

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
CÂMPUS GUARAPUAVA
COORDENAÇÃO DE ENGENHARIA MECÂNICA**

RAFAEL LUCAS MILLA

**PROJETO ADAPTATIVO DE UM SISTEMA DE
DISTRIBUIÇÃO DE PALHIÇO PARA COLHEITADEIRA
MODELO TC57**

**GUARAPUAVA
2019**

RAFAEL LUCAS MILLA

**PROJETO ADAPTATIVO DE UM SISTEMA DE
DISTRIBUIÇÃO DE PALHIÇO PARA COLHEITADEIRA
MODELO TC 57**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado como requisito parcial à obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná.

Orientador: Prof. Dr. David Lira Nuñez

GUARAPUAVA
2019

TERMO DE APROVAÇÃO

PROJETO ADAPTATIVO DE UM SISTEMA DE DISTRIBUIÇÃO DE PALHIÇO PARA COLHEITADEIRA MODELO TC57

RAFAEL LUCAS MILLA

Este Trabalho de Conclusão de Curso foi apresentado em Guarapuava, Paraná na data 02 de dezembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica. O candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho aprovado.

David Lira Nuñez
Prof. Orientador

Luan Jose Franchini Ferreira
Membro Da Banca

Silvia Do Nascimento Rosa
Membro Da Banca

Aldo Przybysz
Coordenador do Curso de Engenharia Mecânica

Rafael Lucas Milla

O Termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Curso

MILLA, Rafael Lucas. **Projeto adaptativo de um sistema de distribuição de palhiço para colheitadeira modelo TC57**. 2019. 97 f. Trabalho de Conclusão de Curso – Coordenação de Engenharia Mecânica (COEME), Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Guarapuava, 2018.

RESUMO

No presente trabalho busca-se desenvolver um projeto adaptativo de um distribuidor de palhiço para a colheitadeira modelo TC57, que está defasada em relação ao uso desse sistema. Para tal, a concepção desse equipamento baseou-se em método de desenvolvimento de projeto na engenharia, percorrendo do projeto informacional, ao conceitual até o detalhado. No projeto informacional contextualizou-se o problema de distribuição desuniforme de palhiço e suas consequências ao agronegócio e ao meio ambiente. Buscou-se ainda por informações de equipamentos semelhantes, seu funcionamento básico e estudos com as melhores práticas de operação. No projeto conceitual, utilizou-se de técnicas como árvore de projeto, árvore de funções e Análise dos Efeitos e Modos de Falha para o Projeto (DFMEA – do inglês *Design Failure Mode and Effect Analysis*) para dar direcionamento, robustez e confiabilidade a proposta. No projeto detalhado realizou-se o detalhamento do distribuidor por meio do software de projeto assistido por computador (CAD – do inglês *Computer Aided Design*). Para alguns componentes aplicou-se controles detectivos por meio de cálculo analítico que resultaram na validação funcional e em proposta de melhoria de projeto. A proposta de modificação de posição do mancal resultou em um aumento da vida nominal de aproximadamente 1050 horas e foi melhorado a questão de manutenibilidade do sistema. Os resultados de análise de cisalhamento e esmagamento encontrados ratificaram o uso de um pino elástico garantindo sua confiabilidade. A aplicação do método de desenvolvimento de projeto exposto no presente trabalho resultou em uma diretriz iterativa para criação, desenvolvimento e validação do projeto do distribuidor de palhiço.

Palavras-chave: Distribuidor de palhiço. Projeto de Máquinas. DFMEA.

MILLA, Rafael Lucas. **Adaptative Project of a Chaff Spreader System for TC57 Model Harvester**. 2019. 97 f. Course Conclusion Work - Coordination of Mechanical Engineering (COEME), Federal Technological University of Paraná. Guarapuava, 2019.

ABSTRACT

The present work seeks to develop an adaptative project of a chaff spreader for TC57 model harvester, which is obsolete in relation the use of this system. Therefore, the conception of this equipment was based on a method of project development in engineering, going from the informational project to the conceptual and conclude with the detailed project. The informational project contextualized the problem of disuniform distribution and its consequences for agribusiness and for the environment. It was also sought for information on similar equipment, its basic operation and studies with the best operating practices. In the conceptual project, it was used techniques such as Project tree, Function tree, and Analysis of Effects and Failure Modes for the Project (DFMEA) to give direction, robustness and reliability to the proposal. In the detailed project, the distributor was detailed through the Computer Aided Design (CAD) software. For some components it was applied detective controls through analytical calculation that resulted in functional validation and in a proposal for project improvement. The proposal modification of the bearing position resulted in an increase of the nominal life of approximately 1050 hours and the issue of maintainability of the system was improved. The results of shear and crushing analysis confirmed the use of a spring pin ensuring its reliability. The application of the method of project development exposed in this work resulted in an iterative guideline for the creation, development and validation of the chaff distributor project.

Keywords: Chaff Spreader. Machinery Design. DFMEA.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Localização saca-palhas e peneiras	6
Figura 2 - Perfil de distribuição de palha da colhedora F (com distribuidor de palhiço).....	7
Figura 3 - Perfil de distribuição de palha da colhedora H (sem distribuidor de palhiço).....	8
Figura 4 - Posição de entrega de material em relação ao centro dos rotores.....	10
Figura 5 - Perfil de distribuição conforme posição de entrega de material.....	10
Figura 6 - Perfil de distribuição conforme número de pás	11
Figura 7 - Configuração das pás em 60°	12
Figura 8 - Configuração das pás em 120°	12
Figura 9 - Configuração das pás em 90°	12
Figura 10 - Perfil de distribuição em relação a angulação a uma rotação de 550 r.p.m.....	13
Figura 11 - Perfil de distribuição em relação a angulação a uma rotação de 225 r.p.m.....	13
Figura 12 - Perfil de distribuição em relação ao diâmetro dos rotores a uma rotação de 550 r.p.m.....	14
Figura 13 - Perfil de distribuição em relação ao diâmetro dos rotores a uma rotação de 225 r.p.m.....	14
Figura 14 - Processos do sistema convencional de colheita.....	16
Figura 15 - Sistemas de alimentação, trilha e separação	17
Figura 16 - Distribuidor de palha e palhiço separados	18
Figura 17 - Distribuidor de palha e palhiço juntos	19
Figura 18 - Configuração das pás (Vista superior).....	19
Figura 19 - Acionamento hidráulico.....	20
Figura 20 - Acionamento mecânico	20
Figura 21 - Sistema <i>Opti-spread</i> (New Holland CR 9090).....	21
Figura 22 - Distribuição de Resíduos (John Deere Série S600).....	22
Figura 23 - Processo de Desenvolvimento de Produto.....	27
Figura 24 - Exemplo de árvore de projeto.....	29
Figura 25 - Exemplo de desdobramento da função total.....	30
Figura 26 - Formulário DFMEA	35
Figura 27 - Árvore de causas de falhas	38
Figura 28 - Procedimento usado no desenvolvimento do projeto	45
Figura 29 - Árvore de projeto do distribuidor de palhiço.....	47
Figura 30 - Delimitação da função global	48
Figura 31 - Árvore de funções do distribuidor de palhiço.....	49
Figura 32 - Modelo TC57 a receber adaptação	52
Figura 33 - Distribuidor de palha	53
Figura 34 - Modelagem do distribuidor de palhiço	53
Figura 35 - Diagramas de esforços para configuração 1	56
Figura 36 - Mudança de posição do mancal	60
Figura 37 - Diagramas de esforços para configuração proposta	61
Figura 38 - Áreas de cisalhamento e esmagamento	64

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características das colheitadeiras avaliadas	7
Tabela 2 - Classificação das Colheitadeiras	15
Tabela 3 - Classificação de funções e objetivos	36
Tabela 4 - Modos de falha mecânicos	38
Tabela 5 - Níveis de severidade do efeito.....	40
Tabela 6 - Níveis de ocorrência das causas do modo de falha	41
Tabela 7 - Níveis de detectabilidade das causas e modos de falha.....	42
Tabela 8 - Classificação em relação a severidade	50
Tabela 9 - Resultados dos esforços da configuração 1 de projeto.....	57
Tabela 10 - Resultados dos esforços da configuração proposta ao projeto	61
Tabela 11 - Comparação dos resultados encontrados.....	62

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AGMA	Associação dos Fabricantes de Engrenagem dos Estados Unidos (do inglês <i>American Gear Manufacturers Association</i>)
ANSI	Instituto Nacional Americano de Padrões (do inglês <i>American National Standards Institute</i>)
ASABE	Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas e Biológicos (do inglês - <i>American Society of Agricultural and Biological Engineers</i>)
ASAE	Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas (do inglês - <i>American Society of Agricultural Engineering</i>)
ASME	Sociedade Norte-americana de Engenheiros Mecânicos (do inglês <i>American Society of Mechanical Engineers</i>)
C.V.	Coeficiente de Variação
CAD	Projeto Assistido por Computador (do inglês - <i>Computer Aided Design</i>)
CAE	Engenharia Assistida por Computador (do inglês - <i>Computer Aided Engineering</i>)
CFD	Dinâmica dos Fluidos Computacional (do inglês - <i>Computational Fluid Dynamics</i>)
DFMEA	Análise de Efeitos e Modos de Falhas para o Projeto (do inglês – <i>Design Failure Mode and Effect Analysis</i>)
FEA	Análise de Elementos Finitos (do inglês - <i>Finite Element Analysis</i>)
FEM	Método dos Elementos Finitos (do inglês - <i>Finite Element Method</i>)
FMEA	Análise de Efeitos e Modos de Falhas (do inglês - <i>Failure Mode and Effect Analysis</i>)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IEC	Comissão Eletrotécnica Internacional (do inglês - <i>International Electrotechnical Commission</i>)
ISO	Organização Internacional para Padronização (do inglês - <i>International Organization for Standardization</i>)
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NPR	Número de Prioridade de Risco (do inglês - <i>Risk Priority Number - RPN</i>)
PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
SAE	Sociedade de Engenheiros Automotivos (do inglês <i>Society of Automotive Engineers</i>)
TCC	Trabalho de Conclusão de Curso

Sumário

1	INTRODUÇÃO	1
1.1	JUSTIFICATIVA	3
1.2	OBJETIVOS	4
1.2.1	Objetivo Geral	4
1.2.2	Objetivos Específicos	4
1.3	ESTRUTURA DO TRABALHO	5
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	6
2.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	6
2.2	DISTRIBUIÇÃO DE PALHADA E PALHIÇO	6
2.2.1	Ensaio operacional de um distribuidor e melhores práticas	9
2.2.1.1	POSIÇÃO DO DISTRIBUIDOR	9
2.2.1.2	QUANTIDADE DE PÁS	10
2.2.1.3	ÂNGULO DAS PÁS	11
2.2.1.4	DIÂMETRO DOS ROTORES	14
2.2.2	Classificação dos sistemas operacionais de colheita	15
2.2.2.1	Sistema Convencional	16
2.2.3	Tipos de distribuidores	18
2.3	SISTEMAS DISPONÍVEIS ATUALMENTE	21
2.4	ELEMENTOS MECÂNICOS DE UM DISTRIBUIDOR DE PALHIÇO	23
2.4.1	Eixo	23
2.4.2	Mancal	24
2.4.3	Polia e Correia	24
2.4.4	Engrenagem.....	24
2.4.5	Chavetas, Estrias e Pinos.....	25
2.5	MÉTODOS DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO	26
2.5.1	Processo de desenvolvimento de produto	26
2.5.2	Projeto informacional	28
2.5.3	Projeto conceitual	28
2.5.3.1	ÁRVORE DE PROJETO	28
2.5.3.2	ÁRVORE DE FUNÇÕES	29
2.5.3.3	ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA PARA O PROJETOS.....	30
2.5.4	Projeto detalhado.....	31
2.6	ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHAS (FMEA).....	31
2.6.1	Definição	31
2.6.2	Classificação.....	32
2.6.3	FMEA de projeto.....	33
2.6.4	Metodologia para aplicação do FMEA	34
2.6.5	Planilha de FMEA de projeto	34
2.6.5.1	Função requerida	35
2.6.5.2	Falha	37
2.6.5.3	Modos de falha	37
2.6.5.4	Efeitos de falha.....	39
2.6.5.5	Severidade	39
2.6.5.6	Ocorrência	40
2.6.5.7	Detectabilidade	41
2.6.5.8	Número de prioridade de risco	42
2.6.6	Controles preventivos e detectivos.....	43
2.7	ABORDAGEM DA FMEA DE PROJETO.....	43
3	ASPECTOS METODOLÓGICOS	44

4	DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO.....	46
4.1	PROJETO INFORMACIONAL.....	46
4.2	PROJETO CONCEITUAL.....	46
4.2.1	Árvore de projeto.....	47
4.2.2	Árvore de funções	48
4.2.3	Resultados da DFMEA.....	49
4.3	PROJETO DETALHADO.....	51
4.3.1	Concepção do projeto.....	52
4.3.2	Análise da configuração 1 de projeto	54
4.3.3	Análise da proposta de melhoria do projeto.....	59
4.3.4	Análise da resistência do pino elástico.....	62
5	CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	67
	APÊNDICE A – FORMULÁRIO DFMEA DO SISTEMA COM ABORDAGEM <i>TOP-DOWN</i>.....	74
	APÊNDICE B – FORMULÁRIO DFMEA DO SUBSISTEMA TRANSMISSÃO COM ABORDAGEM <i>BOTTOM-UP</i>.....	82
	APÊNDICE C - DETALHAMENTO DO CONJUNTO EIXO, POLIA, LUVA E LISTA DE PEÇAS	91
	ANEXO A - COEFICIENTES DE DIMENSIONAMENTO DE ROLAMENTO.....	95
	ANEXO B - TABELA DA CARGA DINÂMICA EQUIVALENTE.....	96
	ANEXO C - TABELA DE DIMENSÕES DOS PINOS ELÁSTICOS.....	97

1 INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, o Brasil vem ganhando destaque entre os maiores fornecedores mundiais de alimentos e fibras. Os aspectos que geraram essa grande participação do agronegócio brasileiro no comércio internacional são: o desenvolvimento de novas tecnologias junto do empreendedorismo, o clima favorável, a grande extensão de terras agricultáveis e o grande esforço para o aumento da qualidade dos produtos (BRASIL, 2017).

A notável expansão do consumo mundial de grãos, proteínas e biocombustíveis nas últimas décadas reforça o quão imprescindível é melhorar a performance das cadeias agroindustriais. Esse progresso no campo está voltado a melhorar o uso da terra, que pode ser aplicado através do aumento da produtividade, aumento da eficiência nas operações e busca por tecnologias com menor impacto ambiental. Com a carência de recursos fundamentais para esse aumento de produção, torna-se indispensável as melhorias na tecnologia do campo e no desempenho em relação a otimização dos processos agroindustriais (NEVES, 2016).

A evolução de produção agrícola é vista a cada safra, e a tecnologia atual tem papel fundamental para esse aumento via aumento de produtividade. O censo agropecuário do IBGE possui dados que mostram que em 2006, a tecnologia no campo foi responsável por 70% do aumento dessa produção, e esse crescimento fundamentou-se em relação a melhora na produtividade. Para que o agronegócio continue desempenhando seu papel na produção de alimento, fibras e energia, o uso de tecnologias modernas é essencial, visto que essa adoção tem garantido aumento da produtividade e redução de custos de produção. Nesse horizonte deve-se trabalhar com a necessidade de produção integrada e dinâmica, que se respalde em ciência e tecnologia, visando sempre a economia nos processos (LAMAS, 2017).

Um dos processos que possui grande importância no agronegócio e especialmente no plantio direto é a utilização correta do distribuidor e picador de palhas em colheitadeiras. A utilização desse sistema contribui para a distribuição mais uniforme dos resíduos culturais no solo (SIQUEIRA, 2008).

Segundo a Embrapa (2002), uma palhada bem distribuída protege o solo contra a desagregação de partículas e compactação. Além disso, aumenta a capacidade de infiltração da água da chuva, resultando em menos perdas de solo e água pela erosão. Outro papel importante está relacionado à redução das amplitudes hídrica e térmica, a qual favorece a atividade biológica e aumento no teor de matéria orgânica no solo.

Atualmente empresas como New Holland, John Deere, Valtra e Massey Ferguson disponibilizam o sistema de espalhamento de palha miúda como sistemas opcionais na aquisição de colheitadeiras de grande porte. Os modelos oferecidos por tais marcas podem garantir o espalhamento correspondente a largura de corte de até 45 pés (aprox. 14 metros), variando conforme o porte do equipamento. Os modelos oferecidos podem ter sistema de transmissão mecânico por meio de polias e engrenagens ou por motor hidráulico.

A implementação de um sistema de distribuidor de palhiço pode parecer inicialmente desnecessária uma vez que existem outras alternativas disponíveis no Brasil como roçadeiras, grades niveladoras e outros implementos para uniformizar a palhada no solo. No entanto essas operações posteriores à colheita são dispendiosas devido ao custo com combustível, operador, trator e implemento e, além disso ocasionam uma indesejada compactação do solo devido a necessidade de trânsito de máquinas (GERINGHOFF, 2016). Em contrapartida aos benefícios desse sistema de distribuição de palha miúda, está a desvantagem que na região de Guarapuava não há empresas que forneçam tais sistemas para adaptação na forma de kit em colheitadeiras de modelos anteriores. Portanto, apenas os modelos mais novos dispõem da opção de instalação de tal equipamento.

Em meio a essa oportunidade de pesquisa, o presente trabalho tem por objetivo a análise de dados qualitativos e quantitativos de sistemas de distribuição de palhiço já existentes para identificar seu funcionamento correto e dessa forma modelar o sistema por meio do uso de ferramentas de Projeto Assistido por Computador (do inglês - *CAD*) e propor um sistema de distribuição de palhiço para o modelo TC57. Para tal, este trabalho utiliza métodos e técnicas de desenvolvimento de projeto. O presente trabalho fará uso da técnica de Análise de Efeitos e Modos de Falhas para o Projeto (DFMEA – do inglês *Design Failure Mode and Effect Analysis*) sob duas abordagens diferentes. Essas abordagens auxiliaram na delimitação do subsistema mais crítico e posteriormente na documentação do aprendizado para geração de referencial para desenvolvimento futuro.

1.1 JUSTIFICATIVA

A oportunidade do projeto a respeito do distribuidor de palhiço surgiu da demanda de produtores rurais da região de Guarapuava. Esses produtores possuem dificuldades devido a distribuição desuniforme de palhada e palhiço nas culturas praticadas na região, principalmente na cultura da soja, que corresponde a 73.600 hectares plantados para a região em relação a 2018 (IBGE, 2019). O problema enfrentado é relacionado a desatualização de colheitadeiras de pequeno e médio porte (Classes 3, 4 e 5) em relação ao distribuidor do palhiço. Essas colheitadeiras, mesmo tendo largura de corte menores se comparado as classes 6, 7 e 8, também são afetados com a má distribuição de palha miúda, uma vez que não possuem o espalhador de palhiço. A dificuldade desses produtores está relacionada ao fato de as revendedoras e lojas autorizadas da região não possuírem um kit para adaptação para essas colheitadeiras de pequeno e médio porte. Uma dessas colheitadeiras que está defasada quanto a utilização do distribuidor de palhiço é o modelo TC57, que é amplamente utilizada na região.

Essa realidade nas colheitadeiras dificulta o espalhamento dessa palha mais miúda, afetando diretamente a distribuição de nutrientes no solo, uma vez que esses resíduos são constituídos com significativa quantidade de cálcio, potássio, magnésio, nitrogênio e em menor quantidade o fósforo (KUNZ, 2007). De acordo com Foloni (2015), esses componentes ajudam a suprir parcialmente a demanda de nutrientes de culturas subsequentes, como é o caso da dependência do trigo com o nitrogênio da palhada da soja. Um espalhamento homogêneo desses resíduos garante uma economia na utilização de fertilizantes e adubos no plantio de culturas futuras. Geringhoff (2016) compartilha a ideia de que uma cobertura homogênea de palhada e palhiço disponibiliza nutrientes de modo correto para a plantação, o que influencia diretamente na produtividade e na rentabilidade no campo.

Portanto o desenvolvimento de um projeto mecânico adaptativo de um distribuidor de palhiço para uma colheitadeira modelo TC57 é uma proposta interessante, visto a contribuição que uma distribuição uniforme de palhada e palhiço proporciona ao meio ambiente, ao sistema produtivo e conseqüentemente para o aumento de eficiência e qualidade produtiva no agronegócio.

1.2 OBJETIVOS

Este tópico irá apresentar o objetivo geral e expor os objetivos específicos que envolvem o projeto mecânico adaptativo do distribuidor de palhiço.

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo do presente trabalho é projetar um sistema de distribuição de palhiço para colheitadeira TC57, usado na colheita da cultura de soja na região de Guarapuava.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os seguintes objetivos específicos direcionam o presente trabalho a alcançar o objetivo geral:

- Analisar sistemas de distribuição de palhiço;
- Pesquisar o método de desenvolvimento de projeto para engenharia;
- Estudar a DFMEA para sua aplicação em projeto de elementos mecânicos;
- Propor melhorias no projeto mecânico de componentes relevantes para com o funcionamento do sistema distribuidor de palhiço;
- Validar e documentar componentes do projeto mecânico por meio de cálculos e desenhos técnicos;
- Apresentar as melhorias propostas a usuários do agronegócio para obter aprovação das mudanças sugeridas no final deste trabalho;

1.3 ESTRUTURA DO TRABALHO

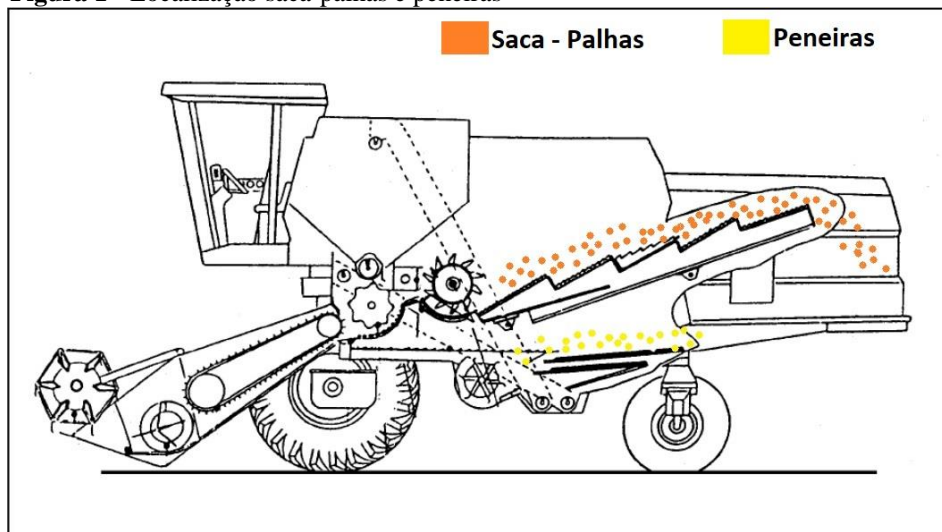
O presente trabalho está organizado em 5 capítulos. No capítulo 1, encontra-se a introdução que aborda brevemente o cenário atual do agronegócio, as principais características do distribuidor de palhiço e os problemas que apresenta para os usuários do agronegócio da região de Guarapuava. Além disso, os objetivos e justificativa do presente trabalho. O capítulo 2 apresenta a revisão bibliográfica necessária para fundamentar o estudo do projeto mecânico adaptativo do distribuidor de palhiço. Nesse tópico ainda será mostrado ensaios in loco e resultados com as melhores práticas de uso e *design*. Nesse capítulo será feito um apanhado geral da técnica *DFMEA* para implementação como meio de direcionamento para o projeto e descrição breve dos principais elementos mecânicos relacionados ao sistema espalhador de palhiço. No capítulo 3 encontra-se o método adotado neste trabalho para desenvolvimento do projeto, contendo as diretrizes que deram andamento ao presente trabalho. Neste capítulo é listado brevemente os passos referentes as fases de projeto informacional, do projeto conceitual que aborda as técnicas de árvore de projeto, árvore de funções e *DFMEA*, e do projeto detalhado. No capítulo 4 é mostrado o desenvolvimento do presente trabalho e os resultados alcançados. Finalmente no capítulo 5 são apresentadas as considerações finais juntamente de recomendações para trabalhos futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Para o seguinte trabalho utilizou-se os termos palha/palhada e palhiço. Conforme Houaiss (2001) o termo palhiço refere-se à palha miúda, quebrada e moída, quando mencionada fará alusão ao material proveniente do sistema de peneiras da colheitadeira. Já o termo palha/palhada refere-se ao conjunto constituído por hastes secas de uma planta, que quando mencionada fará alusão ao material proveniente do sistema de saca-palhas ou rotores axiais. A localização desses dois sistemas pode ser vista na Figura 1.

Figura 1 - Localização saca-palhas e peneiras



Fonte: Adaptado de NEW HOLLAND (2003)

2.2 DISTRIBUIÇÃO DE PALHADA E PALHIÇO

Este tópico abordará um estudo de caso com observação das influências e objetivos da distribuição de palhada e palhiço para o sistema produtivo e os tipos de distribuidores e suas características.

De acordo com Tolotti (2018), a validação de desempenho e eficiência dos distribuidores de palhada e palhiço das colheitadeiras pode ser avaliada a campo ou em laboratório. A Norma ANSI/ASAE S396.2 regulamenta esses ensaios conforme a uniformidade do espalhamento desses resíduos na colheita. A Norma exemplifica que há dois métodos para

esse teste, o primeiro consiste em avaliar a massa dos resíduos por unidade de largura, já o segundo incide em avaliar a porcentagem de cobertura do solo.

Em estudo de distribuição transversal de palha por colheitadeiras durante a colheita de soja na cidade de Cascavel – PR, Kunz et al. (2007) obtiveram-se resultados que corroboram com a relevância do uso de distribuidor de palhicho e com a importância de uma boa distribuição de palhada. O estudo foi realizado comparando nove diferentes colheitadeiras, com configurações, dispositivos e mecanismos de processamento diferentes. Avaliando-se duas dessas colheitadeiras que possuem características funcionais semelhantes, mas com a particularidade principal que uma delas possui sistema de distribuição de palhicho e a outra não, obteve-se resultados de perfis de distribuição para cada uma delas. As características dessas máquinas podem ser vistas na Tabela 1.

