.

SIMON, H. A. **The sciences of the artificial**. [S.l.]: MIT press, 1996.

SRINIVASAN, V. Standardizing the specification, verification, and exchange of product geometry: Research, status and trends. **Computer-Aided Design**, Elsevier, v. 40, n. 7, p. 738–749, 2008.

STANDARDIZATION, I. International Organization for. **ISO 1101-2017: Geometrical product specifications (GPS) — Geometrical tolerancing — Tolerances of form, orientation, location and run-out**. [S.l.], 2017.

STOLL, H. W. Design for manufacture: an overview. **Applied Mechanics Reviews**, American Society of Mechanical Engineers, v. 39, n. 9, p. 1356–1364, 1986.

STRONG, D.; LEE, Y.; WANG, R. 10 potholes in the road to information quality. **Computer**, v. 30, n. 8, p. 38–46, ago. 1997. ISSN 00189162.

SUH, Y. A global knowledge transfer network: the case of toyota's global production support system. **International Journal of Productivity and Quality Management**, v. 15, n. 2, p. 237–251, 2015.

ULLMAN, D. G. Robust decision-making for engineering design. **Journal of Engineering Design**, Taylor & Francis, v. 12, n. 1, p. 3–13, 2001.

WOMACK, J. P. et al. **The machine that changed the world: the story of lean production**. [S.l.]: Harper Collins, 1991.

XIAO, J. et al. Information exchange standards for design, tolerancing and additive manufacturing: a research review. **International Journal on Interactive Design and Manufacturing (IJIDeM)**, Springer, p. 1–10, 2018.

YASSINE, A. A.; SREENIVAS, R. S.; ZHU, J. Managing the exchange of information in product development. **European Journal of Operational Research**, Elsevier, v. 184, n. 1, p. 311–326, 2008.

YOUSSEF, M. A. Design for manufacturability and time-to-market, part 1: theoretical foundations. **International Journal of Operations & Production Management**, MCB UP Ltd, v. 14, n. 12, p. 6–21, 1994.

APÊNDICE A – RESPOSTAS DOS QUESTIONÁRIOS

Quadro 7: Respostas Engenheiro I

| QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DAS DIRETRIZES | | | | | | |
|--|---|---------------------|----------|--------|----------|---------------------|
| CRITÉRIOS | DIRETRIZES | Discordo Plenamente | Discordo | Neutro | Concordo | Concordo Plenamente |
| EFICIÊNCIA | O uso destas diretrizes, permitirá melhorar a Qualidade da Informação, transmitida através de uma anotação de PMI, a quem quer que use essa Informação, posteriormente? | | | | | X |
| GENERALIDADE | Estas diretrizes, são genéricos o suficiente, para atender a maioria dos casos de componentes montagens e anotações de PMI? | | | | | X |
| FACILIDADE DE USO | Estas diretrizes são fáceis de se entender? | | | | | X |
| OPERACIONALIDADE | Consegue-se utilizar estas diretrizes, no seu trabalho do dia a dia? | | | | X | |

| QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA | | | | | | |
|---|---|---------------------|----------|--------|----------|---------------------|
| CRITÉRIOS | SOFTWARE | Discordo Plenamente | Discordo | Neutro | Concordo | Concordo Plenamente |
| EFICIÊNCIA | Com esta nova ferramenta de software que está sendo proposta, acha que desperdiça-se menos tempo, para aplicar estas mesmas ações de correção, do que do jeito usual? | | | | X | |
| | Esta ferramenta de software funciona bem? | | | | X | |
| GENERALIDADE | Esta ferramenta software poderia ser adaptada para utilização em outro cenário? | | | | | X |
| FACILIDADE DE USO | Esta ferramenta de software é fáceis de usar? | | | | X | |
| OPERACIONALIDADE | Consegue-se utilizar esta ferramenta software no seu trabalho do dia a dia? | | | | | X |

| SUGESTÕES PARA MELHORIA | PARA O CONTEXTO DESTAS DIRETRIZES E FERRAMENTA DE SOFTWARE APRESENTADA O QUE PODERIA SER MELHORADA? |
|-------------------------|---|
| - | - |
| - | - |
| - | - |
| - | - |

Quadro 8: Respostas Engenheiro II

| QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DAS DIRETRIZES | | | | | | |
|---|---|---------------------|----------|--------|----------|---------------------|
| CRITÉRIOS | DIRETRIZES | Discordo Plenamente | Discordo | Neutro | Concordo | Concordo Plenamente |
| EFICIÊNCIA | O uso destas diretrizes, permitirá melhorar a Qualidade da Informação, transmitida através de uma anotação de PMI, a quem quer que use essa Informação, posteriormente? | | | | | X |
| GENERALIDADE | Estas diretrizes, são genéricos o suficiente, para atender a maioria dos casos de componentes montagens e anotações de PMI? | | | | | X |
| FACILIDADE DE USO | Estas diretrizes são fáceis de se entender? | | | | | X |
| OPERACIONALIDADE | Consegue-se utilizar estas diretrizes, no seu trabalho do dia a dia? | | | | | X |

| QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA | | | | | | |
|--|---|---------------------|----------|--------|----------|---------------------|
| CRITÉRIOS | SOFTWARE | Discordo Plenamente | Discordo | Neutro | Concordo | Concordo Plenamente |
| EFICIÊNCIA | Com esta nova ferramenta de software que está sendo proposta, acha que desperdiça-se menos tempo, para aplicar estas mesmas ações de correção, do que do jeito usual? | | | | | X |
| | Esta ferramenta de software funciona bem? | | X | | | |
| GENERALIDADE | Esta ferramenta software poderia ser adaptada para utilização em outro cenário? | | | | X | |
| FACILIDADE DE USO | Esta ferramenta de software é fáceis de usar? | | | | X | |
| OPERACIONALIDADE | Consegue-se utilizar esta ferramenta software no seu trabalho do dia a dia? | | | | X | |

| SUGESTÕES PARA MELHORIA | PARA O CONTEXTO DESTAS DIRETRIZES E FERRAMENTA DE SOFTWARE APRESENTADA O QUE PODERIA SER MELHORADA? |
|--------------------------------------|--|
| Melhorar esta ferramenta de software | A ferramenta precisa ser melhorada. No início ela não funcionou no meu computador e foi necessário algumas modificações no programa. |
| Melhorar esta ferramenta de software | Informar claramente (incluir algum aviso em cada tela) que o exemplo precisa ser fechado antes de clicar no botão Next. |
| Melhorar esta ferramenta de software | Existem dois botões "report"(um funciona e o outro não) e isso gera problemas durante a utilização do software (geração do arquivo). |
| - | - |

Quadro 9: Respostas Engenheiro III

| QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DAS DIRETRIZES | | | | | | |
|---|---|---------------------|----------|--------|----------|---------------------|
| CRITÉRIOS | DIRETRIZES | Discordo Plenamente | Discordo | Neutro | Concordo | Concordo Plenamente |
| EFICIÊNCIA | O uso destas diretrizes, permitirá melhorar a Qualidade da Informação, transmitida através de uma anotação de PMI, a quem quer que use essa Informação, posteriormente? | | | | X | |
| GENERALIDADE | Estas diretrizes, são genéricos o suficiente, para atender a maioria dos casos de componentes montagens e anotações de PMI? | | | | X | |
| FACILIDADE DE USO | Estas diretrizes são fáceis de se entender? | | | | X | |
| OPERACIONALIDADE | Consegue-se utilizar estas diretrizes, no seu trabalho do dia a dia? | | | | X | |

| QUESTIONÁRIO PARA AVALIAÇÃO DA FERRAMENTA | | | | | | |
|--|---|---------------------|----------|--------|----------|---------------------|
| CRITÉRIOS | SOFTWARE | Discordo Plenamente | Discordo | Neutro | Concordo | Concordo Plenamente |
| EFICIÊNCIA | Com esta nova ferramenta de software que está sendo proposta, acha que desperdiça-se menos tempo, para aplicar estas mesmas ações de correção, do que do jeito usual? | | X | | | |
| | Esta ferramenta de software funciona bem? | | | | X | |
| GENERALIDADE | Esta ferramenta software poderia ser adaptada para utilização em outro cenário? | | | | X | |
| FACILIDADE DE USO | Esta ferramenta de software é fáceis de usar? | | | | | X |
| OPERACIONALIDADE | Consegue-se utilizar esta ferramenta software no seu trabalho do dia a dia? | | | | | X |

| SUGESTÕES PARA MELHORIA | PARA O CONTEXTO DESTAS DIRETRIZES E FERRAMENTA DE SOFTWARE APRESENTADA O QUE PODERIA SER MELHORADA? |
|---|---|
| O fato de se utilizar uma ferramenta a mais durante o PDP parece incrementar o tempo gasto. Porém, se a melhoria trazida pela mesma for boa, justifica-se utilizar essa ferramenta. | Testar em algumas aplicações, para verificar qual o grau de melhoria trazida pela utilização da ferramenta. |
| - | - |
| - | - |
| - | - |