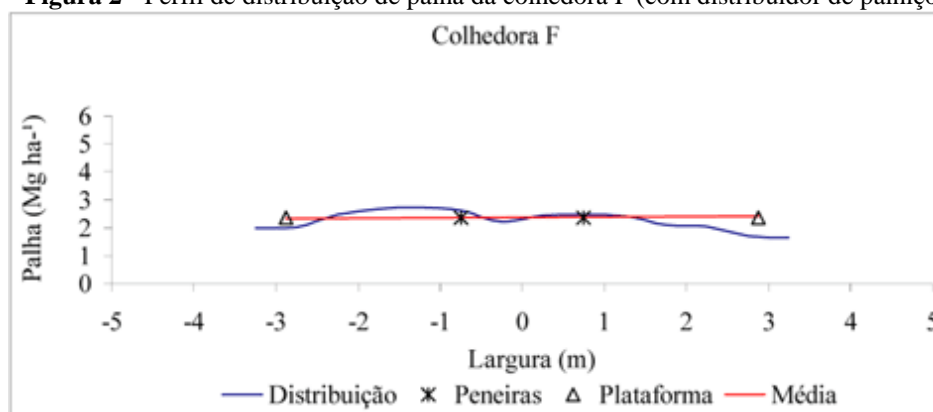
Tabela 1 - Características das colheitadeiras avaliadas

Colheitadeira	Ano de fabricação	Sistema de trilha	Distribuidor de palhicho	Largura da plataforma (m)	Largura das peneiras (m)	Nº de saca-palhas
F	2004	Radial	Sim	5,76	1,5	6
H	2004	Radial	Não	5,76	1,52	6

Fonte: Adaptado de Kunz et al. (2007)

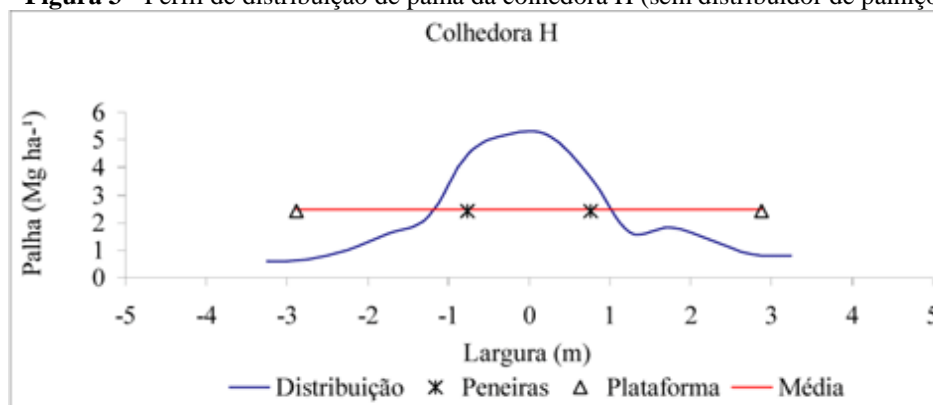
Nesse estudo de caso, como foi mostrado na Tabela 1 a principal diferença entre as colheitadeiras estava na utilização do distribuidor de palhicho. A largura das peneiras possuía uma pequena diferença, mas que não influenciaria significativamente no resultado da distribuição transversal da palhada de soja. Os resultados obtidos *in loco* dos perfis de distribuição dessas duas colheitadeiras podem ser vistos nas Figura 2 e Figura 3.

Figura 2 - Perfil de distribuição de palha da colhedora F (com distribuidor de palhicho)



Fonte: Kunz et al. (2007)

Figura 3 - Perfil de distribuição de palha da colhedora H (sem distribuidor de palhico)



Fonte: Kunz et al. (2007)

Com os resultados obtidos nos ensaios agrícolas, Kunz et al. (2007) concluíram que a colheitadeira F apresentou melhor desempenho em relação as demais. Uma prova disso é o coeficiente de variação (C.V.) na distribuição de palha, sendo o C.V. aceitável de 28% para a colhedora F, e de 72% para a colhedora H que apresentou um desempenho irregular se comparado o parâmetro ideal de C.V. de 20%. Esse coeficiente de variação reduzido representava uma menor diferença entre as quantidades de palha coletadas no centro da linha de deslocamento em relação as extremidades. Eles atribuíram esses resultados ao fato de a colheitadeira F possuir o mecanismo de distribuição de palhico das peneiras. Dessa maneira a colheitadeira F apresentou melhor distribuição em relação a largura de corte, já a colheitadeira H apresentou acúmulo de material no centro da máquina, mais especificamente na faixa que compreende as peneiras.

O manejo dos resíduos culturais tem como o objetivo de melhorar o solo para receber uma cultura subsequente. Caso esses resíduos não estiverem bem fragmentados e distribuídos, cria-se um ambiente propício às plantas daninhas, pois as mesmas ficam protegidas da pulverização de herbicidas diminuindo a eficiência dos residuais. O manejo dessa fitomassa é indispensável para o plantio direto, pois o acúmulo de resíduos em uma região específica ocasiona “embuchamentos” em semeadoras, o que tem se agravado com a utilização de espaçamentos menores entre as plantas. Esses agravantes tornam indispensáveis a adoção de operações e equipamentos que auxiliem na conservação do solo através da distribuição uniforme dos resíduos vegetais (SIQUEIRA, 2008).

A umidade da palhada possui grande influência quanto ao perfil e qualidade da disposição da mesma sobre o solo. Se a palhada estiver úmida, uma quantidade maior dessa palha passará pelo saca-palha e posteriormente o picador da colheitadeira que à fragmentará e

distribuirá. Já quando a cultura estiver mais seca, ou seja, com menor teor de umidade, o cilindro de trilha quebrará essa matéria seca em fragmentos menores, que não permaneceram no saca-palha pois caem para o sistema abaixo de peneiras. Esse material das peneiras (palhiço) será jogado no solo, concentrando-se na parte central em colheitadeiras que não possuem sistema de distribuição de palhiço. Outro fator que influencia na distribuição de palha é a massa do material, pois quando muito leve, o arremesso a distâncias grandes é dificultado. Já com maior teor de umidade e conseqüentemente maior massa, o material é arremessado com maior facilidade para as laterais evitando o acúmulo no centro (KUNZ et al., 2007).

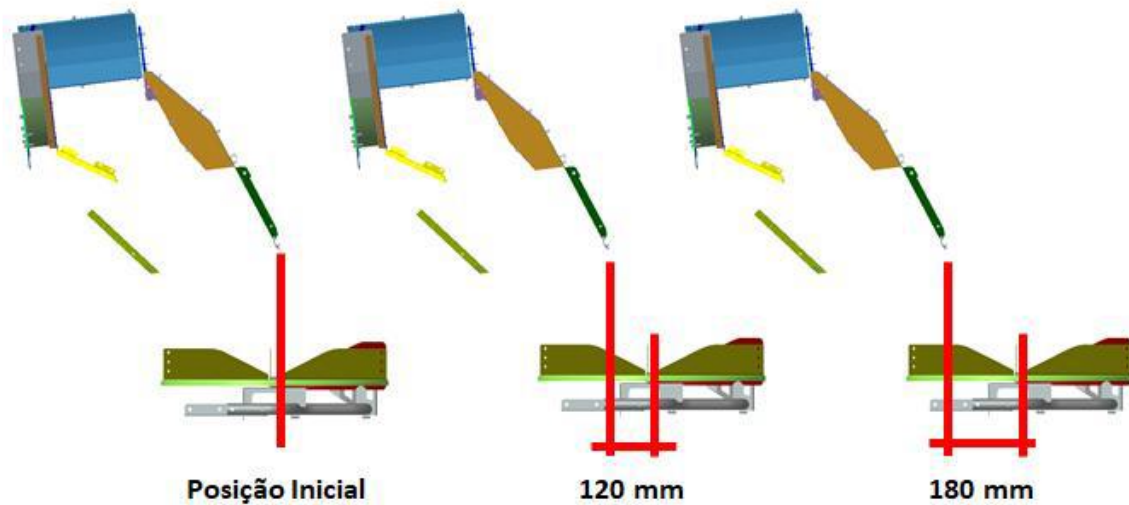
2.2.1 Ensaio operacional de um distribuidor e melhores práticas

Neste capítulo são apresentados resultados de um ensaio de distribuição de palhiço realizado em laboratório. Esse estudo avaliou a eficiência da distribuição de palhiço em relação a parâmetros como posição do distribuidor, quantidade de pás nos rotores, ângulo das pás e diâmetro dos rotores.

2.2.1.1 POSIÇÃO DO DISTRIBUIDOR

O estudo de caso avaliou a posição do espalhador de palhiço em relação a região de entrega desse material. Dessa maneira Tolotti (2018) fixou os demais parâmetros como rotação, vazão de material e variou a posição em 3 configurações distintas como pode ser vista Figura 4.

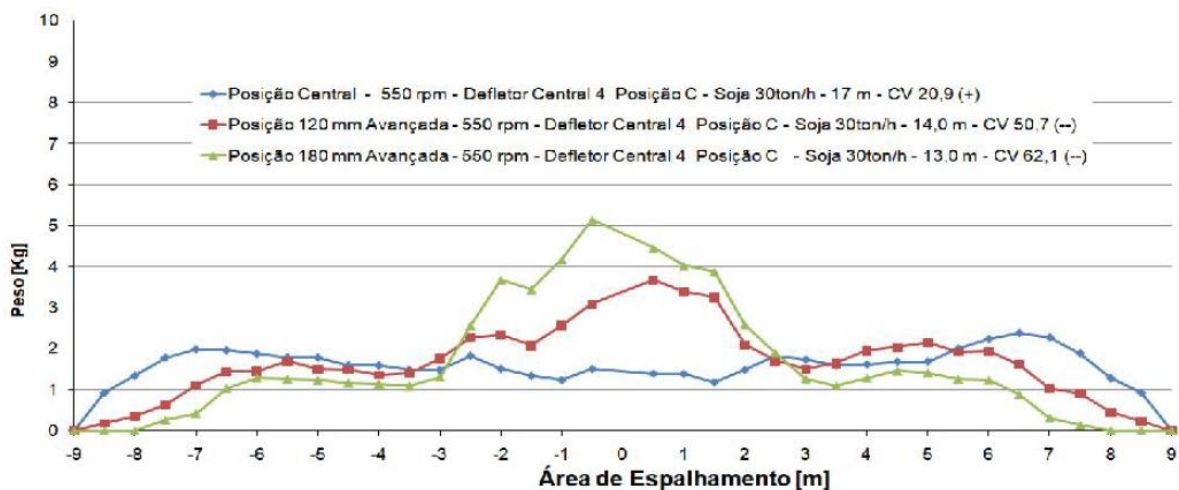
Figura 4 - Posição de entrega de material em relação ao centro dos rotores



Fonte: Tolotti (2018)

O resultado obtido desse experimento mostrou que o espalhador é mais eficiente e possui menor coeficiente de variação quando a entrega de material é alinhada a posição central dos rotores. Esse resultado pode ser visto na Figura 5.

Figura 5 - Perfil de distribuição conforme posição de entrega de material



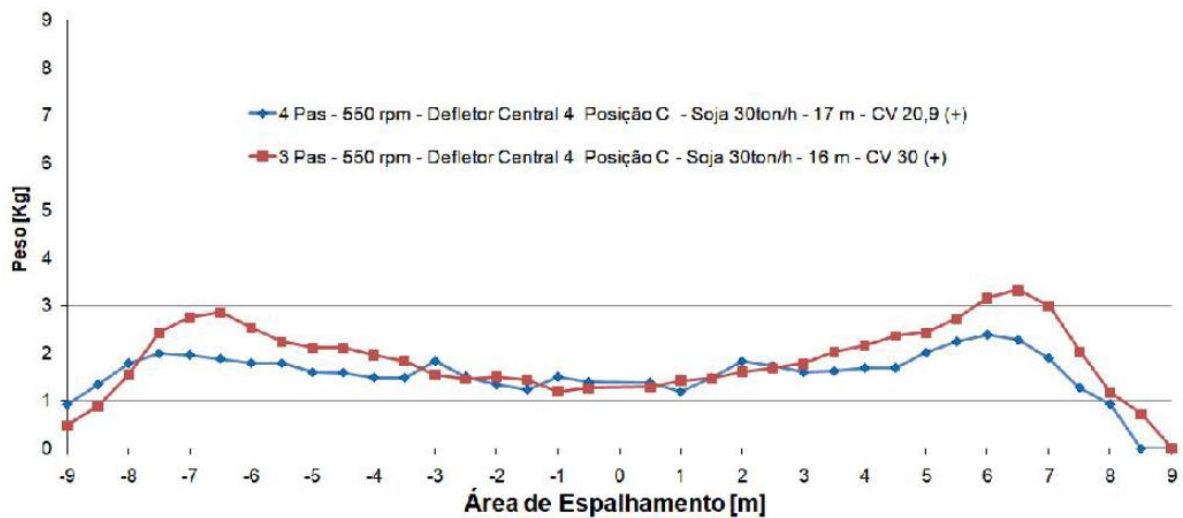
Fonte: Tolotti (2018)

2.2.1.2 QUANTIDADE DE PÁS

Em relação a variável quantidade de pás, Tolotti (2018) avaliou o espalhador de maneira que cada rotor era equipado com 3 pás na primeira avaliação e em seguida com 4 pás em cada rotor. As demais variáveis do processo não foram variadas de modo a ponderar cada

variável isoladamente. O resultado não demonstrou grandes variações em relação ao perfil de espalhamento, no entanto a configuração com 3 pás teve desempenho levemente inferior uma vez que acumulou material nas extremidades. O efeito desse acúmulo pode ser comprovado pelo C.V. de 30 enquanto que com 4 pás implicou em um C.V. de 20,9, como pode ser visto na Figura 6.

Figura 6 - Perfil de distribuição conforme número de pás



Fonte: Tolotti (2018)

2.2.1.3 ÂNGULO DAS PÁS

Tolotti (2018) analisou a influência da angulação das pás em relação ao perfil e distância de espalhamento. O ensaio realizado avaliou o desempenho do espalhador com angulação das pás de 60° (Figura 7), 90° (Figura 8) e 120° (Figura 9). Com essas 3 configurações foram testados com as rotações dos rotores de 550 e 225 r.p.m.

Figura 7 - Configuração das pás em 60°



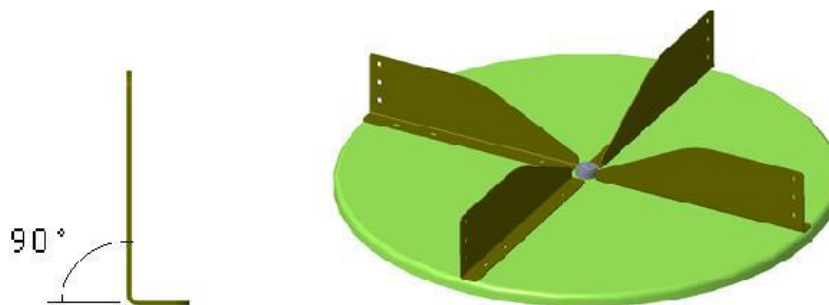
Fonte: Tolotti (2018)

Figura 8 - Configuração das pás em 120°



Fonte: Tolotti (2018)

Figura 9 - Configuração das pás em 90°

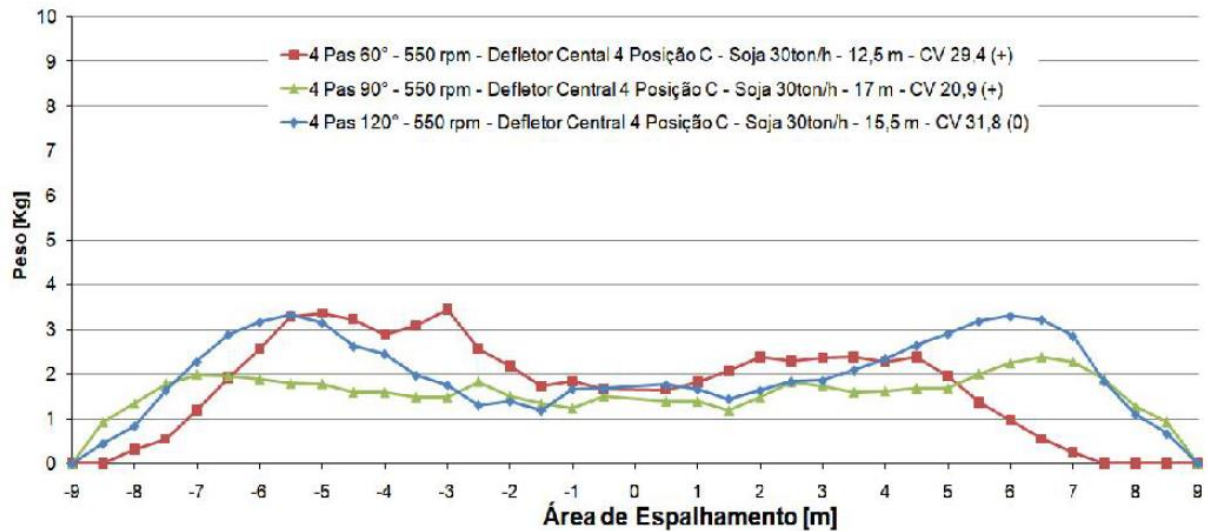


Fonte: Tolotti (2018)

Com o resultado desse ensaio, Tolotti (2018) observou que pás com angulação de 90° possuem melhor desempenho se comparada a configuração de 60° e 120°, uma prova desse resultado é o coeficiente de variação que foi consideravelmente menor para ambas as rotações

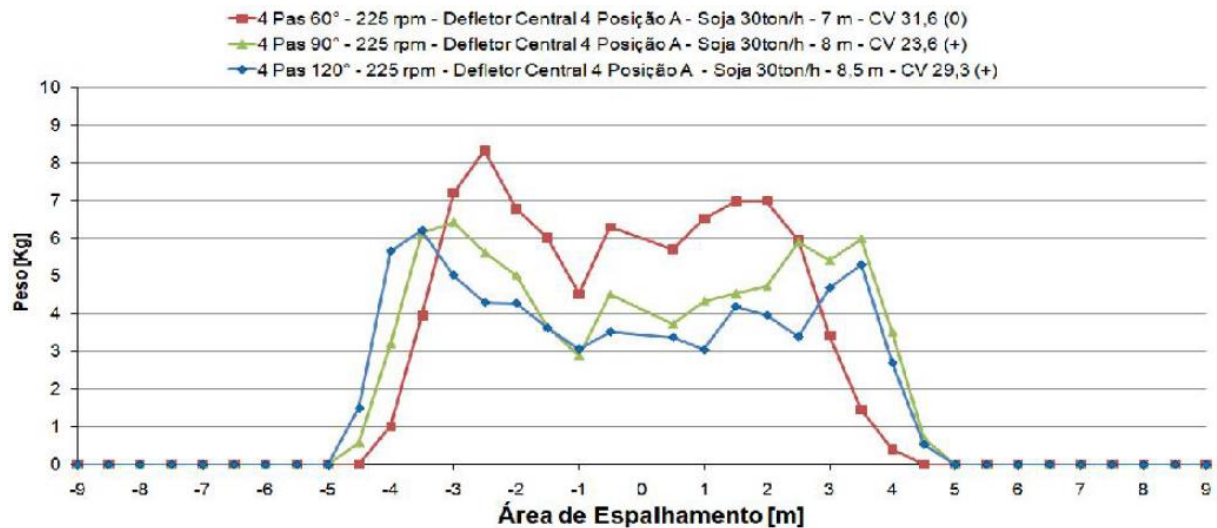
testadas. O autor pôde ainda inferir que a rotação dos rotores tem influência direta sobre a distância de espalhamento. Os perfis de espalhamento para ambos os ensaios podem ser vistos na Figura 10 e Figura 11.

Figura 10 - Perfil de distribuição em relação a angulação a uma rotação de 550 r.p.m



Fonte: Tolotti (2018)

Figura 11 - Perfil de distribuição em relação a angulação a uma rotação de 225 r.p.m

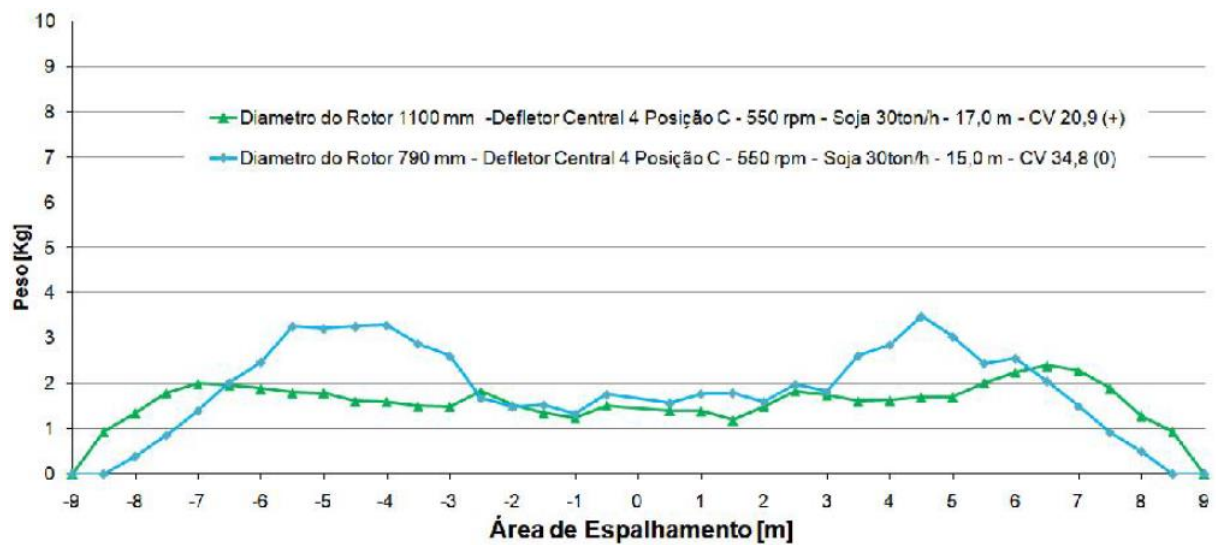


Fonte: Tolotti (2018)

2.2.1.4 DIÂMETRO DOS ROTORES

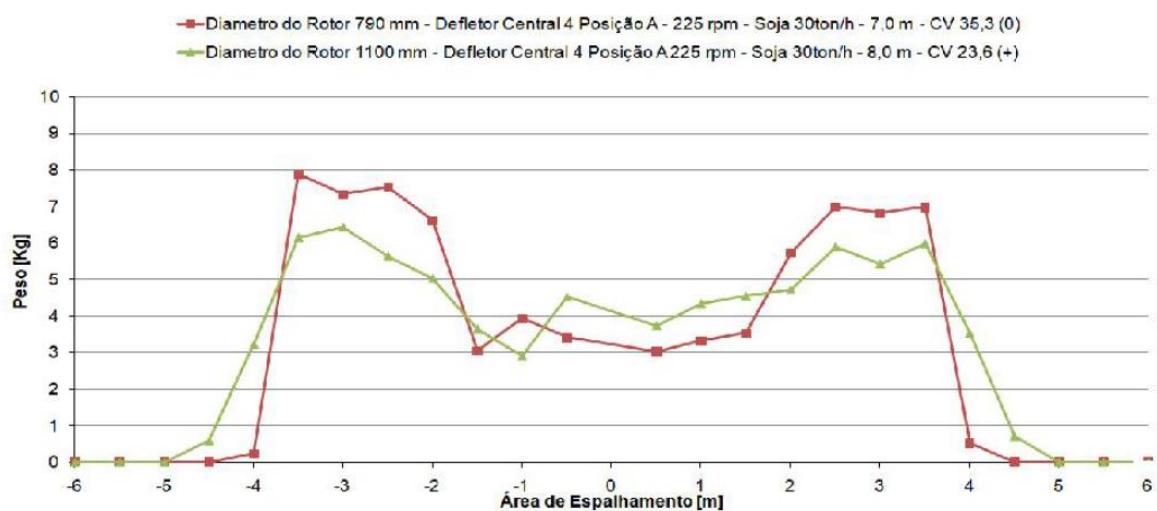
No ensaio de influência do diâmetro dos rotores, Tolotti (2018) configurou o equipamento com rotores cujos diâmetros eram de 790 mm e 1100 mm e testou essas duas configurações na rotação de 225 e 550 r.p.m. O resultado obtido pelo autor mostrou que rotores com o diâmetro maior tiveram melhor desempenho na área de espalhamento. As consequências desses ensaios podem ser vistas na Figura 12 e Figura 13.

Figura 12 - Perfil de distribuição em relação ao diâmetro dos rotores a uma rotação de 550 r.p.m



Fonte: Tolotti (2018)

Figura 13 - Perfil de distribuição em relação ao diâmetro dos rotores a uma rotação de 225 r.p.m



Fonte: Tolotti (2018)

2.2.2 Classificação dos sistemas operacionais de colheita

Neste item serão abordados os diferentes sistemas operacionais de colheita e suas principais características. O sistema estudado neste trabalho trata-se do convencional, o qual receberá maior enfoque no tópico 2.2.2.1, onde serão exemplificados as características e funcionamento dos principais subsistemas.

A principal classificação das colheitadeiras é estabelecida em relação a potência do motor e intuitivamente em comparação à capacidade de processamento de grãos de sistemas similares. Por um grande período a classificação era feita em relação a quantidade de saca-palhas, mas essa categorização perdeu sentido com a entrada no mercado de colheitadeiras com sistema de colheita longitudinal, na qual não se faz uso de saca-palhas. Essa classificação pode ser vista na Tabela 2 (JÚNIOR, 2011).

Tabela 2 - Classificação das Colheitadeiras

Classe	Potência [HP]
3	< 161
4	161 - 200
5	201 - 254
6	255 - 294
7	295 - 350
8	> 350

Fonte: Adaptado de Júnior (2011)

Os três sistemas operacionais de colheita de grãos mais comuns no mercado atual são: o sistema Convencional, o sistema Axial Longitudinal e o sistema Híbrido. O sistema convencional é o mais comum e mais utilizado de todos, no entanto os sistemas de colheita axiais vêm ganhando espaço no mercado (JÚNIOR, 2011).

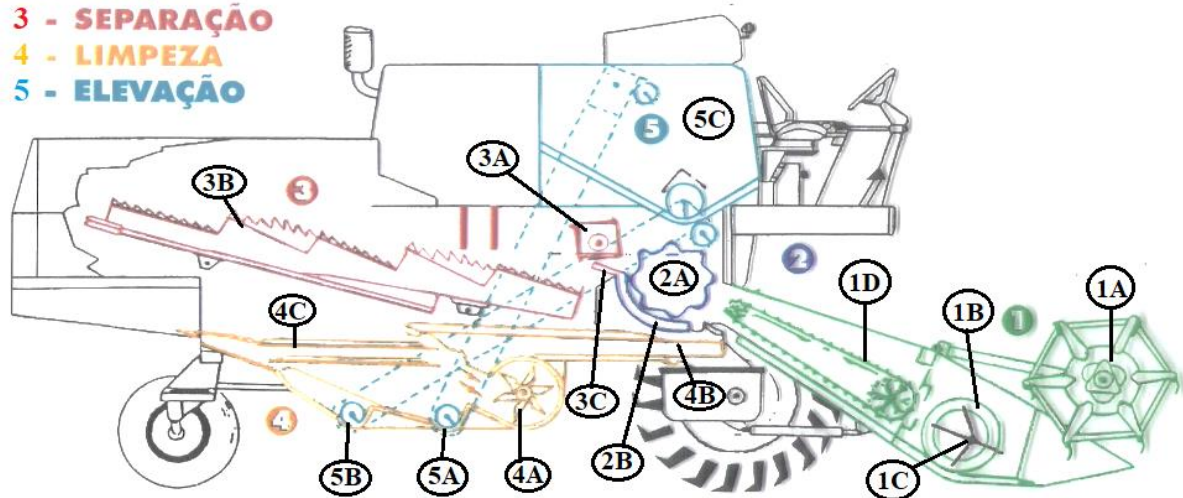
Uma vez que o presente trabalho está mais relacionado com o sistema convencional, será explicado brevemente os sistemas mais importantes e seu funcionamento no próximo tópico.

2.2.2.1 Sistema Convencional

A colheitadeira convencional é constituída dos seguintes principais sistemas: corte e alimentação, trilha, separação, limpeza e elevação. A compreensão desses sistemas é facilitada através da Figura 14.

Figura 14 - Processos do sistema convencional de colheita

- 1 - CORTE e ALIMENTAÇÃO
- 2 - TRILHA
- 3 - SEPARAÇÃO
- 4 - LIMPEZA
- 5 - ELEVÇÃO



Fonte: Adaptado de (JÚNIOR, 2011)

O sistema de corte possui uma caixa de navalhas com barra de corte responsável pelo cisalhamento das hastes das plantas na parte frontal da plataforma. Na parte superior da plataforma o molinete (1A) tem a função de tombar as plantas cortadas sobre a plataforma, de onde serão recolhidas para a parte central da plataforma por meio de um cilindro com lâminas helicoidais (caracol -1B). Na região central essas plantas serão destinadas a esteira alimentadora por meio de dedos retráteis (1C) dispostos na região central do caracol. A esteira alimentadora (1D) possui correntes paralelas que são unidas por travessas que transportam esse material até o sistema de trilha. A região onde fica concentrada a esteira alimentadora é comumente conhecida por “garganta” (MESQUITA, 1999).

O sistema de trilha possui como componentes principais o cilindro de trilha (2A) e o côncavo (2B). O cilindro de trilha possui barras estriadas, que em contato com as plantas tem a função de aplicar ações mecânicas de impacto, compressão e atrito por esfregamento entre o cilindro e o côncavo, ocasionando a trilha. O côncavo é análogo a uma grelha que envolve uma parte do cilindro com a função de filtrar as sementes, vagens e fragmentos. A fitomassa

constituída de hastes e materiais maiores que não é filtrada é destinada ao sistema de separação (MESQUITA, 1999).

O sistema de separação inicia-se na extensão regulável do côncavo (3C). Essa extensão tem a função de suspender o fluxo de palha e grãos, aproveitando o cilindro batedor (3A) para destinar a palha para o início do saca-palhas (3B), de modo a aproveitar toda área de separação. Essa extensão garante que apenas os grãos soltos e palhiço caiam no bandejão (4B). O cilindro batedor tem a função de reduzir a velocidade da palha proveniente do cilindro de trilha e direcioná-la para a região frontal do saca-palhas. Muitas vezes o cilindro batedor faz uma pós-trilha, uma vez que algumas vagens não são trilhadas quando estão entre a palhada. Com essa palhada encaminhada para o saca-palhas, nessa região será recuperado os grãos entre a palhada eliminada a palha graúda por meio do picador de palhas (MESQUITA, 1999).

Os sistemas descritos acima podem ser melhor compreendidos na Figura 15 abaixo.

Figura 15 - Sistemas de alimentação, trilha e separação



Fonte: Adaptado de (CONTE, 2015)

Os grãos e palha miúda recuperados do sistema de separação são destinados ao sistema de limpeza. O sistema de limpeza pode ser dividido em quatro subsistemas mais importantes, entre eles: o bandejão (4B), ventilador (4A), peneira superior e a peneira inferior (4C). O bandejão está situado abaixo do côncavo e é semelhante a uma superfície em formas de cristas alternadas. O bandejão possui movimento alternado de “vai e vem” proporcionando o acúmulo de grãos no vale e o palhiço acumulado nas partes de cima. Na área final do bandejão um pente de arame auxilia na separação dos grãos do palhiço, essa separação é facilitada com a corrente de ar do ventilador. O material oriundo do bandejão e do saca-palhas se concentra na peneira

superior, onde será filtrado os grãos e vagens que ainda possuem grãos que cairão na peneira inferior. Os grãos passarão a peneira inferior e serão destinados ao sistema de elevação. As vagens que ainda possuem grãos passarão por cima da peneira inferior e serão destinados ao sistema de elevação da retilha através da rosca sem fim da retilha (5B), onde serão trilhados novamente. Os grãos serão destinados a uma outra rosca sem fim (5A) e em seguida para o elevador de grãos que destinará ao sistema de armazenagem (5C). O sistema de armazenagem é composto de um graneleiro que armazenará temporariamente os grãos, e o tubo de descarga que possui uma rosca helicoidal para o descarregamento (MESQUITA, 1999).

O sistema que faz o manejo da palhada e palhiço será visto e compreendido nos tópicos adiante no decorrer do trabalho.

2.2.3 Tipos de distribuidores

Uma pequena porcentagem de colheitadeiras está equipada com um bom sistema de distribuição de palha e palhiço. Produtores que fazem uso da técnica de plantio direto e empregam operações de colheita deveriam fazer uso de equipamentos que garantissem esse espalhamento (SMITH, 1986).

De acordo com ALBERTA (1999) existem duas maneiras de distribuir a palhada e palhiço. O primeiro usa picador de palha e/ou espalhador de palha provenientes do saca-palha, e um distribuidor de palhiço proveniente das peneiras, sendo cada sistema separado (Figura 16). O outro tipo mistura o palhiço das peneiras com a palhada do saca-palha, o que também garante um bom espalhamento (Figura 17).

Figura 16 - Distribuidor de palha e palhiço separados



Fonte: (DEERE & COMPANY, 2011)

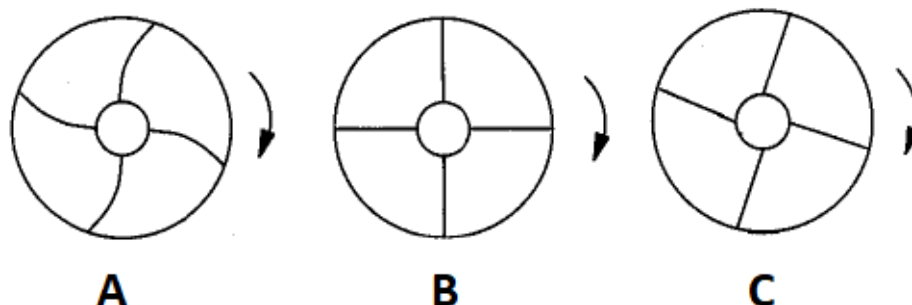
Figura 17 - Distribuidor de palha e palhicho juntos



Fonte: (DEERE & COMPANY, 2011)

De acordo com a Sociedade Americana de Engenheiros Agrícolas e Biológicos ASABE (2006) (do inglês - *American Society of Agricultural and Biological Engineers*), os sistemas de distribuição de resíduos podem conter rotor único ou duplo. Os rotores duplos operam com a característica de seus lados adjacentes possuírem rotações contrárias, e muitas vezes necessitam de um sistema em “V” para controle igual de fluxo em cada rotor. Os rotores podem ser classificados conforme as configurações das pás dispostas radialmente (Figura 18). As pás podem ser retas ou curvas (tipo A), as retas (tipo B e C) podem ser avaliadas em relação a angulação das pás. O tipo C, com pás inclinadas para frente pode ser empregado para aumentar as distâncias de lançamento. Em quanto que pás com inclinação para trás podem ser utilizadas para resíduos mais pegajosos.

Figura 18 - Configuração das pás (Vista superior)



Fonte: Adaptado de ASABE (2006 p.278)

No mercado atual há dois tipos de sistemas que transmitem potência para o eixo e conseqüentemente para os rotores de distribuição. O primeiro acionamento é por meio de um

sistema hidráulico, no qual cada rotor é acionado por um motor hidráulico (Figura 19). O segundo tipo de acionamento é por meio mecânico que envolve um sistema de acoplamento entre polia, eixos e engrenagens (Figura 20).

Figura 19 - Acionamento hidráulico



Fonte: (CRARY, 2009)

Figura 20 - Acionamento mecânico



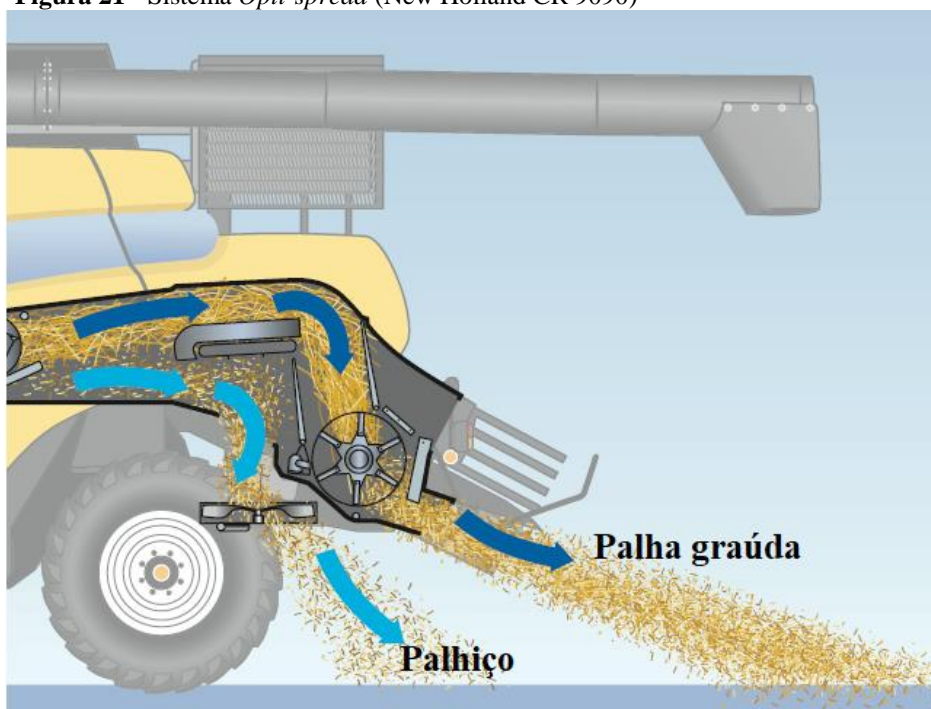
Fonte: HEULING MASCHINENBAU (2018)

2.3 SISTEMAS DISPONÍVEIS ATUALMENTE

Por meio de uma pesquisa voltada às maiores fabricantes de colheitadeiras de grãos e revendedoras locais de colheitadeiras de grãos buscou-se avaliar os sistemas disponíveis no mercado atualmente. A maioria das colheitadeiras dispõem apenas de sistemas de picador de palha e espalhamento de palha. Boa parte das máquinas avaliadas não possuíam sistemas de distribuidor de palhicho já instaladas, mas em algumas o espalhador de palhicho poderia ser instalado como um kit opcional.

Nos modelos CR8070, CR8080, CR9070, CR9090 fabricada pela CNH Industrial, o sistema de corte e distribuição de palhada e palhicho é um item opcional na compra. Esse sistema da New Holland CR9090 recebe o nome de “*Opti Spread*”, e possui dois rotores que distribuem a palhada regularmente em relação a sua barra de corte, que corresponde a 10,67 metros para o modelo CR9090. Esse sistema ainda permite através de ajustes, concentrar a distribuição da palhada em uma região para facilitar atividades posteriores de enfardamento dessa palha. A possibilidade de operação é permitida devido ao impulsor de palhicho de duplo rotor que pode direcionar a palha na largura das peneiras ou espalhar essa palha miúda para as laterais. O modelo citado pode ser visto na Figura 21 (NEW HOLLAND, 2012).

Figura 21 - Sistema *Opti-spread* (New Holland CR 9090)



Fonte: Adaptado de (NEW HOLLAND, 2012).

Os modelos S430 e S440 da John Deere possuem um sistema de gerenciamento de resíduos. Esse sistema auxilia no controle desejado do tamanho dos resíduos assim como na distribuição homogênea dos mesmos, garantindo a melhor qualidade da operação futura de plantio direto. O modelo S430 distribui em relação a sua largura de corte que varia de 16 a 22 pés, já o modelo S440 atende para uma largura de corte de 22 a 25 pés (correspondente a aproximadamente 6,70 a 7,62 m) (JOHN DEERE, 2017a).

Os modelos maiores da série S650, S660, S670, S680 e S690 possuem sistema de picador de palhas para controle do tamanho de material. Esses modelos ainda dispõem de um sistema de difusor *Powercast* que distribui a palhada a uma distância próxima de 35 pés (10,7 m) e espalhador de palha de disco duplo que distribui o material do separador e do sistema de limpeza. Esse tipo de sistema se faz necessário uma vez que a largura de corte pode chegar até a 45 pés em modelos como o S680 e S690. A distribuição de resíduos da série S600 pode ser vista na Figura 22 (JOHN DEERE, 2017b).

Figura 22 - Distribuição de Resíduos (John Deere Série S600)



Fonte: (JOHN DEERE, 2017b)

Os modelos BC6800, BC7800 e BC8800 das colheitadeiras axiais da marca Valtra possuem sistemas de distribuição de resíduos. Para tais modelos é possível instalar os sistemas opcionais de picador de duas velocidades na saída do rotor e espalhador de palhicho na saída das peneiras (VALTRA, 2018).

Os modelos MF4690, MF5690 e MF6690 possuem picador e espalhador de palhas como equipamentos opcionais de instalação. O picador possui facas rotativas e contra-facas fixas e sistema de transmissão por correia, enquanto que o espalhador é de pás de borracha com

um sistema de transmissão por correia. Já o modelo MF9695 possui picador de duas velocidades na saída do rotor e espalhador de palhico na saída das peneiras (MASSEY FERGUSON, 2018).

2.4 ELEMENTOS MECÂNICOS DE UM DISTRIBUIDOR DE PALHIÇO

Os elementos mecânicos do distribuidor de palhico pertinentes a serem abordados no seguinte tópico estão diretamente associados ao tipo de acionamento do mesmo. No tópico 2.2.3 foram exemplificados dois tipos de acionamento, o mecânico e o hidráulico. Uma vez que o presente trabalho está focado no tipo mecânico, no seguinte tópico serão exemplificados os elementos mecânicos usados nesse tipo de acionamento.

2.4.1 Eixo

Eixo é um elemento mecânico rotativo, comumente possui seção transversal circular, muito utilizado com a finalidade de transmissão de potência. Ele fornece um eixo de rotação ou oscilação para outros elementos como engrenagens, polias, volantes, manivelas, rodas dentadas entre outros. Boa parte das utilizações de eixos ocorre com o propósito de transmissão de torque de uma engrenagem de entrada ou polia através do eixo, para uma engrenagem ou polia de saída. Por esse motivo um eixo deve ser dimensionado no projeto para resistir a tensão e deflexão torcional (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

Predominantemente os eixos de transmissão de potência são constituídos por eixos cilíndricos, podendo ser sólidos ou vazados. Em certas aplicações pode-se encontrar eixos quadrados, retangulares, hexagonais ou com outro perfil de seção transversal. Normalmente os eixos são suportados por mancais fixos em uma estrutura ou carcaça de máquina. Em certos casos os eixos são fixos, e outros elementos com mancais tipo, engrenagens, polias ou rodas são montados sobre ele. Eixos engastados, rígidos e curtos usualmente são chamadas de manga de eixo (COLLINS, 2006).

A grande maioria dos eixos é fabricado com aços de baixo ou médio carbono com obtenção por laminação a frio ou a quente. Quando uma alta resistência do eixo é necessária busca-se a utilização de aços-liga. Quanto aos tipos de carga que os eixos estão sujeitos, os principais são: torção ocasionado pelo torque transmitido ao eixo e flexão referente as cargas transversais em engrenagens, polias e catracas (NORTON, 2013).

2.4.2 Mancal

Os mancais são elementos de máquinas que proporcionam movimento com orientação entre um componente e outro, ao mesmo tempo que transmitem forças entre os componentes sem possibilitar movimentação em relação a direção de aplicação das cargas. A classificação dos mancais pode ser de dois tipos: mancais de deslizamento e de rolamentos. Os mancais de deslizamento são definidos pelo seu aspecto de possuir uma superfície móvel que desliza sobre outra superfície. Já os mancais de rolamentos são definidos pela mediação de elementos tipo esferas ou rolos entre as superfícies moveis (COLLINS, 2006).

Os mancais rolantes podem ser divididos em mancais de esfera e rolos. Os mancais de esfera são recomendados para aplicações em pequenas e altas velocidades, normalmente para cargas mais leves e tamanhos menores. Já os mancais de rolos são recomendados para sistemas grandes com cargas elevadas, onde podem suportar cargas estáticas e dinâmicas normalmente maiores se comparado aos de esferas (NORTON, 2013).

2.4.3 Polia e Correia

As polias e as correias são amplamente utilizadas para transmissão de potência entre eixos que estão relativamente afastados um do outro. Esse arranjo permite otimizar o espaço e facilita o posicionamento dos outros componentes do mecanismo. A utilização de correias é bastante utilizada pois geram pouco ruído, no entanto possuem o inconveniente do escorregamento da transmissão o que torna-as pouco precisas. As correias em V operam bem em distância curta entre eixos, e essas correias são movidas por polias entalhadas, as quais são fabricadas de ferro fundido, aço prensado ou metal fundido moldado (JUVINALL; MARSHEK, 2008).

2.4.4 Engrenagem

As engrenagens possuem uma grande variedade para escolha e são amplamente utilizadas para transmitir torque e velocidade angular. As normas de projeto, fabricação e montagem de engrenagens são padronizadas pela Associação dos Fabricantes de Engrenagem dos Estados Unidos (AGMA - do inglês *American Gear Manufacturers Association*) (NORTON, 2013).

A escolha de uma engrenagem ou sistema de engrenagem depende de alguns fatores, entre eles: o arranjo geométrico, a relação de redução, a potência necessária, a velocidade, a eficiência, os ruídos e custos. Quanto a aplicação pode ser utilizada em situações na qual os eixos estão paralelos, concorrentes (quando se interceptam) ou em casos onde são reversos (não são paralelos e nem se interceptam). A classificação das engrenagens pode ser dividida da seguinte forma: engrenagens cônicas, helicoidais, hiplóides, cremalheira, retas e parafuso de rosca sem fim (COLLINS, 2006).

Engrenagens cônicas possuem dentes formados em superfícies cônicas e são utilizados, principalmente, para transmitir movimento entre eixos concorrentes. O ângulo entre o eixo de duas engrenagens cônicas normalmente é de 90° , mas podem possuir diferentes ângulos. As engrenagens cônicas podem ser retas ou em espirais, as espirais operam com menos ruído e mais suavemente, além de possuírem um diâmetro menor em relação a mesma quantidade de carga (NORTON, 2013).

2.4.5 Chavetas, Estrias e Pinos

Para que a transmissão de potência e movimento seja possível de um eixo rotativo para polias, engrenagens e outros elementos mecânicos a conexão e travamento desses componentes faz-se necessária. Esse acoplamento entre esses elementos é feito por meio de chavetas, estrias e ajustes cônicos. Em aplicações que não necessitam de grandes cargas, parafusos e pinos são utilizados. Mas esses parafusos podem ser utilizados junto das chavetas para fazer o travamento das mesmas em relação ao rasgo no eixo. Em muitos casos as chavetas são projetadas para falhar por cisalhamento por ruptura dúctil, evitando danos a elementos primordiais como eixo, polias e outros componentes. A Sociedade Norte-americana de Engenheiros Mecânicos (do inglês *American Society of Mechanical Engineers - ASME*) e o Instituto Nacional Americano de Padrões (do inglês *American National Standards Institute- ANSI*) através das Normas ASME/ANSI B17.1-1967 e B17.2-1967 regulamentam as dimensões e características que chavetas podem adotar em projetos (COLLINS, 2006).

Para configurações de sistemas que necessitem de um torque muito elevado utiliza-se estrias ao invés de chavetas. As estrias são constituídas pelo contorno da parte externa do eixo e pelo contorno da parte interna do cubo com formas parecidas com dentes. A Norma SAE (*Society of Automotive Engineers – EUA*) e a ANSI regulamentam e padronizam o projeto e manufatura de estrias (NORTON, 2013).

Chavetas e pinos são dispositivos mecânicos utilizados para fixação de elementos rotativos como engrenagens, polias e rodas. As chavetas permitem a transmissão de torque do eixo ao elemento suportado. Os pinos realizam o posicionamento axial e auxiliam na transmissão de torque e forças axiais. Os pinos são muito úteis em situações que o carregamento principal se dá por cisalhamento e quando torção e empuxo estiverem presentes (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

2.5 MÉTODOS DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO

Neste capítulo será mostrado procedimentos e métodos úteis ao desenvolvimento do projeto, juntamente de ferramentas e técnicas para abordagem e validação do projeto.

2.5.1 Processo de desenvolvimento de produto

O Processo de Desenvolvimento de Produto (PDP) aplicado em países em desenvolvimento como é o caso do Brasil, muitas vezes se concentra em adaptações e melhorias de produtos já existentes no mercado. Dessa maneira as atividades desenvolvidas são direcionadas a adequação do produto ou projeto para a realidade do mercado local. Logo o processo de desenvolvimento de produto se baseia na aplicação de diversas atividades com o objetivo de resultar nas especificações de projeto de um produto e muitas vezes no seu processo de produção. Todas essas atividades visam suprir as necessidades do mercado em meio as possibilidades e restrições tecnológicas. O desenvolvimento de produto também engloba acompanhar o produto após o lançamento para que se possa avaliar eventuais mudanças necessárias. Deve se planejar a descontinuidade desse produto e anexar nesse processo de desenvolvimento as lições apreendidas durante o ciclo de vida do produto (ROZENFELD et al., 2006).

Para Pahl e Beitz (2005) a organização dos problemas e das tarefas simplifica o discernimento da capacidade de implementação de soluções consolidadas resultantes de desenvolvimentos anteriores e a utilização de catálogo de soluções.

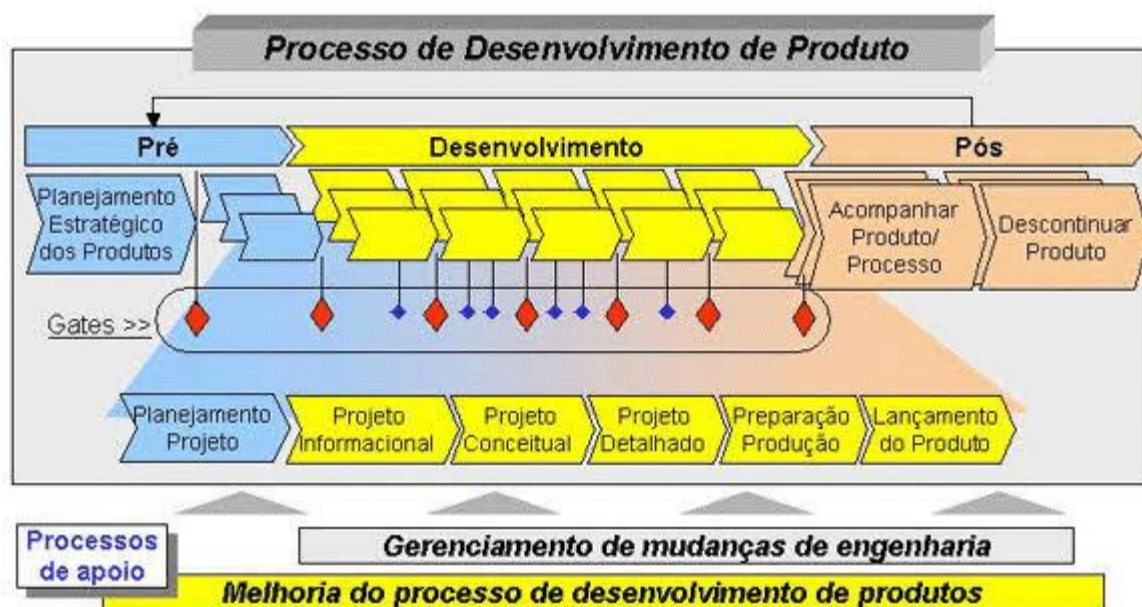
De acordo com Pahl e Beitz (2005), a implantação de uma metodologia de projeto deve:

- Proporcionar condutas orientadas por problemas;

- Estimular invenções e aplicação do conhecimento para encontrar a melhor solução;
- Não gerar soluções por acaso;
- Permitir um compartilhamento de soluções semelhantes;
- Ser compatível para ser usada no computador;
- Proporcionar um planejamento e controle do projeto junto de uma equipe

De acordo com Rozenfeld et al. (2006), o Processo de Desenvolvimento de Produto deve seguir algumas etapas para se ter êxito na conclusão do mesmo. Essas etapas podem ser vistas na Figura 23.

Figura 23 - Processo de Desenvolvimento de Produto



Fonte: (ROZENFELD et al., 2006)

Visto que o presente trabalho está voltado ao desenvolvimento do projeto por meio da implementação de métodos de direcionamento, serão abordadas as fases pertinentes ao processo de desenvolvimento do projeto. Uma vez que o presente trabalho não está focado no planejamento estratégico da empresa em relação aos produtos e nem a produção e lançamento do mesmo, a descrição dessas fases não será realizada. Portanto segue a caracterização das fases de projeto informacional, conceitual e detalhado nos tópicos abaixo.

2.5.2 Projeto informacional

De acordo com Rozenfeld et al. (2006), na fase do projeto informacional a equipe envolvida com o projeto deve estudar o problema associado ao escopo do produto. Devem ser coletadas e analisadas as mais diversas informações que ajudem a equipe a compreender de forma mais completa o projeto e o problema associado. Em um momento inicial a equipe deve se familiarizar com o problema que vai ser solucionado, pois um problema bem definido é um problema mais facilmente resolvido. Desta maneira deve-se buscar uma grande bagagem de informações sobre o problema, pois o entendimento do problema é de grande valia para se delinear o escopo dos esforços a serem investidos no projeto. Essas informações para o aprendizado da equipe podem ser buscadas em dicionários técnicos, enciclopédias, manuais, livros-texto, livros técnicos, anais de congresso e eventos, revistas científicas, relatórios científicos, relatórios técnicos, normas técnicas e catálogos de empresas.

2.5.3 Projeto conceitual

Na fase de projeto conceitual coloca-se em prática todo aprendizado adquirido na fase de projeto informacional. Na fase de projeto informacional as características e informações técnicas ainda são limitadas e abstratas. Para explicar o projeto de um modo mais técnico é imprescindível que se faça o uso de técnicas e procedimentos sistemáticos. A implementação dessas ferramentas deve ser compatível com a limitação de informações do projeto informacional. Essas técnicas irão facilitar na tomada de decisão quanto a concepção do projeto (ROZENFELD et al., 2006).

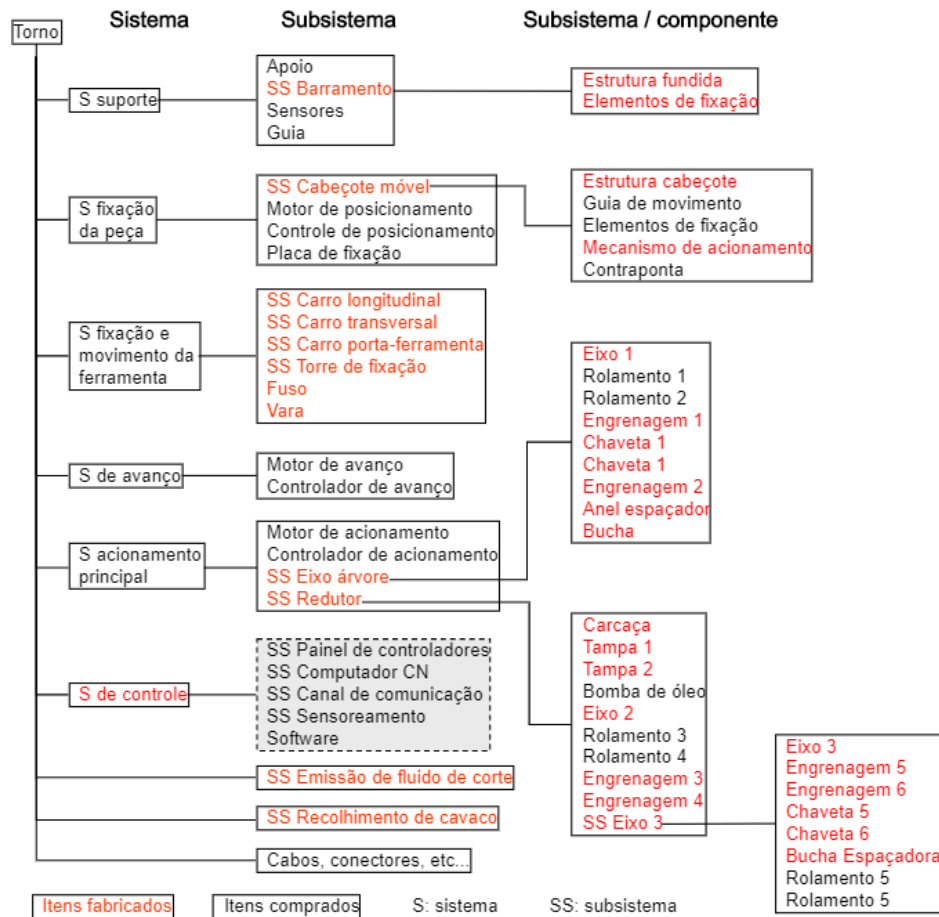
2.5.3.1 ÁRVORE DE PROJETO

Para entendimento do projeto faz-se uso de um fluxo de cima para baixo, de maneira a definir o sistema principal e os desdobramentos de seus subsistemas e componentes. Essa tarefa auxilia na compreensão das interfaces entre esses subsistemas e componentes, além de delimita-los hierarquicamente (ROZENFELD et al., 2006).

Para Pahl e Beitz (2005), a árvore de projeto ou estrutura de produto reflete uma listagem de componentes a serem elaborados no projeto. Essa estruturação dos componentes e subsistemas é basicamente uma árvore genealógica que os distribui de forma hierárquica. Essa

separação pode ser feita de acordo com o critério de produção, de montagem ou de subdivisão das funções. Um exemplo de árvore de projeto pode ser visto na Figura 24.

Figura 24 - Exemplo de árvore de projeto



Fonte: (ROZENFELD et al., 2006)

2.5.3.2 ÁRVORE DE FUNÇÕES

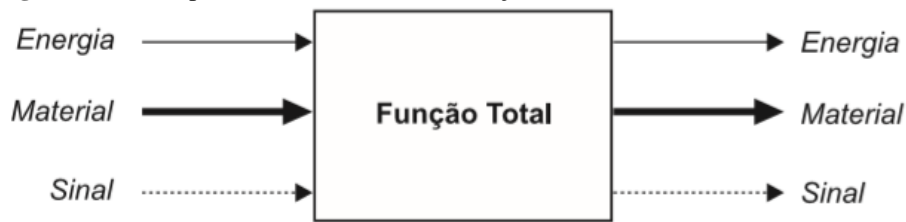
Segundo Rozenfeld et al. (2006), o primeiro passo para o delineamento das funções identificadas é descrever a função global, ou total, do produto. Independentemente do produto a ser desenvolvido, todos possuem uma função que é a mais importante, ou seja, é a função marcante que se espera daquele equipamento. Para a identificação da função global é feita uma descrição relacionando o sistema técnico com a física do problema relacionando os princípios de energia, materiais e sinais.

Os requisitos de um equipamento podem ser representados em relação a entrada e saída de um sistema. Dessa maneira a restrição da função global desse sistema poderá ser obtida

utilizando um diagrama de bloco, de forma a relacionar as variáveis de entrada e saída com referência a conversão de energia, material e/ou sinal (PAHL; BEITZ, 2005).

Inicialmente a função total é exibida graficamente por meio de uma transformação dentro de uma “caixa preta” com entrada e saída definidas que simbolizam os estados iniciais e finais. Um exemplo dessa transformação pode ser vista na Figura 25.

Figura 25 - Exemplo de desdobramento da função total



Fonte: (ROZENFELD et al., 2006)

Conforme Pahl e Beitz (2005), dependendo das características do equipamento faz-se necessário o desdobramento da função global, ou total, em subfunções com menor complexidade. A estratificação dessa função global em outras funções resulta em uma árvore de funções.

Para Rozenfeld et al. (2006), uma vez que a função global está definida busca-se a elaboração da árvore de funções, que é comumente atingida pela separação da função global em funções de menor complexidade. A estrutura de funções ou árvore de funções é dividida até que se alcance uma estrutura com funções no nível de complexidade almejada.

Utilizando essa abordagem será feita uma decomposição hierárquica da função total em subfunções, que quando executadas em conjunto realizarão a função total. Para a caracterização da árvore de funções é buscado que cada subfunção seja realizada por um diferente subsistema ou componente. Esse arranjo das funções pode ser organizado de maneira simples e rápida, mas não fornecerá as interações entre as funções (PAHL; BEITZ, 2005).

2.5.3.3 ANÁLISE DOS EFEITOS E MODOS DE FALHA PARA O PROJETOS

Para Pahl e Beitz (2005), a garantia e qualidade de um projeto deve ser auxiliada por um procedimento metódico. Dessa maneira, soluções simples ajudam na prevenção com a segurança de efeitos e comportamentos irregulares de funcionamento, minimizando os perigos potenciais. No processo de desenvolvimento de projeto são empregadas etapas de trabalho

criativas e corretivas, métodos de avaliação, testes e cálculo para identificar e extinguir os pontos fracos. Mesmo assim as falhas podem não ser detectadas, logo faz-se a necessidade de empregar um método analítico para determinação sistemática de potenciais falhas e avaliação dos potenciais efeitos. Um dos métodos que possui o objetivo de eliminar ou minimizar os riscos é a Análise dos Efeitos e Modos de Falha para o Projeto (DFMEA).

Para exemplificação da DFMEA e melhor compreensão de como essa análise deve ser empregada reservou-se o tópico 2.6 para elucidar a técnica.

2.5.4 Projeto detalhado

Na fase de projeto detalhado é dado prosseguimento a fase de projeto conceitual, buscando finalizar as especificações do projeto. Nessa etapa deve-se atualizar e realimentar a árvore de projeto criada na etapa conceitual. Nessa parte do desenvolvimento do projeto já se deve ter um esboço preliminar do produto. Para facilitar esse processo faz-se uso de sistemas CAD e os croquis são concebidos mentalmente. Atualmente, dificilmente faz-se croquis manuais uma vez que sistemas CAD estão amplamente difundidos e envolvem todas as fases do produto (ROZENFELD et al., 2006).

Para Pahl e Beitz (2005), a validação de um projeto detalhado pode ser concretizada por diversos meios. Podem ser realizados cálculos analíticos e/ou simulação do produto, ou ainda a criação de um protótipo para teste ou animação em *software* CAD. Para documentação e registro do projeto podem ser apresentadas desenhos técnicos e folhas de cálculo.

2.6 ANÁLISE DE EFEITOS E MODOS DE FALHAS (FMEA)

O tópico Análise de Efeitos e Modos de Falhas (FMEA) irá abordar a definição e classificação da técnica FMEA. Além disso, exemplificará o que é um FMEA de projeto e qual a metodologia para aplicação.

2.6.1 Definição

A análise de efeitos e modos de falhas corresponde a sigla em inglês FMEA (*Failure Mode and Effect Analysis*), e é uma técnica que auxilia na identificação e a mitigar as falhas

potenciais em equipamentos, sistemas ou processos. Essa abordagem do FMEA cria uma hierarquia das falhas potenciais de maneira lógica e compacta (PINTO; NASCIF, 2015).

A Análise do Modo e Efeito de Falha é um instrumento que procura evitar, através da análise das falhas que indica possíveis propostas de ações de melhoria, a ocorrência de falhas no projeto do produto ou do processo. Portanto, o alvo principal desta ferramenta é reduzir a probabilidade do produto ou processo falhar durante a atividade. Através dessa redução das chances de falhas aumenta-se a confiabilidade, que corresponde a possibilidade de o produto ou processo falhar (TOLEDO; AMARAL, 2006).

Segundo Moura (2000), FMEA de projeto é uma técnica analítica muito utilizada e possui a finalidade de averiguar e listar modos de falha potenciais junto de suas causas e efeitos, garantido que todas sejam identificadas e documentadas.

Conforme Siqueira (2009), o estudo do FMEA resume-se a realizar uma busca sistemática dos seguintes itens:

- Função requerida - que envolve o objetivo em relação ao padrão estabelecido de desempenho;
- Falha funcional - que representa a perda ou desvio da função requerida;
- Modo de falha - que apresenta o que pode falhar ou por qual motivo;
- Causa da falha – que descreve porque ocorre a falha;
- Efeito da falha – que revela qual o impacto provocado em relação a função principal;
- Criticidade - que quantifica a severidade ou gravidade do efeito para com o sistema.

2.6.2 Classificação

Segundo Pinto e Nascif (2015), o FMEA divide-se em três níveis, o de projeto, de processo e de sistema. No FMEA de projeto busca-se erradicar as causas das falhas durante a fase de desenvolvimento do projeto de um equipamento/sistema, considerando diversos fatores desde a manutenibilidade até à segurança. O FMEA de processo se concentra na análise de manutenibilidade e operação dos equipamentos envolvidos. Já o FMEA de sistema enfatiza as falhas latentes e seus gargalos no processo coletivo de todos os equipamentos em uma linha de produção.

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), a classificação dos tipos de FMEA são para aplicações em projetos e processos. FMEA de projeto é uma técnica aplicada por uma equipe ou engenheiro de projeto para garantir que falhas potenciais, seus efeitos e causas sejam apontadas e analisadas. Já o FMEA de processo é uma técnica empregada com enfoque sistemático pela equipe de desenvolvimento de processo para garantir que modos de falhas potenciais, seus efeitos e causas sejam avaliadas.

2.6.3 FMEA de projeto

A metodologia FMEA aplicada em projeto tem como objetivo identificar todos os modos de falha catastróficos e críticos para que nessa fase inicial seja possível eliminá-los ou minimizá-los através da busca da causa raiz de cada falha. A aplicação dessa técnica procura avaliar, documentar, e priorizar esforços para as falhas funcionais de grande impacto (SIQUEIRA, 2009). No contexto deste trabalho, a FMEA de projeto auxiliará a identificar o funcionamento correto do distribuidor de palhiço para sua modelagem e reprodução, além de identificar componentes mecânicos mais propensos a falhas para sua análise e posterior proposta de melhoria no projeto do sistema em estudo.

Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), a utilização da FMEA de projeto oferece muitas vantagens, entre elas:

- Contribui para uma análise concreta em relação as decisões de projeto.
- Engenharia simultânea em relação a qualidade e confiabilidade do produto.
- Privilegia as abordagens ligadas a qualidade/confiabilidade do produto, elaborando uma sequência de atividades de melhoria.
- Proporciona mudanças no projeto que contribuem na fase de fabricação e posterior manutenabilidade.
- Permite uma pesquisa aberta, que auxilia na busca de referências e ações para a redução de risco.
- Produz um referencial que contribui com avaliações, implementações e mudanças futuras no projeto base.

2.6.4 Metodologia para aplicação do FMEA

A técnica FMEA pode ser aplicada com diversas finalidades, entre elas cita-se a prática para redução da probabilidade da ocorrência de falhas em projetos novos ou existentes ou processos. Pode ser empregada para diminuir a probabilidade de falhas que ainda não tenham ocorrido em produtos/processos já em funcionamento, para aumentar a confiabilidade e reduzir riscos de erros e melhorias na qualidade dos sistemas envolvidos (TOLEDO; AMARAL, 2006).

A metodologia de desenvolvimento de um FMEA pode ser comparada a um processo iterativo, uma vez que deve ser constantemente revisado e incrementado. Apesar de sua utilização transparecer uma tarefa simples, as maiores dificuldades de aplicação envolvem definir quais são os modos de falha, as causas e efeitos para cada componente (SAKURADA, 2001).

Para iniciar-se o FMEA de projeto é recomendado reunir uma equipe de trabalho, de maneira que os participantes tenham conhecimento das diversas áreas que envolvem o projeto. Inicialmente deve-se buscar todo material e referências para o desenvolvimento e preparo do FMEA. Dentre estes documentos pode-se citar o próprio projeto, relatórios de demanda e reclamações de clientes, informações relacionados a performance dos produtos da concorrência, da assistência técnica e normas que sejam passíveis de aplicação no projeto (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

2.6.5 Planilha de FMEA de projeto

O desenvolvimento da planilha ou formulário de FMEA representa o preenchimento da tabela para simplificar e documentar o estudo. A elaboração dessa etapa só poderá ser realizada com a disponibilidade de um grande referencial e informações que envolvam o projeto (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

De acordo com Siqueira (2009), para a implementação da técnica FMEA deve-se utilizar um formulário padronizado. Um exemplo de formulário aplicado pode ser visto na Figura 26.

Figura 26 - Formulário DFMEA

DESIGN FAILURE MODE AND EFFECTS ANALYSIS (DFMEA) BLANK FORM

DESIGN FAILURE MODES AND EFFECTS ANALYSIS (DFMEA)																		
System / Subsystem / Component Name: _____										DFMEA Number: _____								
Model Year / Program(s): _____										Revision Date: _____								
DFMEA Owner (Design Resp): _____										Key Date: _____								
Core Team / Facilitator: _____										Original Completion Date: _____								
Support Team: _____																		
Item / Function / Requirement	Potential Failure Mode	Potential Effect(s) of Failure	S M V Classification	Potential Cause(s) of Failure	O C C	Current Design Controls Prevention	Current Design Controls Detection	D E T	R P N	Recommended Action	Responsibility & Target Completion Date	Action Results						
												Actions Taken & Effective Date	S E V	O C C	D E T	R P N		

Fonte: (SAE J1739, 2009)

Para entender o preenchimento da tabela é preciso conhecer muito bem os elementos que serão abordados. Os tópicos a seguir irão exemplificar mais especificamente cada elemento e conceito necessário para criação do formulário da técnica FMEA de projeto.

2.6.5.1 Função requerida

De acordo com Siqueira (2009) é possível definir função como aquilo que um cliente deseja e espera que um item ou sistema realize em relação a um padrão de desempenho pré-estabelecido.

Seja qual for o equipamento ou sistema industrial, o mesmo deve ter sua função requerida definida e corresponder a um padrão de performance limitado pelo projeto. Normalmente o setor de engenharia é responsável em manter a continuidade dessas funções evitando perda de desempenho (PINTO; NASCIF, 2015).

A fase de identificação das funções engloba uma descrição do objetivo e os limites admissíveis dentro de certo padrão de qualidade. Para uma adequada identificação deve ser considerada todas as funções do sistema, e se possível seus limites funcionais. Recomenda-se seguir uma padronização nessa descrição, com a construção e sequência: verbo seguido do objeto e por último os limites. Cada função deve ser codificada, assim como os componentes (SIQUEIRA, 2009).

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), as funções devem ser descritas de forma concisa, e caso um item possuir mais de uma função, essas funções devem ser listadas, uma vez que podem estar ligadas a modos de falha distintos. O preenchimento correto das funções ajudará no processo de identificação da falha, pois as falhas estão relacionadas a operação das funções requeridas.

Geralmente os sistemas estudados desempenham diversas funções, e essas funções podem seguir uma hierarquia quanto ao seu papel para o funcionamento do conjunto. Dessa maneira as funções podem ser classificadas de acordo com a Tabela 3.

Tabela 3 - Classificação de funções e objetivos

Função	Objetivo
Principal	Gera o objetivo principal do sistema
Secundária	Acrescenta objetivos ao sistema
Auxiliar	Modifica objetivos do sistema
Supérflua	Introduz objetivos desnecessários

Fonte: Siqueira (2009)

Cada componente de um equipamento possui funções que podem ser primárias e/ou secundárias. As funções primárias representam aquilo que componente deve fazer em primeiro lugar. Um exemplo de função primária pode ser em um motor que deve realizar o movimento de uma correia transportadora. Já as funções secundárias podem ser consideradas com manter baixo ruído e nenhum vazamento de óleo (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Na aplicação da técnica DFMEA o atendimento da função requerida muitas vezes é associado ao termo confiabilidade. De acordo com a norma NBR 5462-1994, o termo confiabilidade (ou em inglês *Reliability*) corresponde “a capacidade de um elemento desempenhar uma função requerida sob condições especificadas, durante um dado intervalo de tempo”. Já para Pinto e Nascif (2015), confiabilidade representa a probabilidade de um item desempenhar uma função requerida, sob condições delimitadas, durante certo tempo. Para a norma IEC 60050-192:2015, a Confiabilidade é a capacidade de um elemento executar uma função requerida, sem falhas, durante um dado intervalo de tempo, sob determinadas condições.

2.6.5.2 Falha

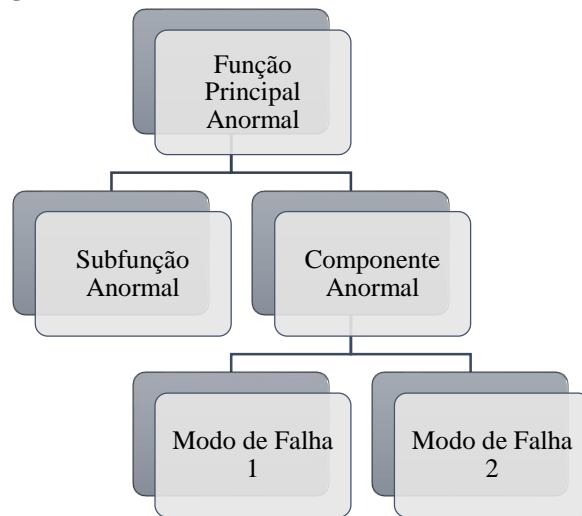
De acordo com a norma NBR 5462-1994, o termo falha significa o término da capacidade de um item desempenhar a função requerida. Para a norma IEC 60050-192:2015, falha é a perda da capacidade de um elemento em executar uma função requerida. Uma falha de um elemento é um evento que resulta em uma avaria do elemento. Pinto e Nascif (2015) acrescentam que falha pode ser definida como a cessação da função de um item ou incapacidade de satisfazer a um padrão de desempenho previsto. Na indústria, uma falha pode representar uma parada de produção, um funcionamento em regime instável, um decréscimo no montante produzido ou redução da qualidade final do produto.

A falha pode ser classificada de acordo com o efeito que ela provoca, podendo ser funcional ou potencial. A falha potencial representa um estado que pode ser identificado e mensurado, o qual mostra uma falha funcional iminente ou em andamento para ocorrer. Já a falha funcional representa a impossibilidade de um item em realizar a função requerida em relação aos padrões estipulados de performance (SIQUEIRA, 2009).

2.6.5.3 Modos de falha

O estudo dos modos de falha envolve a caracterização da forma como elas ocorrem, uma melhor definição pode ser um evento que provoca a falha com perda de sua função ou funções. Pode ainda ser entendido como um estado de falha de um componente em relação a sua função requerida. A falha está mais voltada ao estado anormal do sistema, já o modo de falha está associado ao fenômeno físico que originou essa mudança de um estado normal para um anormal (SIQUEIRA, 2009).

Conforme Siqueira (2009), a identificação sistemática dos modos de falha podem ser facilitados pela execução de uma árvore de falhas do sistema (Figura 27). Nessa árvore cada componente pode ser expandido para abranger os possíveis estados de anormalidade, estabelecendo os prováveis modos de falha.

Figura 27 - Árvore de causas de falhas

Fonte: Adaptado de (SIQUEIRA, 2009)

Cada mecanismo possui seus modos de falha particulares, no entanto existem modos de falhas mecânicos característicos para diversos equipamentos, alguns desses podem ser vistos na Tabela 4.

Tabela 4 - Modos de falha mecânicos

Modo de Falha	Tipo de Falha	Causa da falha
Fratura	Dúctil	Deformação plástica por escorregamento.
	Frágil	Propagação de trinca sob tensão estática.
	Fadiga	Propagação de trinca sob tensão cíclica.
Desgaste	Fadiga Térmica	Propagação de trinca por ciclo térmico.
	Mecânico	Remoção de material por atrito.
	Químico	Remoção de material por reação química.
	Eletroquímico	Perda de material por reação eletroquímica.
	Corrosivo	Ação (eletro) química do meio ambiente.
	Adesivo	Ruptura de micro adesões entre superfícies.
	Abrasivo	Risco superficial por material mais duro.
Deformação	Cavitação	Micro jatos de líquido por colapso de bolhas.
	Fretting	Remoção superficial por micro movimentos.
	Tração	Alongamento dúctil sob força de tração.
	Pressão	Encolhimento dúctil sob força de pressão.
Incrustação	Torção	Distorção helicoidal dúctil por torção.
	Processual	Depósito de material utilizado no processo.
	Ambiental	Depósito de material do meio ambiente.

Fonte: Siqueira (2009 p.73)

2.6.5.4 Efeitos de falha

Os efeitos de falha são resultantes dos modos de falha, e são eles que normalmente são percebidos pelos clientes. Cada efeito deve ser estabelecido para um item específico que está sob análise. Os efeitos de falha mais comuns são: ruído, aspecto desagradável, vibração, folga operação intermitente ou falta de operação (FOGLIATTO; RIBEIRO, 2009).

Conforme Siqueira (2009), o efeito de falha pode ser entendido como o resultado ou o que acontece quando um modo de falha se manifesta. Logo o estudo dos efeitos da falha envolve a investigação de como os modos de falha irão se disseminar e impactar no objetivo do equipamento em realizar sua função requerida. O efeito deverá ser descrito de uma maneira que seja possível avaliar as consequências envolvidas e conter informações que envolvam os seguintes aspectos:

- Evidência de falha – como é visto o efeito;
- Impacto na segurança – que risco oferece as pessoas;
- Impacto ambiental – que prejuízo traz ao meio ambiente;
- Reflexo operacional – como afeta a produção;
- Resultado econômico – qual consequência financeira o efeito produz;
- Forma de reparo – como reassumir a função requerida após a falha;
- Características compensatórias – projetadas para diminuir o efeito;

2.6.5.5 Severidade

De acordo Fogliatto e Ribeiro (2009), a avaliação da severidade ou criticidade trata-se de uma ponderação qualitativa do efeito descrito, logo desconsidera medições ou cálculos para quantificar esse efeito. A várias formas de se categorizar essa severidade, Siqueira (2009) salienta que a experiência de aplicação da técnica FMEA evidenciou que cinco categorias para o efeito de falhas eram suficientes. Esses níveis de classificação da severidade podem ser vistos na Tabela 5.

Tabela 5 - Níveis de severidade do efeito

Severidade	Critério: gravidade ou Severidade (SEV) do Efeito	Peso
Segurança e/ou conformidade regulatória (muito alta)	O Efeito do Modo de Falha afeta a operação segura do sistema e/ou envolve o não cumprimento da regulamentação de forma inesperada.	10
	O Efeito do Modo de Falha afeta a operação segura do sistema e/ou envolve a não conformidade com a regulamentação, mas avisa antes de acontecer.	9
Função primária - Essencial (alta)	Perda da função primária (sistema inoperável, mas não afeta a segurança da sua operação).	8
	Degradação da função primária (sistema operável, mas com nível reduzido de desempenho).	7
Função secundária - Conforto (moderada)	Perda da função secundária (elemento operável, mas funções secundárias inoperáveis).	6
	Degradação da função secundária (sistema operável, mas funções secundárias em nível reduzido de desempenho).	5
Descontentamento (baixa)	Aparência ou ruídos não desejados. O sistema opera, mas o elemento não está em conformidade. Defeito percebido pela maioria dos usuários (> 75%).	4
	Aparência ou ruídos não desejados. O sistema opera, mas o elemento não está em conformidade. Defeito percebido por muitos usuários (50%).	3
	Aparência ou ruídos não desejados. O sistema opera, mas o elemento não está em conformidade. Defeito percebido por usuários especialistas (<25%).	2
Sem efeito	Nenhum efeito perceptível.	1

Fonte: Adaptado de SAE J1739 (2009)

2.6.5.6 Ocorrência

De acordo Fogliatto e Ribeiro (2009), a ocorrência está atrelada com a probabilidade que a causa da falha venha a ocorrer. A principal forma de diminuir a ocorrência da falha é fazendo alterações no projeto. A classificação da ocorrência da falha também é avaliada de forma qualitativa, e para tal avaliação deve-se questionar em relação aos quesitos a seguir.

- Qual o conhecimento com subsistemas parecidos testados a campo;
- Esses componentes passaram por grandes alterações desde a versão anterior;
- Trata-se de um componente com inovação disruptiva;
- Esse subsistema receberá nova aplicação ou estará condicionado à outro uso;

Uma boa forma de classificar as possíveis falhas em relação a ocorrência e ainda considerar os critérios listados acima pode ser visto na Tabela 6.

Tabela 6 - Níveis de ocorrência das causas do modo de falha

Ocorrência	Critério: Ocorrência (OCC) das Causa do Modo de Falha	Peso
Muito alta	Acontece por ser um a nova tecnologia ou novo projeto sem histórico.	10
Alta	A Causa da Falha é inevitável por ser um novo projeto, nova aplicação ou adaptação, quando levado às condições da operação/ciclo de trabalho.	9
	A Causa da Falha é provável por ser novo projeto, nova aplicação ou adaptação, quando levado às condições de operação/ciclo de trabalho.	8
	A Causa da Falha é incerta por ser novo projeto, nova aplicação ou adaptação, quando levado às condições de operação/ciclo de trabalho.	7
Moderada	Causas das Falhas frequentes são associadas a projetos semelhantes ou em simulação e testes.	6
	Causas das Falhas são ocasionais e associadas a projetos semelhantes ou em simulação e testes.	5
	Causas das Falhas isoladas são associadas a projeto similar ou em simulação e testes.	4
Baixa	Apenas Causas de Falhas isoladas são associadas a projetos quase idênticos ou em simulação e testes.	3
	Nenhuma Causa de Falha é observada nem associada a projetos quase idêntico ou na simulação e testes.	2
Mínima	A Causa da Falha é eliminada por meio de um Controle Preventivo.	1

Fonte: Adaptado de SAE J1739 (2009)

2.6.5.7 Detectabilidade

Conforme Fogliatto e Ribeiro (2009), a detectabilidade ou índice de detecção se relaciona a facilidade com que os controles do projeto têm em detectar as possíveis causas ou modos de falha antes de o equipamento vir a ser produzido. A classificação dos níveis dos índices de detecção também é qualitativa, e para redução dessa escala dentro do projeto é necessário melhorar o programa de validação. Essa melhoria na validação está relacionada com busca e elaboração de controles preventivos e detectivos melhores. Um meio de se classificar esse índice de detecção pode ser visto na Tabela 7.

Tabela 7 - Níveis de detectabilidade das causas e modos de falha

Detectabilidade	Critério: Detecção (DET) para o Controle do projeto	Peso
Incerteza absoluta	Nenhum controle de projeto atual. Não é possível detectar ou analisar o elemento.	10
Difícil de detectar	O controle proposto de projeto têm uma capacidade de detecção fraca; A análise virtual (CAE: FEA, CAD, CFD, etc.) não está correlacionada com as condições reais esperadas de operação.	9
Congelamento do projeto, mas, antes da sua fabricação	Verificação/validação do elemento após o congelamento do projeto e antes da fabricação com teste de aprovação/reprovação (verificar o sistema com critérios de aceitação, por exemplo, orientação e recomendações, etc.)	8
	Verificação/validação do elemento após o congelamento do projeto e antes da fabricação com provas para testes de falhas (verificar o sistema até a falha ocorrer, teste de interações do sistema, simulação de forçamento de falhas, etc.)	7
	Verificação/validação do elemento após o congelamento do projeto e antes da fabricação com teste de degradação (verificar o sistema após testes de durabilidade, por exemplo, verificando suas funções)	6
Antes de congelar o projeto	Validação do elemento (testes de confiabilidade, desenvolvimento ou testes de validação) antes de congelar o projeto, usando testes de aprovação/reprovação (por exemplo, critérios de aceitação para desempenho, verificações de função, etc.)	5
	Validação do elemento (testes de confiabilidade, desenvolvimento ou testes de validação) antes de congelar o projeto, usando teste de falhas (por exemplo, até ocorrer um: vazamento, fratura, deformação, desgaste, incrustação, etc.)	4
	Validação do elemento (testes de confiabilidade, desenvolvimento ou testes de validação) antes de congelar o projeto, usando testes de degradação (por exemplo, tendências de dados, valores antes/depois, análise estatístico, etc.)	3
Análise Virtual - Correlacionada	Os controles de análise do elemento possuem uma forte capacidade de detecção. A análise virtual (por exemplo, CAE: FEA, CAD, CFD, etc.) é altamente correlacionada com as condições operacionais reais e/ou esperadas antes do congelamento do projeto.	2
Detecção não aplicável	A Causa da Falha ou o Modo de Falha não podem ocorrer porque ela é totalmente evitada por meio de soluções de projeto (por exemplo, normas ou boas práticas de projeto recomendadas, etc.)	1

Fonte: Adaptado de SAE J1739 (2009)

2.6.5.8 Número de prioridade de risco

O Número de Prioridade de Risco (NPR) ou do inglês *Risk Priority Number* (RPN) é o resultado do produto entre os índices de severidade, ocorrência e detectabilidade. A multiplicação desses três fatores resulta na prioridade de risco da falha (PINTO; NASCIF, 2015).

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), o NPR é calculado para que se possa priorizar as ações para correção e implementação de propostas de melhoria para o projeto. Esse valor não segue um comportamento linear, o número de prioridade de risco cresce geometricamente à medida que os índices de severidade, ocorrência e detectabilidade aumentam. Logo, o cálculo do NPR promove uma avaliação aproximada do risco, justificando ou não a análise e revisão do projeto.

2.6.6 Controles preventivos e detectivos

Os controles preventivos são ações que devem ser tomadas com base em normas relacionadas ao estudo, utilizando-se de documentação e registros de melhores práticas e especificações recomendadas. O uso de catálogos, normas e recomendações do fabricante em sistemas similares também é válido. As recomendações em manutenção preventiva ou de especialistas também pode ser um meio de controle antecipado do projeto (NUÑEZ, 2017).

Os controles detectivos são análises que visam assegurar a robustez do produto, esses controles são importantes quando não se tem controles preventivos no projeto. Alguns meios de controle podem ser testes com protótipo, cálculos analíticos e detalhamento do produto usando CAD. Pode-se ainda validar o projeto com simulação por dinâmica dos fluidos computacional (CFD – do inglês *Computational Fluid Dynamics*), animação de movimento usando CAD, engenharia auxiliada por computador (CAE - do inglês *Computer Aided Engineering*) e Simulação por Método dos Elementos Finitos (FEM – do inglês - *Finite Element Method*) (NUÑEZ, 2017).

2.7 ABORDAGEM DA FMEA DE PROJETO

De acordo com Wildauer (2013), a FMEA pode ser empregada seguindo duas abordagens, a abordagem *BOTTOM - UP* e a *TOP-DOWN*. A abordagem *BOTTOM - UP* segue um procedimento de análise de baixo para cima, ou seja, cada elemento ou componente é analisado no nível mais baixo em relação a um sistema e a finalização desse método será quando cada componente for apontado. A abordagem *BOTTOM-UP* é comumente conhecida por abordagem de *hardware*. Já a abordagem *TOP-DOWN* é correntemente empregada na fase de concepção. Esse método ressalta as principais funções do sistema e o modo de falha. Essa análise ajuda na priorização de falhas funcionais e que tenham efeitos significativos. Essa análise com tratamento de cima para baixo pode ser aplicada em um equipamento ou sistema que já exista facilitando a priorização de estudo em áreas ou subsistemas com potenciais problemas.

3 ASPECTOS METODOLÓGICOS

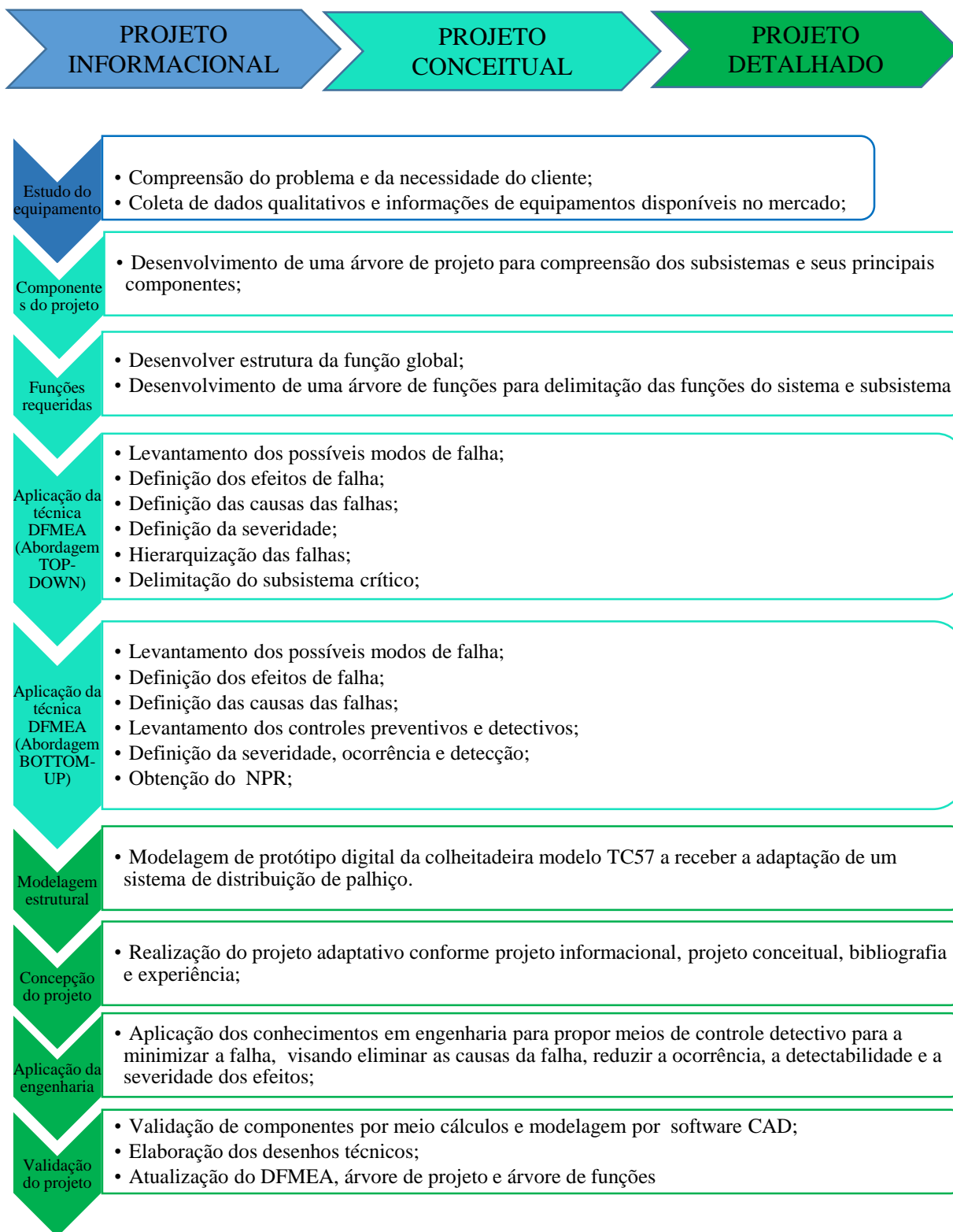
De acordo com Pahl e Beitz (2005), a aplicação de uma metodologia no desenvolvimento de um projeto consiste em seguir um procedimento planejado com indicações consistentes a serem validadas no projeto de sistemas técnicos. A integração dos aspectos metodológicos resultará de conhecimentos na área da ciência de projeto e da experiência vivida durante a aplicação de outros projetos. Os autores ainda reforçam que a elaboração de projeto materializado em cima de métodos desperta as habilidades individuais do projetista através de instruções que auxiliam a potencializar a criatividade, além de em paralelo avaliar subjetivamente o resultado.

A utilização de procedimentos para o desenvolvimento de um produto são diretrizes, e não metodologias rígidas. No entanto essas diretrizes de desenvolvimento de produto devem ser compreendidas sequencialmente com a possibilidade de ajustes flexíveis para a situação atual (PAHL; BEITZ, 2005).

O método de pesquisa utilizado para o presente trabalho apoia-se em abordagens relacionadas a coleta de dados qualitativos tais como informações de funcionamento do sistema de distribuição de palhão proveniente dos fabricantes e usuários/especialistas de ditos sistemas, além de pesquisa bibliográfica de melhores práticas e componentes pertinentes ao equipamento. Logo, o presente trabalho aborda o desenvolvimento de um projeto adaptativo que segue a metodologia de desenvolvimento de projeto e técnicas compartilhadas por Pahl e Beitz (2005) e Rozenfeld et al. (2006).

Os métodos utilizados para o desenvolvimento do presente trabalho podem ser vistos resumidamente na Figura 28.

Figura 28 - Procedimento usado no desenvolvimento do projeto



Fonte: Autoria própria

4 DESENVOLVIMENTO DO TRABALHO

Este capítulo tem por objetivo mostrar os resultados que foram obtidos da aplicação do método de desenvolvimento de projeto.

4.1 PROJETO INFORMACIONAL

Segundo Rozenfeld et al. (2006), na fase do projeto informacional deve-se estudar o problema associado a gênese do produto, além de buscar a maior quantidade de informações que auxiliem o desenvolvimento do projeto. Essa etapa do desenvolvimento do trabalho compreende o que foi visto na justificativa e na revisão bibliográfica do presente trabalho.

De acordo com Pahl e Beitz (2005), o fechamento do projeto informacional é realizado quando se define os requisitos que o projeto deve satisfazer, quais características ele deve apresentar e quais não deve.

Conforme as necessidades dos clientes, o projeto de distribuidor de palhiço deve ser adaptado na forma de um kit em colheitadeiras modelo TC57. Com a exigência de que fossem utilizados os meios de fornecimento de potência já disponíveis na máquina, visando pequenas modificações no sistema a receber esse kit. E o equipamento base que será adaptado deve ser modificado o menos possível, sem perder a função de realizar a distribuição do palhiço de forma eficiente.

Conforme as recomendações dos futuros usuários, delimitou-se o projeto adaptativo ao modelo citado. Em relação ao sistema de acionamento, uma vez que a revisão dos sistemas de distribuição mostrou dois tipos principais, optou-se pelo sistema mecânico. A avaliação realizada mostrou que o modelo TC57 dispõe do eixo do saca-palhas disponível para possíveis adaptações nesse quesito. A implementação do acionamento hidráulico necessitaria grandes modificações em relação ao aumento de vazão e pressão nas bombas hidráulicas existentes, a adição de tubulações ou até uma unidade hidráulica completa. Logo, o sistema mecânico por polias e correias atenderia o requisito dos clientes.

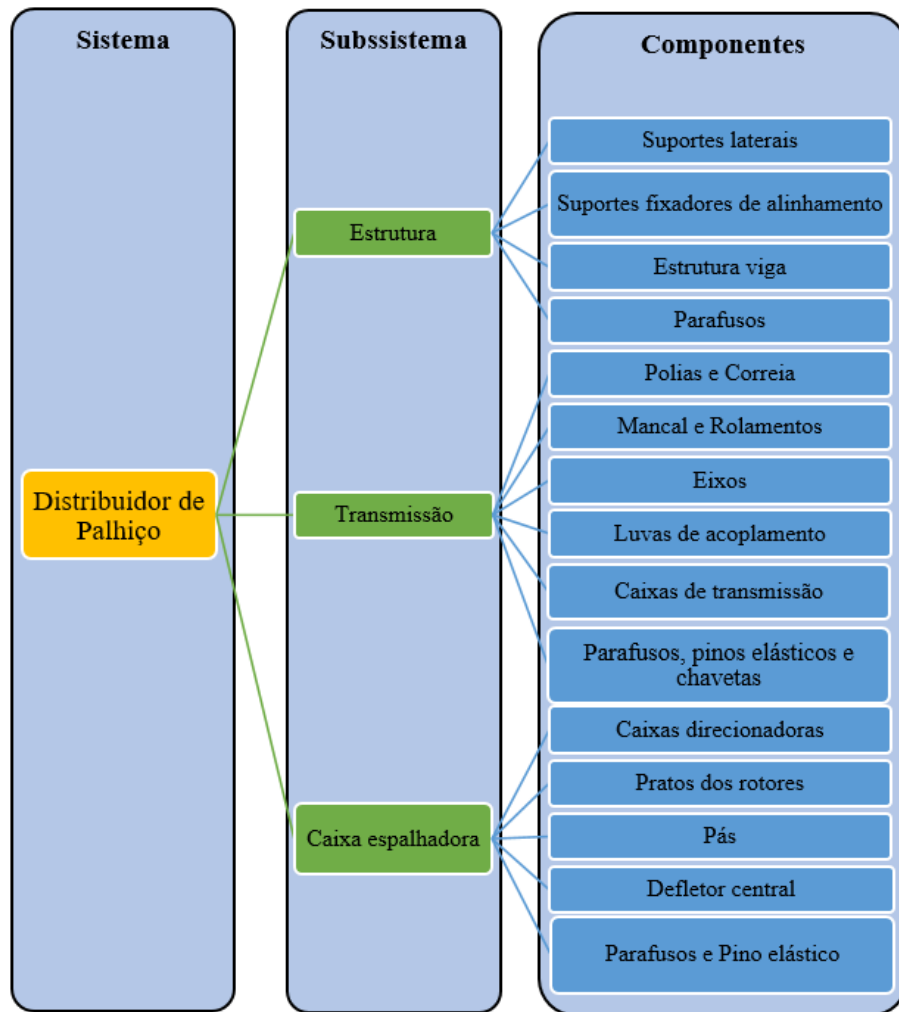
4.2 PROJETO CONCEITUAL

Neste tópico será retratado os resultados da aplicação das técnicas de Árvore de projeto, Árvore de funções e DFMEA para desenvolvimento do projeto conceitual.

4.2.1 Árvore de projeto

Para o desenvolvimento da árvore de projeto, listou-se de forma hierárquica o sistema, subsistema e os principais componentes do distribuidor de palhiço como pode ser visto na Figura 29.

Figura 29 - Árvore de projeto do distribuidor de palhiço



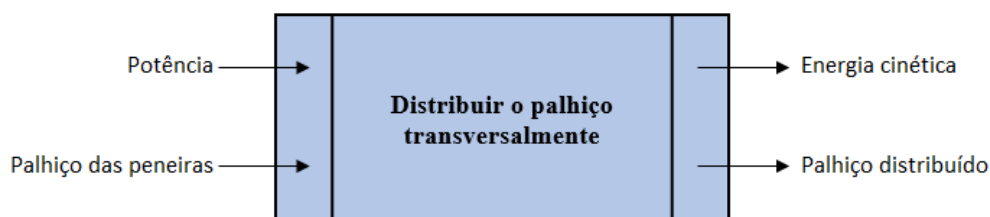
Fonte: Autoria própria

A hierarquização dos elementos do espalhador de palhiço permitiu delimitar de forma simples e objetiva o sistema, subsistemas e componentes. Essa estrutura organizou os principais componentes facilitando a compreensão do projeto como um todo. Através deste diagrama será possível prosseguir para a determinação das funções do sistema e dos subsistemas.

4.2.2 Árvore de funções

Conforme o estudo realizado, foi vista a importância de se delimitar a função global, ou total, do equipamento a ser avaliado. Seguindo a recomendação de Pahl e Beitz (2005) e Rozenfeld et al. (2006) foi determinado a função global como pode ser vista na Figura 30.

Figura 30 - Delimitação da função global



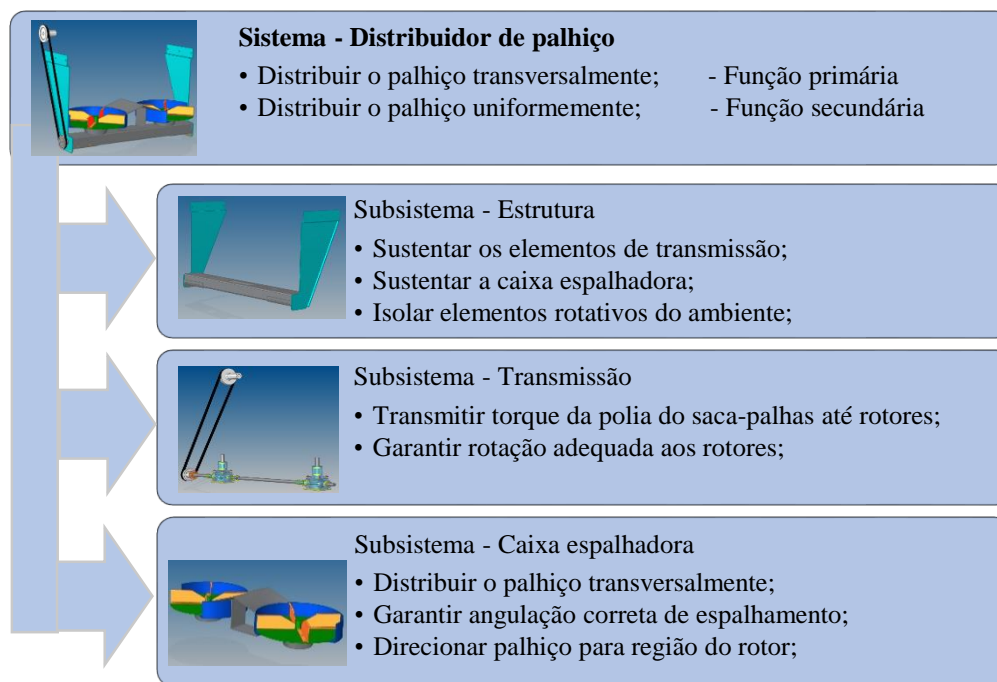
Fonte: Autoria própria

Um dos quesitos delimitados por Fogliatto e Ribeiro (2009) é de que a função requerida pelo sistema em estudo deve ser exemplificada de forma concisa e de maneira breve.

Para tal exemplificação, a aplicação do diagrama de árvore é uma técnica que permite decompor um sistema de forma hierárquica, sendo largamente utilizado para gestão de projetos.

Posto que a função global foi delimitada viu-se a necessidade de se fragmentar essa função em subfunções. Dessa maneira, para simplificar a sistemática das funções requeridas para o sistema como um todo e seus subsistemas desenvolveu-se a árvore de funções que pode ser vista na Figura 31.

Figura 31 - Árvore de funções do distribuidor de palhiço



Fonte: Autoria própria

Delimitando as funções requeridas do sistema de distribuição de palhiço e de seus subsistemas pôde-se perceber que o subsistema caixa espalhadora possui funções diretamente relacionadas com a função do equipamento no geral. O que faz da caixa espalhadora um subsistema crucial para o conjunto. Por outro lado, levando em consideração as funções dos demais subsistemas (transmissão e estrutura), percebe-se que indiretamente o não cumprimento dessas funções compromete-se a função primária e secundária do distribuidor.

4.2.3 Resultados da DFMEA

A aplicação da técnica FMEA de projeto pode ser bastante diversificada quanto a sua maneira de implementação. Essa variação está relacionada a abordagem que pode ser *Top-down* ou *Bottom-up*, mas também em relação a necessidade e exigência do cliente. Com o conhecimento adquirido através da revisão bibliográfica aplicou-se a técnica DFMEA classificando apenas em relação a severidade, que avalia o efeito da falha e este resultado está diretamente relacionado a satisfação do cliente que é o produtor rural ou usuário do equipamento. A abordagem utilizada foi a *Top-down*, de modo que se analisou o sistema completo em relação a falha funcional de seus subsistemas. O formulário da FMEA de projeto pode ser visto no Apêndice A.

O desenvolvimento da técnica envolveu a elaboração de 7 versões, conforme era adquirido novos conhecimentos, o formulário era reatualizado. A primeira versão não possuía dados relativamente consistentes. A segunda versão foi voltada a manutenção centrada na confiabilidade. Conforme o formulário era preenchido e lapidado a cada versão, os resultados foram se tornando consistentes e válidos para uma boa análise.

Analisando o sistema de espalhador de palhiço em relação aos seus subsistemas, pode-se avaliar a relação entre os mesmos e também o que possui maior potencial de desagradar o cliente. Dessa maneira, realizou-se uma análise simples da soma e média aritmética da severidade apresentada por cada efeito potencial de falha referente a cada subsistema. Com esse resultado notou-se que tanto a soma quanto a média aritmética do subsistema transmissão foram os mais altos. Esse resultado pode ser visto na Tabela 8 .

Tabela 8 - Classificação em relação a severidade

Severidade	Soma	Média
Estrutura	50	6,25
Transmissão	196	7
Caixa	78	6,5

Fonte: Autoria própria

Com o resultado da técnica DFMEA com abordagem *Top-Down* foi possível identificar o subsistema crítico. Dessa maneira a priorização dos esforços na solução e minimização das potenciais falhas está voltada ao subsistema transmissão. Esse direcionamento para um único subsistema não desconsidera a importância e a relevância dos outros subsistemas, apenas canaliza o recurso de tempo. Em relação a Tabela 8, percebe-se que a soma das severidades está relacionada diretamente ao número de componentes, podendo ser um método falho na identificação do subsistema crítico. No entanto a média já auxilia a avaliar melhor a severidade de cada subsistema. A caixa espalhadora poderia ser um subsistema a ser analisado com maiores detalhes uma vez que teve valores de média próximos ao da transmissão e além disso sua função está diretamente relacionada ao do distribuidor. A análise foi direcionada a transmissão visto que não há muitos estudos e análise em relação a componentes mecânicos do distribuidor de palhiço. Enquanto que estudos com as melhores configurações práticas das caixas espalhadoras podem ser vistas na literatura e na revisão bibliográfica do presente trabalho.

Para a identificação das potenciais falhas atreladas aos componentes da transmissão aplicou-se novamente a técnica de FMEA de projeto, mas com abordagem *Bottom-Up*. Com essa abordagem foi avaliado levando-se em consideração cada componente no seu nível mais baixo, de modo que todos esses elementos fossem listados. O desenvolvimento deste formulário FMEA de projeto considerou as classificações em relação a severidade, ocorrência e detectabilidade. Foi listado ainda os controles preventivos e detectivos possíveis ao projeto.

Por meio da aplicação deste formulário FMEA de projeto foi possível determinar potenciais falhas do projeto adaptativo do distribuidor do palhiço. O conhecimento das funções de cada componente, dos possíveis modos de falha e dos efeitos da falha que auxiliaram no entendimento para propor melhorias no projeto. Essas ações recomendadas têm como objetivo eliminar ou minimizar essas falhas por meio de modificações no projeto ou na implementação de controles preventivos e detectivos do projeto.

De acordo com Fogliatto e Ribeiro (2009), a DFMEA é uma técnica para aumentar a confiabilidade e possui como meta:

- Identificar e avaliar as falhas iminentes que podem manifestar-se em um produto;
- Nomear ações para tratamento ou eliminação das possibilidades de ocorrência dessas falhas através de controles preventivos e detectivos;
- Documentar o aprendizado, gerando um referencial técnico facilitando estudos e desenvolvimentos futuros do projeto ou processo;

A documentação da DFMEA sob abordagem *Bottom-Up* do subsistema transmissão é expressado pelo formulário que pode ser visto no Apêndice B.

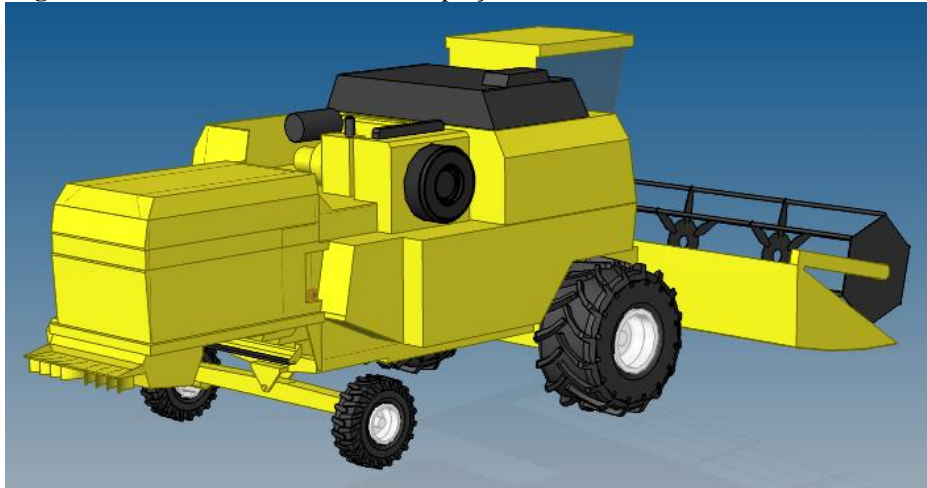
4.3 PROJETO DETALHADO

Neste tópico será retratado a modelagem da colheitadeira a receber esse distribuidor de palhiço, a concepção do projeto do distribuidor e a implementação de controles detectivos para o projeto.

4.3.1 Concepção do projeto

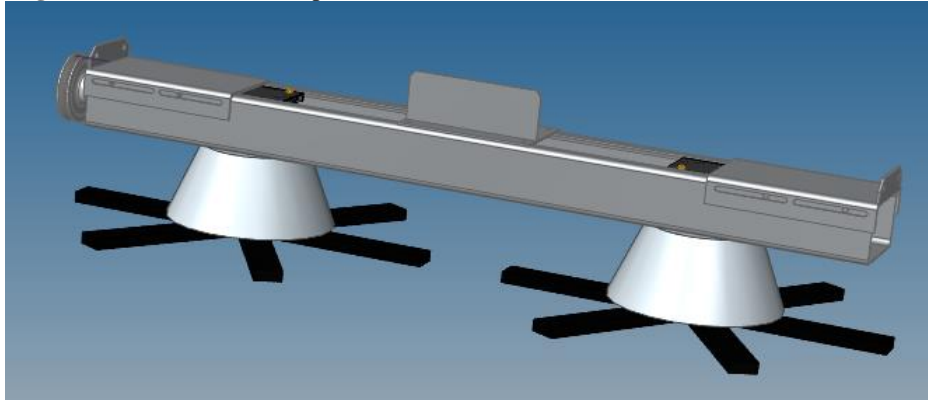
Visto que o projeto do distribuidor de palhiço será adaptado em uma colheitadeira, surgiu a necessidade de conhecer as dimensões, configurações e posicionamento que o distribuidor terá de obedecer em relação a essa máquina. Logo a prototipagem digital da colheitadeira tornou-se indispensável. Essa modelagem baseou-se em medições diretas na colheitadeira e seguiu fielmente as medidas da região onde será acoplado o distribuidor. As medidas de regiões da colheitadeira adjacentes ao distribuidor que não afetariam o projeto não foram seguidas assiduamente. A modelagem desse sistema pode ser visto na Figura 32.

Figura 32 - Modelo TC57 a receber adaptação



Fonte: Autoria própria

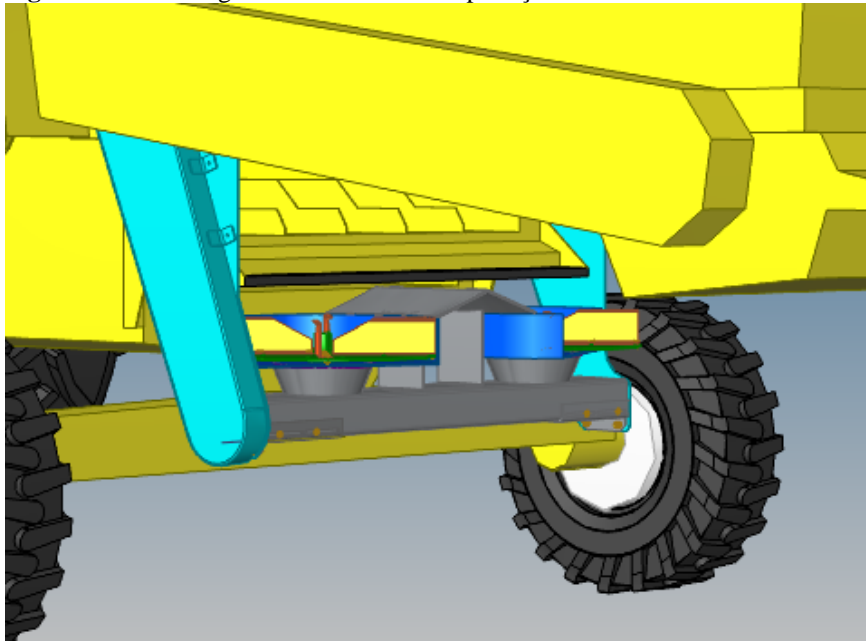
O distribuidor de palha usado no espalhamento da palhada do saca palhas que será adaptado e modificado para realizar a operação de distribuir o palhiço das peneiras pode ser visto na Figura 33.

Figura 33 - Distribuidor de palha

Fonte: Autoria própria

O distribuidor de palha da Figura 33 operava sob condições semelhantes a operação de distribuição de palhicho. No entanto ao invés de pás de metal, esse sistema possuía tiras de borracha que faziam o espalhamento de palhada com maior tamanho se comparada ao palhicho. Esse distribuidor de palha será utilizado como base para modificação e transformação em um distribuidor de palhicho.

Após realizar algumas modificações nesse espalhador de palhas e modelar algumas peças para esse projeto adaptativo, o projeto do distribuidor de palhicho acabou sendo cuidadosamente modelado como pode ser visto na Figura 34.

Figura 34 - Modelagem do distribuidor de palhicho

Fonte: Autoria própria

A modelagem desse distribuidor seguiu recomendações vistas no projeto informacional, com as melhores práticas de operação. O sistema de transmissão é por meio de polias e correia, acionados pelo eixo do saca-palhas. O posicionamento das pás em relação ao rotor é de 90°, a posição de entrega do palhiço é concentrada na parte central dos rotores, o número de pás por rotor é igual a 4, os diâmetros dos rotores são os maiores possíveis de acordo com o espaço disponível. Uma vez que o esboço do projeto foi realizado, necessitou-se aplicar controles detectivos em relação a alguns componentes.

4.3.2 Análise da configuração 1 de projeto

Conforme o direcionamento obtido da implementação da técnica DFMEA, viu-se a necessidade de buscar controles detectivos para o conjunto do eixo, mancal e polia do distribuidor.

De acordo com Klein (2014), a potência necessária para distribuidores de palha e palhiço são bem menores se comparados a picadores de palha. A potência que esses equipamentos necessitam está relacionada a vazão de material destinada aos rotores para o espalhamento. Por meio da revisão bibliográfica e do projeto informacional foi percebido que distribuidores de palhiço adaptados a modelos de classe IV operam a uma rotação na faixa de 300 a 350 r.p.m para distribuição a uma largura de 5,8 a 7 metros. Buscou-se informações de fabricantes de equipamentos semelhantes, que relataram que a potência necessária para distribuidores de palhiço acoplados a colheitadeiras de classe IV fica em torno de 3 CV, podendo chegar a um máximo de 4 CV sob rotação de 300 r.p.m em condições extremas de operação.

De acordo com NEW HOLLAND (2003), a rotação do eixo do saca-palhas em operação de colheita movimenta-se a uma rotação de 212 r.p.m. Logo com o arranjo de polias padronizadas obteve-se uma rotação de 305,28 r.p.m na polia do distribuidor de palhiço.

Para analisar os esforços na região do eixo deve-se partir dos esforços proporcionados pela correia, no entanto para facilitar essa análise será utilizado o sistema internacional de unidades. Partindo do pior cenário de funcionamento desse sistema, com uma potência na polia do distribuidor de 4 CV a uma rotação de 305,28 r.p.m, utiliza-se a equação abaixo para conversão de unidades.

$$P_{(W)} = P_{(CV)} \times 736 \quad (1)$$

Onde:

$P_{(W)}$ = Potência (W);

$P_{(CV)}$ = Potência (CV);

Logo, a potência utilizada será de 2.944 W sob um regime de rotação de 305,28 r.p.m, portanto, o torque na polia e eixo pode ser obtido pela Equação 2:

$$T = \frac{30 \times P_{(W)}}{\pi n} \quad (2)$$

Onde:

T = Torque ($N.m$);

$P_{(W)}$ = Potência (W);

n = Rotação (rpm);

Para a condição citada, obteve-se um torque aproximado de 92,0896 $N.m$. Por meio desse valor e pela equação 3 foi possível encontrar a carga tangencial F_n na polia do distribuidor, que possui raio primitivo de 0,0625 m.

$$F_n = \frac{T}{r_p} \quad (3)$$

Onde:

F_n = Carga tangencial a polia (N);

T = Torque ($N.m$);

r_p = Raio primitivo da polia (m);

A carga tangencial F_n na polia do distribuidor encontrada é de 1.473,4336 N . Para encontrar a carga radial na polia utiliza-se da carga tangencial F_n e do fator de correia f_b . De acordo com Mott (2015), o fator de correia recomendado para o cálculo da força radial é de $f_b = 1,5$. Esse fator foi estimado para uso em correias com perfil em V. Logo a carga radial F_b é encontrada pela equação 4.

$$F_b = f_b \times F_n \quad (4)$$

Onde:

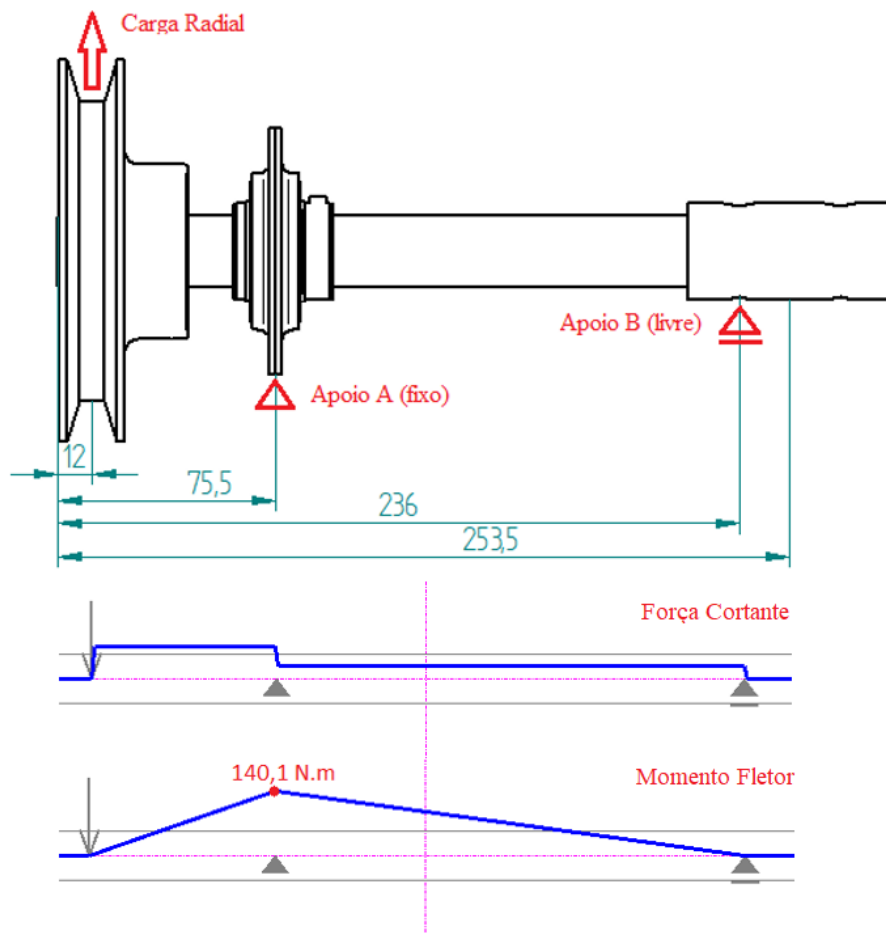
F_b = Carga radial na polia (N);

f_b = Fator de correia em V (adimensional);

F_n = Carga tangencial a polia (N);

O resultado para a carga radial F_b na polia é de $2.210,1504\text{ N}$, a partir daqui é possível realizar a análise através de diagramas de esforços. Visto que o eixo está sujeito a essa carga, realizou-se em separado uma análise de tensão e fadiga em relação ao ponto mais crítico desse eixo. Devido a questão de disponibilidade, o eixo em questão é um eixo maciço fabricado em aço estrutural. Avaliou-se o fator de segurança em relação a parte do eixo que possuía o entalhe de fixação do pino elástico. Essa análise em paralelo resultou em um fator de segurança acima de 5, por esse motivo desconsiderou-se o indício de falha no eixo. Apesar desse resultado foi visto a necessidade de se analisar os esforços sobre os demais componentes desse conjunto. Por meio da ferramenta de criação de eixos do software Solid Edge foi desenvolvido os diagramas de esforços para a configuração 1 de projeto. Os dados fornecidos e entradas para cálculo dos diagramas de esforço cortante e momento fletor podem ser vistos na Figura 35. Os diagramas de força cortante e momento fletor são representados em relação a soma dos esforços no plano XY e plano XZ.

Figura 35 - Diagramas de esforços para configuração 1



Fonte: Autoria própria

Os resultados obtidos em relação a reação nos apoios A e B em relação aos planos XY e XZ podem ser vistos na Tabela 9.

Tabela 9 - Resultados dos esforços da configuração 1 de projeto

Referencial		Valor
Reação no Apoio A	(Plano XY)	3.091,102367 N
Reação no Apoio B	(Plano XY)	-871,357090 N
Reação no Apoio A	(Plano XZ)	0,000 N
Reação no Apoio B	(Plano XZ)	0,000 N
Momento fletor máximo	(Plano XY)	140,1 N.m / Posição = 75,5 mm

Fonte: Autoria própria

Avaliando o resultado dos diagramas de esforço da Figura 35 e o resultado da Tabela 9 percebeu-se que a região que está sujeita ao maior momento fletor é no apoio A. Visto que no apoio A está concentrado os maiores esforços, atentou-se ao rolamento desse apoio que está sujeito a um grande esforço radial. Em virtude desse esforço viu-se a necessidade de avaliar a vida útil desse rolamento.

A força radial que esse rolamento está sujeito pode ser encontrada pela equação 5 abaixo:

$$F_r = \sqrt{(R_{a,xz})^2 + (R_{a,xy})^2} \quad (5)$$

Onde:

F_r = Carga radial atuante (N);

$R_{a,xz}$ = Reação no apoio A no plano xz (N);

$R_{a,xy}$ = Reação no apoio A no plano xy (N);

Uma vez que a força de reação no apoio A no plano xz é zero, a carga radial F_r é a própria força de reação no apoio A. Daí a carga radial dinâmica pode ser dada pela equação 6.

$$P_r = v * XF_r + YF_a \quad (6)$$

Onde:

P_r = Carga radial dinâmica equivalente (N);

v = Fator de rotação do anel;

F_r = Carga radial atuante (N);

F_a = Carga axial atuante (N);

X = Fator de carga radial (adimensional);

Y = Fator de carga axial (adimensional);

Segundo Budynas e Nisbett (2011), o fator de rotação do anel ν é definido pelo anel do rolamento. Caso o anel interno sofra o giro, $\nu = 1$, se o anel externo sofre o giro o fator passa a ser $\nu = 1,2$. Essa correção por meio desse fator de rotação corrige as condições de rotação, pois quando o anel externo sofre rotação, sua vida à fadiga é reduzida. Existe um caso especial, quando os mancais são autoalinhantes o fator de rotação é sempre igual a 1, independente se a rotação é no anel interno ou externo. Logo o fator de rotação do anel $\nu = 1$, pois o anel interno é que sofre o giro. Sabe-se que a força axial é zero e o fator de carga radial é 1 de acordo com o Anexo B, portanto a carga radial dinâmica equivalente é dada por $P_r = F_r = R_{a,xy} = 3.091,102367 \text{ N}$. Visto que se dispõe da carga radial dinâmica equivalente pode-se buscar o fator de vida do rolamento por meio da equação 7.

$$f_h = f_n \times \frac{C_r}{P_r} \quad (7)$$

Onde:

f_h = Fator de vida (adimensional)

f_n = Fator de rotação dinâmica (adimensional)

C_r = Capacidade de carga dinâmica (N);

P_r = Carga radial dinâmica equivalente (N);

O rolamento utilizado no distribuidor é o modelo UC205, de acordo NSK (2013) é um rolamento rígido de esferas com anel interno mais largo, ele possibilita o travamento axial por parafusos. Possui uma capacidade de carga dinâmica C_r igual a 14 kN e uma capacidade de carga estática básica de 7,8 kN.

Uma vez que é de conhecimento a rotação que esse rolamento opera é possível encontrar o fator de rotação dinâmica conforme NSK (2013) pela equação 8 ou por meio da tabela disponível no Anexo A.

$$f_n = (0,03 \times n)^{-1/3} \quad (8)$$

O fator de rotação encontrado é de $f_n = 0,4779$, aplicando os valores de f_n , C_r e P_r na equação 7 obtém-se um fator de vida $f_h = 2,1644$. Analisando o fator de vida em relação ao gráfico do Anexo A, encontra-se que a vida desse rolamento será de aproximadamente 5050 horas.

Analisando-se o calendário de colheita do Paraná conforme CONAB (2019) e avaliando a janela de colheita da região junto aos clientes, superestimou-se que a colheitadeira junto do distribuidor permanece em operação por um período de quatro meses ao ano.

Considerando uma operação diária de 17 horas, esse equipamento funcionaria 2.040 horas/ano. O rolamento analisado para a condição de operação de colheita suportará aproximadamente 2,475 anos sob as condições listadas acima. O que corresponderia a aproximadamente 5 safras, considerando 2 safras anuais.

4.3.3 Análise da proposta de melhoria do projeto

Uma vez que o distribuidor de palhiço será utilizado em temporadas específicas, o resultado encontrado para vida nominal está de acordo com o esperado para um equipamento utilizado em máquinas agrícolas. No entanto, buscou-se avaliar a possibilidade de se estender a vida nominal desse rolamento.

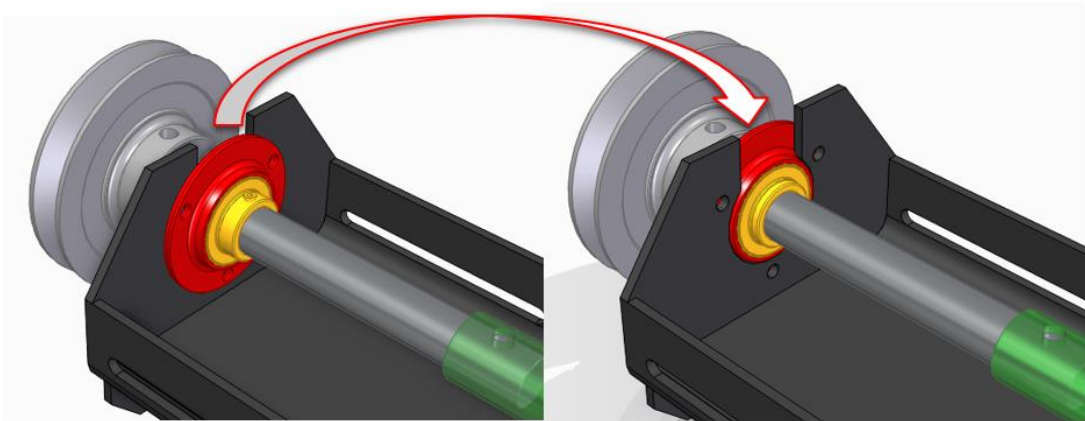
De acordo com Massaroppi et al. (2018), para aumentar a vida nominal de um rolamento recomenda-se melhorar a lubrificação, fazer a troca do rolamento em questão por séries mais pesadas, ou seja, com maior capacidade de suportar cargas estáticas e dinâmicas. Outra possível solução é mudar o tipo de rolamento de esferas para rolos se for o caso. Pode-se ainda aumentar o diâmetro do eixo e conseqüentemente do rolamento. Outra alternativa que pode resultar em um aumento de vida do rolamento é uma avaliação do projeto em relação a disposição dos apoios e cargas, que possivelmente resulte em uma redução da carga sobre o rolamento.

Visto que o ambiente operacional do distribuidor de palhiço está sujeito a contaminantes como poeira, buscou-se avaliar o rolamento quanto ao seu sistema de lubrificação e vedação para propor uma melhoria. De acordo com alguns fabricantes desse modelo, a vedação do rolamento é feita com borracha de acrilonitrila-butadieno (NBR) reforçada com inserto de aço laminado. Essa borracha é altamente resistente a graxa e óleos. A vedação minimiza o momento de atrito e protege o rolamento e a graxa de contaminantes. O inserto laminado auxilia na proteção contra resíduos e contaminantes sólidos. A lubrificação adequada está condicionada aos fatores e condições operacionais como qualidade da graxa, temperatura de operação, rotação, carga aplicada e contaminação do ambiente. A relubrificação será realizada com quantidade suficiente até que a graxa no interior do rolamento vaze para fora entre a vedação e os anéis interno e externo. Em virtude desse controle a respeito da vedação e

lubrificação do rolamento, descartou-se a necessidade de uma proposta de melhoria nesse quesito (SKF, 2015; NSK, 2013).

Fazendo uma análise da configuração 1 de montagem do projeto, identificou-se a possibilidade de modificar a posição do mancal e o rolamento em relação ao suporte de fixação do mancal. Essa mudança proposta em relação a montagem 1 pode ser vista nas Figura 36.

Figura 36 - Mudança de posição do mancal

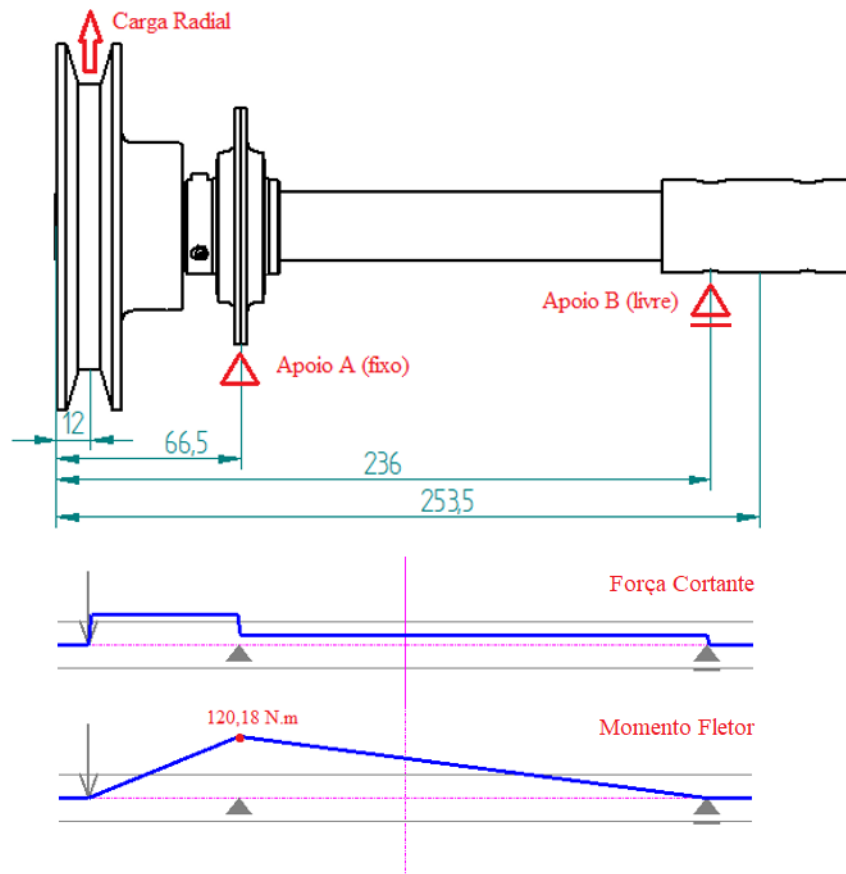


Fonte: Autoria própria

Uma vez que a mudança de posição do mancal foi realizada, a permanência do rolamento no mesmo sentido afetou o travamento axial do rolamento. Logo realizou-se a mudança do mancal em relação a posição e o rolamento foi mudado em relação ao seu sentido, mudança que afetará positivamente na questão de manutenibilidade do conjunto.

Em virtude dessa mudança foi visto a necessidade de avaliar-se os esforços para a conjuntura proposta. A carga radial F_b na polia continua a mesma, já a posição do apoio A foi modificada. Os resultados dessa modificação junto dos diagramas de força cortante e momento fletor podem ser vistos na Figura 37 e Tabela 10.

Figura 37 - Diagramas de esforços para configuração proposta



Fonte: Autoria própria

Tabela 10 - Resultados dos esforços da configuração proposta ao projeto

Referencial	Valor
Reação no Apoio A (Plano XY)	2.926,965170 N
Reação no Apoio B (Plano XY)	-707,232100 N
Reação no Apoio A (Plano XZ)	0,000 N
Reação no Apoio B (Plano XZ)	0,000 N
Momento fletor máximo (Plano XY)	120,18 N.m / Posição = 66,5 mm

Fonte: Autoria própria

Avaliando o resultado dos diagramas de esforço da Figura 37 e o resultado da Tabela 10 em relação ao resultado anterior, percebeu-se que o apoio A, sujeito ao maior momento fletor, teve uma redução significativa reduzindo de 140,1 $N.m$ para 120,18 $N.m$. A reação no apoio A também reduziu de 3.091,10 N para 2.926,97 N .

Visto que $R_{a2,xz} = 0$ e $F_{a2} = 0$, semelhante ao resultado anterior, temos que a carga radial dinâmica equivalente $P_{r2} = F_{r2} = R_{a2,xy} = 2.926,97 N$. A rotação também não foi alterada, logo o fator de rotação fornecido pela equação 8 continua sendo $f_n = 0,4779$.

Substituindo os novos valores encontrados na equação 7 foi encontrado um fator de vida $f_h = 2,2858$. Avaliando esse fator de vida em relação ao Anexo A obteve-se uma vida nominal de 6100 horas, que corresponderia a 2,99 anos operando 2040 horas/ano.

Os resultados comparativos entre a montagem 1 e a montagem proposta podem ser vistos na Tabela 11.

Tabela 11 - Comparação dos resultados encontrados

	Montagem 1	Montagem proposta	Diferença
Reação no apoio A (N)	3.091,102367	2.926,965170	164,137197
Reação no apoio B (N)	-871,357090	-707,232100	164,12499
Distância do apoio A (mm)	75,5	66,5	9
Vida nominal do rolamento (h)	5050	6100	1050
Durabilidade (Anos)	2,475	2,990	0,515
Durabilidade (Safras)	5	6	1

Fonte: Autoria própria

Avaliando os resultados encontrados em relação a ação proposta, essa mudança aumentaria a vida do rolamento em 1050 horas, proporcionando um prazo de uma safra a mais para a manutenção de troca do rolamento caso esse equipamento operasse 2040 horas/ano. Uma vez que foi mudada a posição do mancal em 9 mm, o momento resultante e a carga radial sobre o mancal diminuíram e resultou-se em um aumento significativo da vida e conseqüentemente redução de custo em relação a manutenção futura do equipamento. A durabilidade em safras é relacionada a estimativa de uso anual, portanto uma vez que o equipamento opere menos horas ao ano, essa durabilidade será ainda maior. Com a mudança do rolamento, os pinos roscados podem ser fixados sem a necessidade de se desmontar componentes do equipamento, logo a questão de manutenibilidade desses componentes é melhorada.

4.3.4 Análise da resistência do pino elástico

O pino elástico que será analisado é utilizado na transmissão de torque da polia do distribuidor para o eixo, ele evita ainda o deslocamento axial desse conjunto. O pino utilizado trata-se de uma cavilha elástica, que possui uma ranhura que permite a deformação ao ser introduzido no furo. Esse pino elástico está em conformidade com a norma ISO 13337 (2009) e recebe a designação ISO 13337 -10 x 60-St cujas dimensões antes da montagem podem ser vistas no Anexo C.

Para avaliar a confiabilidade desse pino elástico viu-se a necessidade de se realizar cálculos quanto a sua resistência ao cisalhamento e esmagamento para um melhor controle detectivo do projeto.

De acordo com a norma ISO 13337 (2009) os materiais recomendados para a fabricação desses pinos são aços mola, a descrição de composição de elementos químicos sugere um aço AISI 1070, que possui a resistência ao escoamento de $S_y = 385 \text{ MPa}$ conforme MatWeb (2019).

Os cálculos apresentados neste tópico seguem os procedimentos de Budynas e Nisbett (2011). A resistência ao escoamento sob cisalhamento que segue a teoria de von Mises de acordo com a energia de distorção é dada pela equação 9.

$$S_{xy} = 0,577 \times S_y \quad (9)$$

Onde:

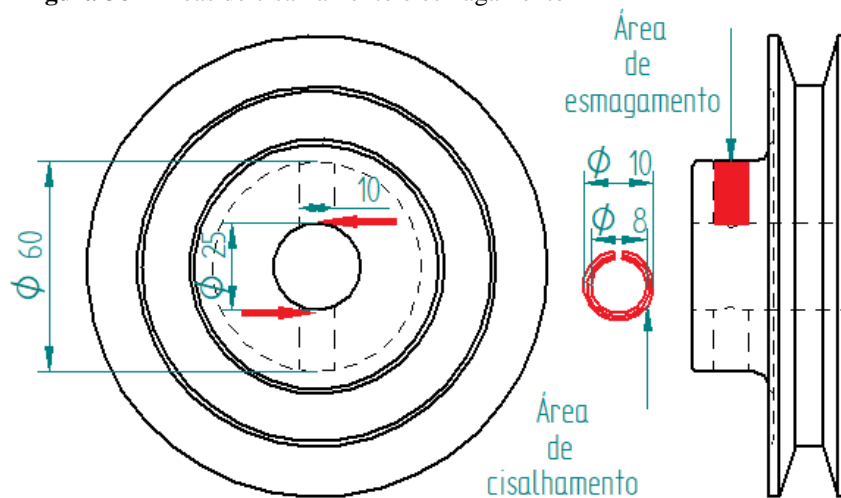
S_{xy} = Resistência ao escoamento por cisalhamento (MPa);

S_y = Resistência ao escoamento do material (MPa);

Utilizando a equação 9 e o valor de resistência a escoamento de $S_y = 385 \text{ MPa}$, obtém-se uma resistência ao escoamento por cisalhamento de $S_{xy} = 222,145 \text{ MPa}$ para o material do pino.

O pino elástico é passante em todo o cubo da polia, logo estará sob uma condição de cisalhamento duplo. As forças atuantes no pino e as áreas de cisalhamento e esmagamento podem ser vistas na Figura 38.

Figura 38 - Áreas de cisalhamento e esmagamento



Fonte: Autoria própria

Por meio equação 3 calcula-se a força tangencial em relação ao diâmetro de 25 mm. Sabe-se que o torque é de $92,0896 \text{ N.m}$, logo encontra-se uma força tangencial de $7.367,168 \text{ N}$. Uma vez que o pino está sujeito a cisalhamento duplo a força efetiva no pino é a metade da força tangencial calculada, logo $F_t = 3683,584 \text{ N}$.

A área de cisalhamento do pino é vista na Figura 38, para efeitos de cálculo a secção do pino será considerada como um anel perfeito. Logo essa área da secção sujeita ao cisalhamento pode ser calculada pela equação 10:

$$A_s = \pi(r_e^2 - r_i^2) \quad (10)$$

Onde:

A_s = Área da secção do pino (mm^2);

r_e = Raio externo do pino (mm);

r_i = Raio interno do pino (mm);

Uma vez que o raio externo possui 5 mm e o interno 4 mm, a área da secção do pino é de $A_s = 28,274 \text{ mm}^2$. Logo a tensão de cisalhamento que o pino está sujeito é dado pela equação 11.

$$\tau_{cis} = \frac{F_t}{A_s} \quad (11)$$

Onde:

τ_{cis} = Tensão de cisalhamento (MPa);

F_t = Força tangencial cisalhante (N);

A_s = Área da secção do pino (mm^2);

Obtém-se uma tensão de cisalhamento de 130,28 *MPa*. Uma vez que se dispõe da tensão de cisalhamento e da resistência admissível ao escoamento por cisalhamento calcula-se o fator de segurança pela equação 12.

$$FS_{cis} = \frac{s_{xy}}{\tau_{cis}} \quad (12)$$

Onde:

FS_{cis} = Fator de segurança no cisalhamento

O fator de segurança encontrado para o cisalhamento é de 1,705. Esse valor é admissível para o projeto, pois o pino deve atender a função de permitir a transmissão no sistema e ao mesmo tempo funcionar como um fusível mecânico.

Visto que o fator de segurança em relação ao cisalhamento já foi calculado, o fator de segurança em relação ao esmagamento deve ser encontrado. De acordo Budynas e Nisbett (2011), os valores exatos das forças que atuam no esmagamento de pinos e rebites são desconhecidos, no entanto assume-se que as componentes dessas forças sejam distribuídas uniformemente sobre a área projetada de contato com o pino. A consideração da área projetada funciona como um fator de segurança adicional uma vez que a área projetada será menor do que a área da superfície sujeita ao esmagamento. A área projetada de esmagamento do pino pode ser vista na Figura 38 e é fornecida pela equação 13.

$$A_{esm} = d_p \times h \quad (13)$$

Onde:

A_{esm} = Área de esmagamento do pino (mm^2);

d_p = Diâmetro do pino (mm);

h = Altura da secção esmagado (mm);

Calculando-se a área de esmagamento por meio do diâmetro do pino e da altura $h = 17,5 \text{ mm}$, encontra-se o valor de 175 mm^2 . Logo é possível encontrar a tensão de esmagamento σ_{esm} através da equação 14.

$$\sigma_{esm} = \frac{F_t}{A_{esm}} \quad (14)$$

Onde:

σ_{esm} = Tensão de esmagamento no pino (*MPa*);

A_{esm} = Área de esmagamento no pino (mm^2);

A tensão de esmagamento encontrada é de $\sigma_{esm} = 21,05 \text{ MPa}$. Com base nesse resultado calcula-se o fator de segurança ao esmagamento dado pela equação 15.

$$FS_{esm} = \frac{S_y}{\sigma_{esm}} \quad (15)$$

Onde:

FS_{esm} = Fator de segurança ao esmagamento

S_y = Resistência ao escoamento (MPa);

σ_{esm} = Tensão de esmagamento no pino (MPa);

O resultado para o fator de segurança em relação ao esmagamento é de 18,29. Assim como o fator de segurança ao cisalhamento esse fator também é aceitável, pois os dados de entrada, como o torque, já são calculados em relação a uma condição extrema de operação. Realizou-se uma avaliação separadamente do fator de segurança do eixo em relação a potência projetada, e o fator de segurança do eixo mostrou-se muito superior aos fatores encontrados para o pino elástico em relação ao cisalhamento e esmagamento. Portanto sabe-se que o eixo está superdimensionado em relação ao pino elástico.

Visto que o fator de segurança ao cisalhamento e ao esmagamento resultaram em valores aceitáveis, não foi proposto melhorias em relação a essa configuração do projeto. Logo a implementação de controles detectivos por cálculos analíticos garantem a confiabilidade desse pino elástico uma vez que a função requerida a ele será atendida.

Em virtude da aplicação de controles detectivos para o rolamento e para o pino elástico foi atualizado o formulário do Apêndice B para documentação do aprendizado adquirido com essa implementação.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme proposto no objetivo geral, o presente trabalho aborda o desenvolvimento do projeto adaptativo de um distribuidor de palhiço para a colheitadeira modelo TC57. Para a elaboração do distribuidor de palhiço foi pesquisado o método de desenvolvimento de projeto voltado a engenharia. Inicialmente foi buscado o máximo de informações a respeito do problema de distribuição desuniforme de palhiço. Essa pesquisa que compôs o projeto informacional também envolveu o estudo dos componentes pertinentes, do funcionamento e das melhores práticas de operação do distribuidor. Em seguida foi elaborado o projeto conceitual utilizando-se de técnicas como DFMEA, árvore de projeto e árvore de funções para o direcionamento do projeto. Finalmente desenvolveu-se a fase de projeto detalhado, onde foi modelado o projeto e implementado controles detectivos em relação ao pino elástico e ao rolamento próximo a polia do distribuidor.

Assim a implementação de método de desenvolvimento de projeto possibilitou a orientação para execução do projeto e ao mesmo tempo foi delimitado um procedimento iterativo de validação de componentes e subsistemas do projeto. A utilização de técnicas como a DFMEA consolidou a avaliação do projeto por analisar as falhas potenciais e seus efeitos, direcionando recursos e documentando o aprendizado do presente trabalho. Os controles detectivos implementados por meio de cálculos no conjunto de polia, eixo e mancal resultaram na proposta de modificação de posição do mancal junto do rolamento. Essa proposta de melhoria de projeto resultou em um aumento de 1050 horas na vida nominal do rolamento, equivalendo a durabilidade em aproximadamente uma safra a mais. Essa mudança de posição diminui o momento fletor e a carga radial sobre o rolamento, refletindo diretamente na vida do rolamento e em custos futuros em relação a manutenção do equipamento. O controle detectivo implementado em relação ao pino elástico garantiu a confiabilidade a esse componente responsável por uma parcela da transmissão mecânica. Os resultados encontrados para os fatores de cisalhamento e esmagamento, 1,705 e 18,29 respectivamente, reforçam o cumprimento da função requerida para esse componente. No entanto para validação total e aumento da confiabilidade do projeto faz-se necessário implementar outros controles preventivos e detectivos. Com a finalização do presente trabalho apresentou-se as melhorias propostas a usuários do agronegócio da região de Guarapuava.

Diante dos fatos apresentados, é possível desenvolver um projeto baseando-se em métodos, técnicas e diretrizes para elaboração de um equipamento. Dessa maneira, a

implementação de cálculos analíticos possibilita um controle detectivo que aumenta a confiabilidade do componente analisado.

Sugestões para trabalhos futuros:

- Realizar análise dinâmica de funcionamento para avaliar o comportamento do equipamento;
- Aplicar controle detectivo por meio de cálculo para dimensionamento da transmissão entre polias motora e movida;
- Realizar simulação em software CFD do escoamento do palhiço nas caixas espalhadoras junto aos rotores para avaliação deste projeto quanto a distribuição;
- Implementar controles preventivos e detectivos à outros componentes do projeto para aumento da confiabilidade do projeto;
- Confeccionar um protótipo do projeto para avaliação do desempenho do distribuidor por meio de ensaios in loco conforme Norma ANSI/ASAE S396.2;

REFERÊNCIAS

ALBERTA, M. E. **Equipment Issues In Crop Residue Management for Direct Seeding.** Revised November 1999. Disponível em: <[http://www1.agric.gov.ab.ca/\\$department/deptdocs.nsf/all/agdex1205](http://www1.agric.gov.ab.ca/$department/deptdocs.nsf/all/agdex1205)>. Acesso em: 21 maio 2018.

ASABE. **Engineering Principles of Agricultural Machines.** 2. ed. Michigan: Asabe - American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. 288 p. Disponível em: <https://www.asabe.org/media/207183/selections_from_eng._prin._agr._mach.pdf>. Acesso em: 20 maio 2018.

ASHBY, M. F. **Seleção de materiais no projeto mecânico.** Rio de Janeiro: Elsevier, 2012. 673 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462:** Confiabilidade e Manutenibilidade. Rio de Janeiro, 1994. 20 p. Disponível em: <https://www.gedweb.com.br/aplicacao/usuario/asp/resultado_avancado.asp?opc=16>. Acesso em: 06 jun. 2018.

BRASIL. Panorama do Agronegócio Brasileiro. **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2017. Disponível em: <http://www.agricultura.gov.br/assuntos/relacoes-internacionais/arquivos-das-publicacoes/laminas_0-ilovepdf-compressed.pdf/view>. Acesso em: 17 maio. 2018.

BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de Máquinas de Shigley:** Projeto de Engenharia Mecânica. 8. ed. Bookman e Mc Graw Hill: Porto Alegre, Brasil, 2011. 1084p.

COLLINS, J. A. **Projeto Mecânico de Elementos de Máquinas:** Uma Perspectiva de Prevenção da Falha, Rio de Janeiro: LTC, 2006. 740 p.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Calendário de Plantio e Colheita de Grãos no Brasil 2019.** Brasília, 2019. Disponível em: <<https://www.conab.gov.br/institucional/publicacoes/outras-publicacoes/item/7694-calendario-agricola-plantio-e-colheita>>. Acesso em: 12 nov. 2019.

CONTE, Osmar. **Dimensionamento de máquinas e regulagens de colhedoras:** Londrina: Embrapa, 2015. 73 slides, color. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/documents/1355202/1529289/Dimensionamento+de+m%C3%A1quinas+e+regulagens+de+colhedoras+++Osmar+Conte.pdf/b9d8a8ea-3734-62e6-1610-62af73296c1c>>. Acesso em: 15 out. 2019.

CRARY. **Cyclone Chaff Spreader.** 2009. Disponível em: <[http://www.crary.com/agriculture/harvesting/91/Cyclone - Chaff Spreaders.html](http://www.crary.com/agriculture/harvesting/91/Cyclone%20-%20Chaff%20Spreaders.html)>. Acesso em: 05 jun. 2018.

DEERE & COMPANY. **Premium straw chopper and residue management.** 2011. Disponível em:

<http://salesmanual.deere.com/sales/salesmanual/en_NA/combindes_headers/2012/feature/t670_combine/residue_disposal/premium_residue_system.html>. Acesso em: 31 maio 2018.

EMBRAPA. **Plantio Direto**. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - 2002. Disponível em:

<http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/milho/arvore/CONTAG01_72_59200523355.html#>. Acesso em: 14 abr. 2018.

Eurobolt. **Spring-type straight pins**. Disponível em: < <http://eurobolt.com.pl/en/250,din-7346--iso-13337-ko%C5%82ki-spr%C4%99%EF%BF%BDzyste-lekkie.html>>. Acesso em: 19 novembro. 2019.

FIALHO, Arivelto Bustamante. **Automação Hidráulica: Projetos, Dimensionamento e Análise de Circuitos**. 6. ed. São Paulo: Érica, 2014. 287 p.

FOGLIATTO, Falávio Sanson; RIBEIRO, José Luis Duarte. **Confiabilidade e manutenção industrial**. Rio de Janeiro: Editora Elsevier, 2009. 259 p.

FOLONI, José Salvador Simoneti et al. **EFEITOS DA FERTILIZAÇÃO NITROGENADA SOBRE A PRODUTIVIDADE E ACAMAMENTO DE TRIGO CULTIVADO SOBRE PALHADA DE SOJA E MILHO**. Londrina: Embrapa, 2015. Disponível em: <<https://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/1021387/1/2015solostrabalho158.pdf>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

GERINGHOFF. **Manejo da Palhada de Milho no Plantio Direto**. Ditzingen: Geringhoff University, 2016. Disponível em: <http://geringhoff.com.br/assets/01_manejo_da_palhada_do_milho_no_plantio_direto.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2018.

HEULING MASCHINENBAU. **Chaff spreader: Arbeitsweise des Spreuverteilers**. Disponível em: <<https://www.heuling.de/en/chaff-spreader.html>>. Acesso em: 05 jun. 2018.

HÖHER JÚNIOR, Alberto. **DESIGN DE UMA PENEIRA ROTATIVA PARA COLHEITADEIRA DE GRÃOS**. 2011. 134 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2011. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/39034/000822728.pdf?sequence=1>>. Acesso em: 15 out. 2019.

HOUAISS, Antônio. **Dicionário Houaiss da Língua Portuguesa**. Rio de Janeiro, Ed. Objetiva, 2001. 2922p.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção Agrícola Municipal 2018**. 2019. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/brasil/pr/guarapuava/pesquisa/14/10193?tipo=ranking&indicador=10370&ano=2018>>. Acesso em: 01 nov. 2019.

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION. **60050-192:2015: International Electrotechnical Vocabulary - Part 192: Dependability**. Geneva, 2015. 19 p. Disponível em: <<https://www.sis.se/api/document/preview/573439/>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 13337**: Spring-type straight pins — Slotted, light duty. Geneva, 2009.

JOHN DEERE. **Colheitadeiras Série S400**. Horizontina: Deere & Company, 2017a. Disponível em: <<https://www.deere.com.br/pt/magazines/publication.html?id=d49b962e#6>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

JOHN DEERE. **Colheitadeiras Série S600**. Horizontina: Deere & Company, 2017b. Disponível em: <<https://www.deere.com.br/pt/magazines/publication.html?id=007318e7#13>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

JUVINALL, Robert C.; MARSHEK, Kurt M.. **Fundamentos do Projeto de Componentes de Máquinas**. 4. ed. Rio de Janeiro: Ltc, 2008. 500 p.

KLEIN, Magnos Rodrigo. **DIMENSIONAMENTO DE UM SISTEMA HIDRÁULICO COM VAZÃO VARIÁVEL PARA ACIONAMENTO DO ESPALHADOR DE PALHA DE UMA COLHEITADEIRA DE GRÃOS**. 2014. 38 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Faculdade Horizontina, Horizontina, 2014. Disponível em: <http://www.fahor.com.br/images/Documentos/Biblioteca/TFCs/Eng_Mecanica/2014/Magnos_Rodrigo_Klein.pdf>. Acesso em: 11 nov. 2019.

KUNZ, Vilson L. et al. **Distribuição de palha por colhedoras autopropelidas na colheita da soja**. Cascavel: Conselho Editorial, 2007. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v28n1/a13v28n1.pdf>>. Acesso em: 18 maio 2018.

KUNZ, Vilson Luís. **DISTRIBUIÇÃO TRANSVERSAL DE PALHA POR COLHEDORAS AUTOPROPELIDAS NA CULTURA DA SOJA**. 2007. 49 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007. Disponível em: <<http://livros01.livrosgratis.com.br/cp035118.pdf>>. Acesso em: 15 jun. 2018.

LAMAS, Fernando Mendes. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - Embrapa. **A tecnologia na agricultura**. Brasília, 2017. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-noticias/-/noticia/30015917/artigo-a-tecnologia-na-agricultura>>. Acesso em: 31 maio 2018.

MASSAROPPI, Ernesto et al. **Dimensionamento de mancais de rolamentos**. São Carlos: USP, 2018. 24 slides, color. Disponível em: <https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/4681089/mod_resource/content/1/Aula%2012%20-%20Dimensionamento%20de%20rolamentos.pdf>. Acesso em: 12 nov. 2019.

MASSEY FERGUSON. **COLHEITADEIRAS HÍBRIDAS: MODELOS**. 2018. Folheto Técnico. Disponível em: <<http://www.masseyferguson.com.br/produtos/colheitadeiras/hibridas>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

MATWEB. **Aço AISI 1070, laminado a quente, 19-32 mm (0,75-1,25 pol.) Redondo**. Disponível em: <

<http://www.matweb.com/search/datasheet.aspx?MatGUID=9506f59dc73d41a7ab0da119f6775358>>. Acesso em: 19 novembro. 2019.

MESQUITA, Cezar de Mello; HERMANN, Paulo; BARTOLDI, Leonildo. Colhedoras de grãos e a colheita da soja. **Seednews**, Pelotas, v. 9, p.18-26, 01 jan. 1999. Disponível em: <<https://www.seednews.com.br/edicoes/artigo/2532-colhedoras-de-graos-e-a-colheita-da-soja-edicao-janeiro-1999>>. Acesso em: 15 out. 2019.

MOTT, Robert L.. **Elementos de Máquina Em Projetos Mecânicos**. 5. ed. São Paulo: Pearson, 2015. 920 p.

MOURA, Cândido. **Análise de Modo e Efeitos de Falha Potencial (fmea)**: Manual de referência. Iqa – Instituto da Qualidade Automotiva., 2000. Disponível em: <http://www.estgv.ipv.pt/PaginasPessoais/amario/Unidades_Curriculares/Inovação/Textos_apoio/FMEA.pdf>. Acesso em: 16 maio 2018.

NEVES, Marcos Fava. **Vai agronegócio! 25 anos cumprindo missão vitoriosa**. Ribeirão Preto: Editora Canaeste, 2016. 538 p. Disponível em: <<http://www.favaneves.org/wp-content/uploads/2016/12/vai-agronegocio-marcos-fava-neves.pdf>>. Acesso em: 12 abr. 2018.

NEW HOLLAND. **Manual do Operador: TC55 TC57**. Curitiba, PR. 2003. 195p.

NEW HOLLAND. **NEW HOLLAND CR: CR8070/CR8080/CR9070/CR9090**. 2012. Folheto Técnico. Disponível em: <<https://logismarketpt.cdnwm.com/ip/cnh-industrial-portugal-new-holland-ceifeira-debulhadora-catalogo-ceifeiras-new-holland-serie-cr>>

NORTON, Robert L.. **Projeto de Máquinas**: Uma abordagem integrada. 4. ed. Porto Alegre: Bookman, 2013. 1028 p.

NSK. **Catálogo dos Rolamentos NSK**. São Paulo: Nsk Brasil Ltda, 2013. Color. Disponível em: <[http://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK\(1\).pdf](http://www.nsk.com.br/upload/file/Cat%C3%A1logo%20Geral%20NSK(1).pdf)>. Acesso em: 17 nov. 2019.

NUÑEZ, David Lira. **MODELAGEM DO PROGNÓSTICO E GESTÃO DA SAÚDE DE MÁQUINAS MECÂNICAS NO CONTEXTO DE SISTEMAS CIBERFÍSICOS NA MANUFATURA**. 2017. 171 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2017. Disponível em: <<http://repositorio.utfpr.edu.br/jspui/handle/1/2870>>. Acesso em: 19 nov. 2019.

PAHL, Gerhard; BEITZ, Wolfgang. **Projeto na Engenharia**: Fundamentos do desenvolvimento. 6. ed. São Paulo: Blucher, 2005. 411 p.

PINTO, Alan Kardec; NASCIF, Julio. **Manutenção**: Função Estratégica. 4. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2015. 336 p.

ROZENFELD, Henrique et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos**: Uma referência para a melhoria do Processo. São Paulo: Saraiva, 2006. 542 p.

SAKURADA, Eduardo Yuji. **As técnicas de Análise dos Modos de Falhas e seus Efeitos e Análise da Arvore de Falhas no desenvolvimento e na avaliação de produtor**. 2001. 145 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001. Disponível em: <<https://repositorio.ufsc.br/handle/123456789/80128>>. Acesso em: 30 jun. 2018.

SIQUEIRA, Iony Patriota de. **Manutenção Centrada na Confiabilidade: Manual de Implementação**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009. 408 p.

SIQUEIRA, Rubens. **Milho: semeadoras - adubadoras para sistema plantio direto com qualidade**. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 2008. Disponível em: <[http://www.iapar.br/arquivos/File/semeadora-adubadora para sistema de plantio direto com qualidade.pdf](http://www.iapar.br/arquivos/File/semeadora-adubadora%20para%20sistema%20de%20plantio%20direto%20com%20qualidade.pdf)>. Acesso em: 14 abr. 2018.

SKF. **Rolamentos Y e acessórios SKF Energy Efficient**: São Paulo: Grupo Skf, 2015. Color. Disponível em: <https://www.skf.com/binary/82-244309/SKF-Energy-Efficient-Y-bearing---12759_4-PT-BR.pdf>. Acesso em: 18 nov. 2019.

SMITH, John A.. **G86-782 Distribution of Crop Residue A Requirement for Conservation Tillage**. Lincoln: Historical Materials From University Of Nebraska, 1986. 7 p. Disponível em: <<https://digitalcommons.unl.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=1715&context=extensionhist>>. Acesso em: 21 maio 2018.

SOCIETY OF AUTOMOBILE ENGINEERS. **SAE J1739: Potential Failure Mode and Effects Analysis in Design (Design FMEA), Potential Failure Mode and Effects Analysis in Manufacturing and Assembly Processes (Process FMEA)**, 2009.


TOLEDO, José Carlos de; AMARAL, Daniel Capaldo. **FMEA - Análise do Tipo e Efeito de Falha**. 2006. Disponível em: <<http://www.gepeq.dep.ufscar.br/arquivos/FMEA-APOSTILA.pdf>>. Acesso em: 16 maio 2018.

TOLOTTI, Fabrício Carboni. **ANÁLISE DO SISTEMA DE ESPALHAMENTO DE PALHA EM COLHEITADEIRAS DE GRÃOS**. 2018. 74 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Design, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2018. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/180116/001070119.pdf?sequence=1&isAllowed=y>>. Acesso em: 30 ago. 2019.


VALTRA. **Colheitadeiras Axiais Série 800: Tecnologia e confiabilidade**. 2018. Folheto Técnico. Disponível em: <<http://www.valtra.com.br/produtos/colheitadeiras/colheitadeiras-axiais>>. Acesso em: 07 jun. 2018.

WILDAUER, Egon Walter. **Projeto de Produto - FMEA - Parte 1**. Curitiba: Uninter, 2013. 19 slides, color. Disponível em: <http://ava.grupouninter.com.br/tead/CCDD2/ccdd_Pos/engProducao/engProdutoQfdFmeaDoe/t4/slides.pdf>. Acesso em: 01 out. 2019.

APÊNDICE A – FORMULÁRIO DFMEA DO SISTEMA COM ABORDAGEM *TOP-DOWN*

Sistema: Distribuidor de Palhiço		Responsável: Rafael Lucas Milla			
Tipo: DFMEA de Sistema		Abordagem: TOP-DOWN			
Subsistema	Função Requerida	Possível Modo de Falha	Possíveis Causas de Falha	Possível Efeito da Falha	SEV
Estrutura	Sustentar os elementos de transmissão	Deixar de sustentar e apoiar os componentes da transmissão	Flexão da estrutura viga	Estrutura desalinhada	3
			Ruptura ou afrouxamento dos parafusos de fixação da estrutura viga	1. Desalinhamento 2. Perda de transmissão dos elementos rotativos	8
			Flexão dos suportes fixadores	Estrutura desalinhada	3
			Ruptura ou afrouxamento dos parafusos dos suportes fixadores	1. Desalinhamento 2. Perda de transmissão dos elementos rotativos	8
			Ruptura ou soltura dos parafusos de fixação dos suportes laterais	Perda de transmissão dos elementos rotativos	8
	Estrutura bastante flexível	Flexão dos suportes Laterais	1. Desalinhamento 2. Desgaste prematuro da correia de transmissão Ruído	4	
	Sustentar a caixa espalhadora	Suportes não sustentam a caixa espalhadora	Ruptura ou soltura dos parafusos de fixação	1. Ruído 2. Interferência dos rotores com a caixa direcionadora	7
Isolar elementos rotativos do ambiente	Deixar de proteger o ambiente e a própria transmissão	Capa de proteção não isola a correia e as polias	Aumento da possibilidade de acidentes com operador	9	

Sistema: Distribuidor de Palhiço		Responsável: Rafael Lucas Milla			 <small>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</small>
Tipo: DFMEA de Sistema		Abordagem: TOP-DOWN			
Subsistema	Função Requerida	Possível Modo de Falha	Possíveis Causas de Falha	Possível Efeito da Falha	SEV
Transmissão	Transmitir torque da polia do saca- palhas até os rotores	Perda total de transmissão	Ruptura da correia	1. Inoperância do equipamento 2. Insatisfação do cliente	8
		Distância de lanço reduzida e má distribuição	Deslizamento da correia	1. Perda de produtividade 2. Desgaste prematuro da correia	7
		Perda total de transmissão	Ruptura/quebra da polia do saca-palha	1. Inoperância do equipamento 2. Insatisfação do cliente	8
		Perda total de transmissão	Fratura da chaveta	1. Inoperância do equipamento 2. Insatisfação do cliente	8
		Perda total de transmissão	Soltura da chaveta	1. Inoperância do equipamento 2. Insatisfação do cliente	8
		Perda total de transmissão	Ruptura/quebra da polia do distribuidor	1. Inoperância do equipamento 2. Insatisfação do cliente	8
		Perda total de transmissão	Cisalhamento ou esmagamento do pino elástico da polia do distribuidor	1. Inoperância do equipamento 2. Insatisfação do cliente 3. Ruído	8
		Perda total de transmissão	Soltura do pino trava da polia do distribuidor	1. Inoperância do equipamento 2. Insatisfação do cliente 3. Ruído	8
		Perda total de transmissão	Fratura do eixo da polia do distribuidor	1. Inoperância do equipamento 2. Insatisfação do cliente	8

Sistema: Distribuidor de Palhiço		Responsável: Rafael Lucas Milla			
Tipo: DFMEA de Sistema		Abordagem: TOP-DOWN			
Subsistema	Função Requerida	Possível Modo de Falha	Possíveis Causas de Falha	Possível Efeito da Falha	SEV
Transmissão	Transmitir torque da polia do saca- palhas até os rotores	Perda total de transmissão	Fratura do eixo entre as caixas de transmissão	1. Inoperância do equipamento 2. Insatisfação do cliente	8
		Perda total de transmissão	Ruptura/quebra das luvas de acoplamento	1. Inoperância do equipamento 2. Insatisfação do cliente	8
		Folga na Transmissão	Desgaste das luvas de acoplamento	1. Vibração 2. Ruído do equipamento em operação	4
		Perda parcial ou total de transmissão	Quebra dos parafusos de fixação das luvas aos eixos	1. Perda de produtividade 2. Inoperância de um ou dois rotores	8
		Perda de eficiência na transmissão	Desgaste do rolamento de suporte da polia	1. Vibração 2. Ruído do equipamento em operação	4
		Perda de eficiência na transmissão	Desgaste do mancal do rolamento	1. Vibração 2. Ruído do equipamento em operação	5
		Perda de eficiência na transmissão/ Possível Inoperância	Quebra/soltura dos parafusos do mancal	1. Vibração e Ruído 2. Deslizamento da correia 3. Inoperância do equipamento	7


Sistema: Distribuidor de Palhão		Responsável: Rafael Lucas Milla			
Tipo: DFMEA de Sistema		Abordagem: TOP-DOWN			
Subsistema	Função Requerida	Possível Modo de Falha	Possíveis Causas de Falha	Possível Efeito da Falha	SEV
Transmissão	Transmitir torque da polia do saca-palhas até os rotores	Eixo da caixa de transmissão não transmite torque para rotor	Quebra/soltura do parafuso do rotor	1. Vibração e Ruído 2. Inoperância do rotor	8
		Perda de suporte dos componentes da caixa de transmissão	Quebra da carcaça da caixa de transmissão	1. Vibração e Ruído 2. Inoperância do equipamento	8
		Perda de eficiência na transmissão	Desgaste dos rolamentos da caixa de transmissão	1. Vibração e Ruído	4
		Perda total de transmissão de um ou dois rotores	Quebra do pino trava da engrenagem cônica	1. Inoperância do equipamento 2. Insatisfação do cliente	8
		Perda total de transmissão de um ou dois rotores	Quebra da chaveta engrenagem cônica	1. Inoperância do equipamento 2. Insatisfação do cliente	8
		Redução de eficiência e folga na transmissão	Quebra/Soltura Anel elástico	1. Vibração e Ruído 2. Inoperância do equipamento	8
		Redução de eficiência e folga na transmissão	Desgaste das engrenagens cônicas	1. Vibração e Ruído 2. Perda de eficiência na transmissão	6
		Interrupção da transmissão	Quebra das engrenagens cônicas	1. Perda total de transmissão de um ou dois rotores 2. Insatisfação do cliente	8


Sistema: Distribuidor de Palhiço		Responsável: Rafael Lucas Milla			
Tipo: DFMEA de Sistema		Abordagem: TOP-DOWN			
Subsistema	Função Requerida	Possível Modo de Falha	Possíveis Causas de Falha	Possível Efeito da Falha	SEV
Transmissão	Transmitir torque da polia do saca- palhas até os rotores	Redução de eficiência e folga na transmissão	Desgaste dos anéis calço de montagem	1.Vibração e ruído 2. Desgaste prematuro dos componentes de cada caixa de transmissão	5
		Interrupção da transmissão	Fratura dos eixos da caixa de transmissão	1. Perda total de transmissão de um ou dois rotores	8
		Redução de eficiência e folga na transmissão	Desgaste dos eixos da caixa de transmissão	1. Vibração e ruído 2. Desgaste prematuro dos componentes de cada caixa de transmissão	5
		Ruído excessivo da transmissão	Graxa contaminada por poeira/ Perda de graxa/ má vedação da tampa da caixa de transmissão	Desgaste prematuro dos rolamentos e engrenagens	5


Sistema: Distribuidor de Palhiço		Responsável: Rafael Lucas Milla			 <small>UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ</small>
Tipo: DFMEA de Sistema		Abordagem: TOP-DOWN			
Subsistema	Função Requerida	Possível Modo de Falha	Possíveis Causas de Falha	Possível Efeito da Falha	SEV
Caixa espalhadora	Distribuir o palhiço trasversalmente	Espalhamento desuniforme	Angulação da caixa direcionadora	Baixa produtividade e eficiência reduzida	6
		Espalhamento desuniforme	Design de pás	Desempenho reduzido	6
		Palhiço proveniente do meio da peneira não é distribuído	Defletor central com ângulo de escoamento incorreto	Acúmulo de material na região central	6
		Acúmulo de material nas bordas da caixa direcionadora	Design da caixa direcionadora	Baixa produtividade e eficiência reduzida	6
		Espalhamento desuniforme	Angulação das pás em relação ao prato do rotor	Baixa produtividade e eficiência reduzida	6
		Distribuição com perda no desempenho	Flexão das pás	Baixa produtividade e eficiência reduzida	7
		Distribuição com perda no desempenho	Desgaste do prato do rotor	Baixa produtividade e eficiência reduzida	7


Sistema: Distribuidor de Palhiço		Responsável: Rafael Lucas Milla			
Tipo: DFMEA de Sistema		Abordagem: TOP-DOWN			
Subsistema	Função Requerida	Possível Modo de Falha	Possíveis Causas de Falha	Possível Efeito da Falha	SEV
Caixa espalhadora	Proporcionar um espalhamento uniforme	Distribuição com perda no desempenho	Desgaste da pás	Insatisfação do cliente	7
		Colisão do rotor com a caixa direcionadora	Flexão do prato do rotor	1. Vibração e ruído 2. Insatisfação do cliente	6
		Distribuição com perda no desempenho	Quebra ou soltura dos parafusos que fixam a pá	1. Vibração e ruído 2. Baixa produtividade	7
	Direcionar palhiço para região do rotor	Palhiço não permanece na caixa espalhadora até posição final de lançamento	Desgaste da caixa direcionadora	1. Baixa produtividade 2. Eficiência reduzida na distribuição	7
		Colisão do rotor com a caixa direcionadora	Soltura/ Ruptura dos parafusos que fixam a caixa direcionadora	1. Vibração e ruído 2. Possível inoperância do equipamento	7


**APÊNDICE B – FORMULÁRIO DFMEA DO SUBSISTEMA TRANSMISSÃO COM
ABORDAGEM *BOTTOM-UP***


Sistema: Distribuidor de Palhiço		Subsistema: Transmissão		Responsável: Rafael Lucas Milla							
Tipo: DFMEA de Subsistema		Abordagem: BOTTOM-UP		Versão: DDP-T-007							
Elemento	Função requerida	Possível Modo de Falha	Possível Efeito da Falha	SEV	Potenciais Causas da Falha			OCC	Ações Preventivas	Ações detectivas	DET
Correia	Transmitir torque entre as polias do saca-palha e do distribuidor	Rachaduras	Vibração e deslizamento	7	Tempo de uso	4	1. Seguir recomendações do fabricante da correia 2. Prática periódica de vistoria das condições de conservação e tensionamento	1. Criação do conjunto polias e correia em software CAD através da referenia de engenharia 2. Seleção de correia e realização de cálculos conforme NORTON (2013) e Budynas e Nisbett (2011) 3. Utilizar software do fabricante da correia para seleção da correia e polias padronizadas	3	84	
			Vibração e deslizamento	7	Elevada temperatura	4			3	84	
			Desgaste prematuro	4	Material da correia incorreto	3			3	36	
		Deslizamento/derrapagem	Perda de torque e eficiência/ aquecimento da correia	6	1. Tensão insuficiente 2. Polia gasta 3. Incrustação de poeira do processo	4			3	3	72
			Ruído/ desgaste prematuro	5	Material da correia incorreto	4				3	60
		Cortes na lateral	Desgaste prematuro/ ruído e vibração	5	Polia fora dos padrões da correia	2			2	3	30
		Ruptura	Perda de transmissão / Inoperância	8	Dimensionamento incorreto da correia	4			4	3	96
Polia do Saca-Palha	Transmitir movimento do eixo do saca-palha para a polia do distribuidor	Ruptura/ Quebra	Perda total de transmissão	8	1. Impacto 2. Esforço excessivo 3. Torque excessivo	3	Utilizar proteção de correia conforme Norma NR12	3	72		
		Deslizamento com a correia	Perda de torque e eficiência/ aquecimento da correia	7	1. Ângulo de abraçamento insuficiente	4	Aplicação da metodologia de seleção de correia conforme NORTON (2013)	3	84		
		Desalinhamento	Perda de torque e eficiência/ aquecimento da correia/ desgaste prematuro da correia	7	1. Correia muito tensionada 2. Eixo desalinhado	4	Seguir recomendações do fabricante da correia	3	84		
Chaveta da polia do saca palha	Travar o movimento relativo entre polia e eixo permitindo a transmissão de torque	Fratura da chaveta	Perda total de transmissão de torque para o distribuidor de palhiço	8	1. Impacto 2. Esforço excessivo 3. Torque excessivo	3	Utilização de chaveta conforme a Norma DIN 6885-1 A	1. Simulação de esforços em software CAD e CAE 2. Realizar cálculo de cisalhamento e esmagamento conforme NORTON (2013) e Budynas e Nisbett (2011)	4	96	
		Soltura	Perda total de transmissão de torque para o distribuidor de palhiço	7	1. Desgaste 2. Montagem incorreta	3			4	84	
	Evitar a falha do eixo ou polia, falhando antes dos mesmos (fusível mecânico)	Em caso de sobrecarga, não falha e compromete os componentes críticos	8	Quebra e dano a componentes mais críticos	8	Material da chaveta possui dureza maior do que material do eixo e polia			3	4	96


Sistema: Distribuidor de Palhiço		Subsistema: Transmissão		Responsável: Rafael Lucas Milla						
Tipo: DFMEA de Subsistema		Abordagem: BOTTOM-UP		Versão: DDP-T-007						
Elemento	Função requerida	Possível Modo de Falha	Possível Efeito da Falha	S E V	Potenciais Causas da Falha	O C C	Ações Preventivas	Ações detectivas	D E T	N P R
Polia do distribuidor	Transmitir movimento da polia do saca palha para o eixo do distribuidor	Ruptura/ Quebra	Perda total de transmissão de torque para eixo e caixa de transmissão	8	1.Impacto 2.Esforço excessivo 3.Torque excessivo	3	Utilização de proteção de correia e polias	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação	3	72
		Deslizamento com a correia	Perda de torque e eficiência/ aquecimento da correia	7	1. Ângulo de abraçamento insuficiente	4	Aplicação da metodologia de seleção de correia conforme NORTON (2013)	2.Utilizar software do fabricante da correia para seleção da correia e polias padronizadas	3	84
		Desalinhamento	Perda de torque e eficiência/ aquecimento da correia/ desgaste prematuro da correia	7	1. Correia muito tensionada 2. Eixo desalinhado	4	Seguir recomendações do fabricante da correia		3	84
Pino elástico da polia do distribuidor	Travar o movimento relativo entre polia e eixo permitindo a transmissão de torque	Cisalhamento do pino	Perda total de transmissão de torque da polia para o eixo e consequentemente para os rotores de distribuição	8	1.Impacto 2.Esforço excessivo 3.Torque excessivo	3	Utilização de pino elástico conforme a ISO 13337 (2009)	1. Simulação de esforços 2. Ensaio de cisalhamento 3. Cálculo analítico do fator de segurança para cisalhamento e esmagamento 4.Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação	3	72
		Soltura		8	1.Desgaste 2. Montagem incorreta	4			3	96
		Esmagamento do pino		8	1.Impacto 2.Esforço excessivo 3.Torque excessivo	3			3	72
		Em caso de sobrecarga, não falha e compromete outros componentes	8	Material da chaveta possui dureza maior do que material do eixo e polia	3	3			72	
Eixo da conexão da Polia com Caixa de transmissão	Transmitir torque da polia para as caixas de transmissão	Fratura do eixo	Perda total de transmissão de torque para caixas de transmissão consequentemente para os rotores de distribuição	8	1. Fadiga do eixo 2.Impacto 3.Esforço excessivo 4.Torque excessivo	3	Aplicação da metodologia para seleção de materiais conforme (ASHBY, 2012)	Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação	3	72


Sistema: Distribuidor de Palhiço		Subsistema: Transmissão		Responsável: Rafael Lucas Milla					D	N		
Tipo: DFMEA de Subsistema		Abordagem: BOTTOM-UP		Versão: DDP-T-007							E	P
Elemento	Função requerida	Possível Modo de Falha	Possível Efeito da Falha	S E V	Potenciais Causas da Falha	O C C	Ações Preventivas					
Luva 1	Conectar eixo ao eixo da caixa de transmissão e transmitir torque	Ruptura/Quebra	Perda total de transmissão de torque para rotores	8	1. Impacto 2. Esforço excessivo 3. Torque excessivo	3	Estudo das propriedades físicas do material e caso necessário aplicação da metodologia para seleção de matérias conforme (ASHBY, 2012)	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Ensaio de torção 3. Simulação de esforços	3	72		
		Desgaste	Ruído e vibração	5	1. Esforço excessivo 2. Folga dos parafusos travantes	4	Troca periódica das luvas		3	60		
Luva 2	Conectar eixo da caixa de transmissão ao eixo do meio	Ruptura/Quebra	Perda de transmissão de torque para rotor direito (Funcionando 50%)	8	1. Impacto 2. Esforço excessivo 3. Torque excessivo	3	Estudo das propriedades físicas do material e caso necessário aplicação da metodologia para seleção de matérias conforme (ASHBY, 2012)		1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Ensaio de torção 3. Simulação de esforços	3	72	
		Desgaste	Ruído e vibração	5	1. Esforço excessivo 2. Folga dos parafusos travantes	4	Troca periódica das luvas			3	60	
Luva 3	Conectar eixo do meio ao eixo da caixa de transmissão e transmitir torque	Ruptura/Quebra	Perda de transmissão de torque para rotor direito (Funcionando 50%)	8	1. Impacto 2. Esforço excessivo 3. Torque excessivo	3	Estudo das propriedades físicas do material e caso necessário aplicação da metodologia para seleção de matérias conforme (ASHBY, 2012)			1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Ensaio de torção 3. Simulação de esforços	3	72
		Desgaste	Ruído e vibração	5	1. Esforço excessivo 2. Folga dos parafusos travantes	4	Troca periódica das luvas				3	60

Sistema: Distribuidor de Palhiço		Subsistema: Transmissão		Responsável: Rafael Lucas Milla				 UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ	D	E	N				
Tipo: DFMEA de Subsistema		Abordagem: BOTTOM-UP		Versão: DDP-T-007								T	P	R	
Elemento	Função requerida	Possível Modo de Falha	Possível Efeito da Falha	S	Potenciais Causas da Falha	O	Ações Preventivas								Ações detectivas
Parafusos da Luva 1	Travar o movimento relativo entre luva e eixo	Quebra	Perda total de transmissão de torque para rotores	8	1.Impacto 2.Esforço excessivo 3.Torque excessivo	3	Utilização de Pinos/Parafusos elástico sólidos conforme a Norma. Utilização de porcas auto-travantes, contra-porca ou porca castelo.	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Ensaio de cisalhamento 3. Simulação de esforços	3	72					
			Ruído	3		3			27						
Parafusos da Luva 2	Travar o movimento relativo entre luva e eixo	Quebra	Perda de transmissão de torque para rotor direito (Funcionando 50%)	8	1.Impacto 2.Esforço excessivo 3.Torque excessivo	3			Utilização de Pinos/Parafusos elástico sólidos conforme a Norma. Utilização de porcas auto-travantes, contra-porca ou porca castelo.	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Ensaio de cisalhamento 3. Simulação de esforços	3	72			
			Ruído	3		3					27				
Parafusos da Luva 3	Travar o movimento relativo entre luva e eixo	Quebra	Perda de transmissão de torque para rotor direito (Funcionando 50%)	8	1.Impacto 2.Esforço excessivo 3.Torque excessivo	3					Utilização de Pinos/Parafusos elástico sólidos conforme a Norma. Utilização de porcas auto-travantes, contra-porca ou porca castelo.	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Ensaio de cisalhamento 3. Simulação de esforços	3	72	
			Ruído	3		3							27		
Eixo ligação entre Gearbox	Transmitir torque do eixo da caixa de engrenagem esquerda para o eixo da caixa de engrenagem direita	Ruptura/Quebra	Perda de transmissão de torque para rotor direito (Funcionando 50%)	8	1.Impacto 2.Esforço excessivo 3.Torque excessivo	3	Estudo das propriedades físicas do material e caso necessário aplicação da metodologia para seleção de materias conforme (ASHBY, 2012)	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Ensaio de Torção 3. Simulação de esforços					4	96	
			Ruído	3		3							36		
Parafusos da Luva 1	Travar o movimento relativo entre luva e eixo	Soltura	Folga e posterior perda total de transmissão de torque para rotor	7	1. Vibração excessiva 2. Defeito na rosca	4			Utilização de Pinos/Parafusos elástico sólidos conforme a Norma. Utilização de porcas auto-travantes, contra-porca ou porca castelo.	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Ensaio de cisalhamento 3. Simulação de esforços			3	84	
			Parafusos da Luva 2	Soltura		Folga e posterior perda total de transmissão de torque para rotor							7	1. Vibração excessiva 2. Defeito na rosca	4
Parafusos da Luva 3	Soltura	Folga e posterior perda total de transmissão de torque para rotor	7		1. Vibração excessiva 2. Defeito na rosca	4					Utilização de Pinos/Parafusos elástico sólidos conforme a Norma. Utilização de porcas auto-travantes, contra-porca ou porca castelo.	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Ensaio de cisalhamento 3. Simulação de esforços	3		84
Eixo ligação entre Gearbox		Ruptura/Quebra	Folga e posterior perda total de transmissão de torque para rotor	7		1. Vibração excessiva 2. Defeito na rosca							4	Utilização de Pinos/Parafusos elástico sólidos conforme a Norma. Utilização de porcas auto-travantes, contra-porca ou porca castelo.	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Ensaio de cisalhamento 3. Simulação de esforços

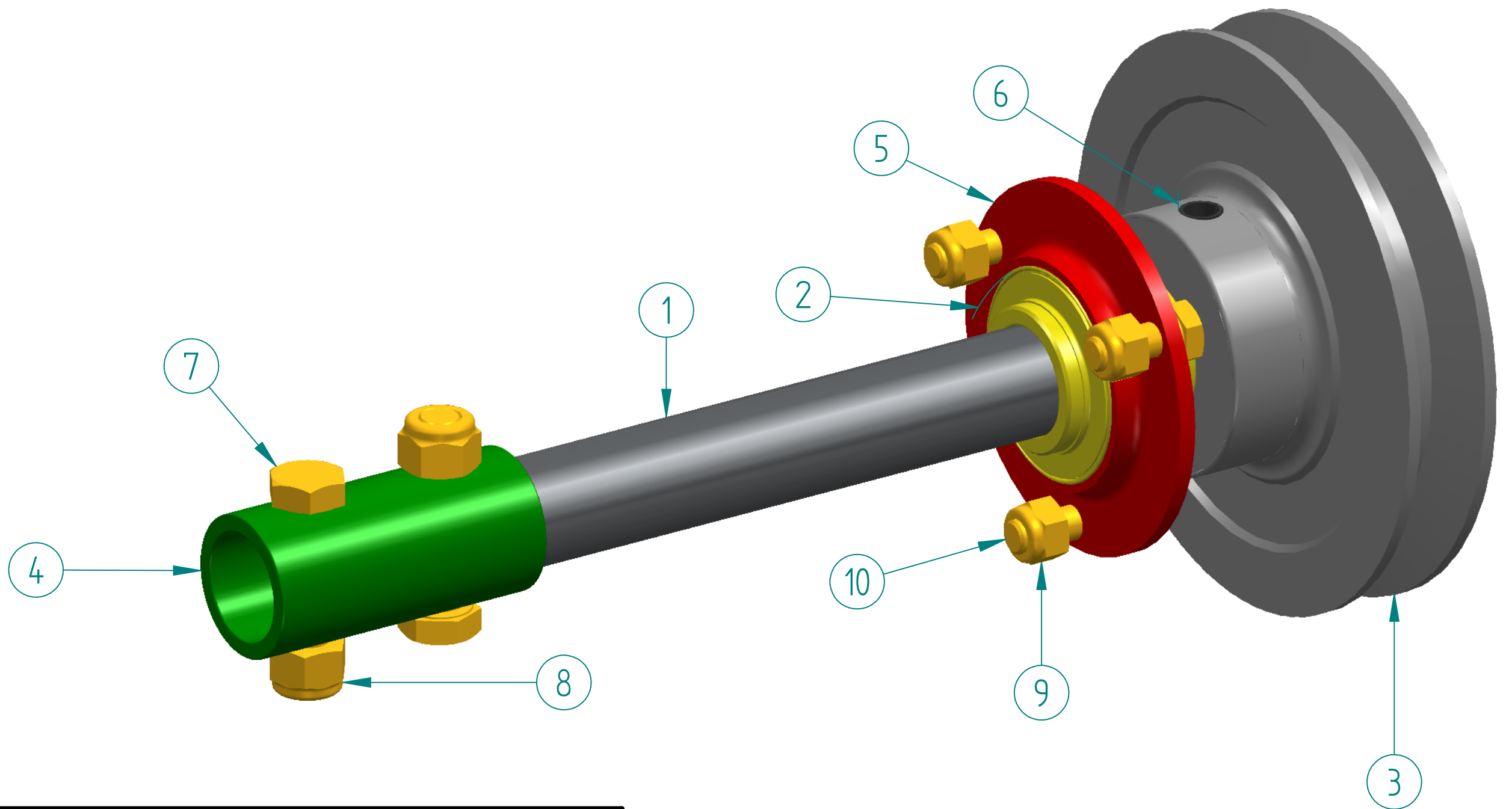
Sistema: Distribuidor de Palhiço		Subsistema: Transmissão		Responsável: Rafael Lucas Milla				 UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		
Tipo: DFMEA de Subsistema		Abordagem: BOTTOM-UP		Versão: DDP-T-007						
Elemento	Função requerida	Possível Modo de Falha	Possível Efeito da Falha	SEV	Potenciais Causas da Falha	OC	Ações Preventivas	Ações detectivas	DET	NPR
Rolamento UC205	Minimizar a fricção entre as peças móveis da transmissão e suportar as carga impostas pelo sistema	Desgaste	Ruído / Perda de eficiência a transmissão	6	Lubrificação inadequada	5	Lubrificação regular nos períodos de safra conforme recomendação do fabricante Troca periódica Evitar contato com umidade nos períodos de entre-safra	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Análise de vibração 3. Realizar cálculos da vida nominal	3	90
			Ruído e vibração / Perda de eficiência a transmissão	6	Desalinhamento	4			3	72
			Ruído / Perda de eficiência a transmissão	6	Contaminação	5			3	90
			Ruído /Perda de eficiência a transmissão	6	Erros de montagem	4			3	72
			Vibração	4		4			3	48
			Desgaste prematuro da correia	4		4			3	48
Mancal de chapa	Apoiar e fixar o rolamento	Desgaste	Ruído	4	1.Tempo de uso 2.Rolamento preso	4	1. Utilização de mancais conforme a Norma ABNT - NBR 4378 2. Utilizar mancal recomendado para rolamento UC205	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Análise dos esforços por FEA	3	48
			Vibração	4		4			3	48
			Desgaste prematuro da correia	4		4			3	48
		Ruptura/Quebra	Possível perda da transmissão	8	1. Fadiga 2.Rolamento preso	4			3	96
			Ruído e Vibração	4		4			3	48
			Desgaste prematuro da correia	4		4			3	48
Parafusos do mancal	Fixar as duas partes do mancal e dar sustentação ao rolamento	Quebra	Desalinhamento da correia devido perda de sustentação do rolamento que ocasionará perda de transmissão para polia do distribuidor	8	1.Impacto 2.Esforço excessivo 3.Torque excessivo	3	Utilização de Pinos/Parafusos elásticos sólidos conforme a Norma. Reaperto regular Utilização de porcas auto-travantes, contra-porca ou porca castelo.	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2.Ensaio mecânico dos parafusos	3	72
			Ruído	4		3			3	36
		Soltura	Folga com desalinhamento da correia e posterior perda de sustentação do rolamento que ocasionará perda de transmissão para polia do distribuidor	7	1. Montagem incorreta 2. Defeito na rosca	4			3	84
			Ruído	4		4			3	48

Sistema: Distribuidor de Palhão		Subsistema: Transmissão		Responsável: Rafael Lucas Milla						
Tipo: DFMEA de Subsistema		Abordagem: BOTTOM-UP		Versão: DDP-T-007						
Elemento	Função requerida	Possível Modo de Falha	Possível Efeito da Falha	S E V	Potenciais Causas da Falha	O C C	Ações Preventivas	Ações detectivas	D E T	N P R
Parafuso esquerdo eixo - rotor	Travar movimento relativo entre eixo da caixa de transmissão e o rotor	Quebra/ Desgaste	Perda total de transmissão de torque para rotor	8	1.Impacto 2.Esforço excessivo 3.Torque excessivo	3	Utilização de Pinos/Parafusos elásticos sólidos conforme a Norma. Utilização de porcas auto-travantes, contra-porca ou porca castelo.	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2.Ensaio mecânico dos parafusos	3	72
			Ruído	4	3	3			36	
		Soltura	Folga e posterior perda total de transmissão de torque para rotor	7	1. Montagem incorreta 2. Defeito na rosca	4			3	84
Parafuso direito eixo - rotor	Travar movimento relativo entre eixo da caixa de transmissão e o rotor	Quebra/ Desgaste	Perda total de transmissão de torque para rotor	8	1.Impacto 2.Esforço excessivo 3.Torque excessivo	3			3	72
			Ruído	4	3	3			36	
		Soltura	Folga e posterior perda total de transmissão de torque para rotor	7	1. Montagem incorreta/aperto 2. Defeito na rosca	4			3	84
Carcça (caixa)	Dar suporte para todos os componentes mecânicos e	Ruptura/ Quebra	Perda total de transmissão de torque para o distribuidor de palhão	8	1.Impacto 2.Esforço excessivo 3.Torque excessivo	3	Consulta ao manual do fabricante	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Simulação de esforços na caixa	3	72
Tampa	Permitir a abertura da caixa para manutenção/montagem e reposição/vedação da graxa	Tampa não veda a graxa	Perda de graxa e lubrificação afetada Entrada de sujeira/pó nas engrenagens	4	1. Parafusos soltos 2. Tampa curvada	4	Utilização de retentor de borracha de Nitrilo Butadieno (NBR)	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação	3	48
		Tampa não abre	Emperramento dos parafusos e abertura da tampa será impossibilitada	4	Parafusos com corrosão	2	Montagem dos parafusos com lubrificante		3	24
Parafusos da tampa	Fixar tampa na carcaça	Soltura	Perda de graxa e lubrificação afetada Entrada de sujeira/pó nas engrenagens	4	1.Montagem incorreta 2. Vibração excessiva	3	1. Utilização de parafusos normatizados 2. Vistoria periódica da quantidade de graxa e aperto dos parafusos		3	36
		Quebra	Tampa não veda	4	1. Aperto excessivo na montagem 2.Corrosão	3			3	36

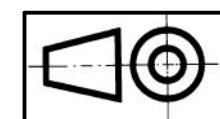
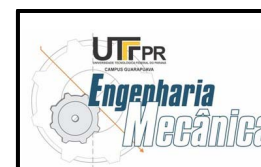
Sistema: Distribuidor de Palhiço		Subsistema: Transmissão		Responsável: Rafael Lucas Milla				 UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ				
Tipo: DFMEA de Subsistema		Abordagem: BOTTOM-UP		Versão: DDP-T-007								
Elemento	Função requerida	Possível Modo de Falha	Possível Efeito da Falha	S E V	Potenciais Causas da Falha	O C C	Ações Preventivas	Ações detectivas	D E T	N P R		
Rolamentos do eixo 1	Minimizar a fricção entre as peças móveis da transmissão e suportar as carga impostas pelo sistema	Desgaste	Ruído Folga no eixo	5	Lubrificação inadequada	2	Lubrificação regular nos períodos de safra conforme recomendação do fabricante Troca periódica Utilização de rolamentos blindados Evitar contato com umidade nos períodos de entre-safra	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Análise de vibração 3. Simulação de esforços	3	30		
				5	Desalinhamento	3			3	45		
				5	Contaminação	4			3	60		
				5	Erros de montagem	3			3	45		
Rolamentos do eixo 2	Minimizar a fricção entre as peças móveis da transmissão e suportar as carga	Desgaste	Ruído Folga no eixo	5	Lubrificação inadequada	2			Lubrificação regular nos períodos de safra conforme recomendação do fabricante Troca periódica Utilização de rolamentos blindados Evitar contato com umidade nos períodos de entre-safra	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Análise de vibração 3. Simulação de esforços	3	30
				5	Desalinhamento	3					3	45
				5	Contaminação	4					3	60
				5	Erros de montagem	3					3	45
Pino trava conica 1	Travar o movimento relativo entre polia e eixo permitindo a transmissão de torque	Fratura do pino	Perda de transmissão de torque para o respectivo rotor	8	1.Impacto 2.Esforço excessivo 3.Torque excessivo	3	Utilização de pino elástico conforme a Norma DIN 1481 ou ISO13337	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Ensaio de cisalhamento 3. Simulação de esforços			3	72
		Soltura	Perda de transmissão de torque para o respectivo rotor	8	1.Desgaste 2. Montagem incorreta	3					3	72
		Em caso de sobrecarga, não falha e compromete os componentes críticos	Quebra e dano a componentes mais críticos	8	Material do pino possui dureza e resistência maior que eixo e engrenagem	3					3	72

Sistema: Distribuidor de Palhiço		Subsistema: Transmissão		Responsável: Rafael Lucas Milla				 UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ		
Tipo: DFMEA de Subsistema		Abordagem: BOTTOM-UP		Versão: DDP-T-007						
Elemento	Função requerida	Possível Modo de Falha	Possível Efeito da Falha	S E V	Potenciais Causas da Falha	O C C	Ações Preventivas	Ações detectivas	D E T	N P R
Chaveta conica 2	Travar o movimento relativo entre polia e eixo permitindo a transmissão de torque	Fratura da chaveta	Perda de transmissão de torque para o respectivo rotor	8	1.Impacto 2.Esforço excessivo 3.Torque excessivo	3	Utilização de chaveta conforme a Norma DIN 6885-1 A	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Simulação de esforços em software CAD e CAE	3	72
		Soltura	Perda de transmissão de torque para o respectivo rotor	8	1.Desgaste 2. Montagem incorreta	3			3	72
		Em caso de sobrecarga, não falha e compromete os componentes críticos	Quebra e dano a componentes mais críticos	8	Material da chaveta possui dureza maior do que material do eixo e polia	3			3	72
Anel elástico	Evitar deslocamento axial do rolamento	Quebra	Soltura do rolamento Vibração e Ruído	7	Esforço axial excessivo	3	Utilização de anel elástico conforme a Norma DIN 472		3	63
		Soltura		7	Montagem incorreta	2			3	42
Anel calço 5 mm	Ajustar a montagem entre eixo e engrenagem	Desgaste	Folga entre engrenagens e engrenamento irregular	5	Esforço axial excessivo Material do anel de encosto	3	1. Utilização de arruela de encosto conforme Norma DIN 988 2. Troca durante revisão periódica	1. Equipamento já foi validado sob condições semelhantes de operação 2. Simulação de esforços em software	2	30
Anel calço 7 mm				5		3			2	30

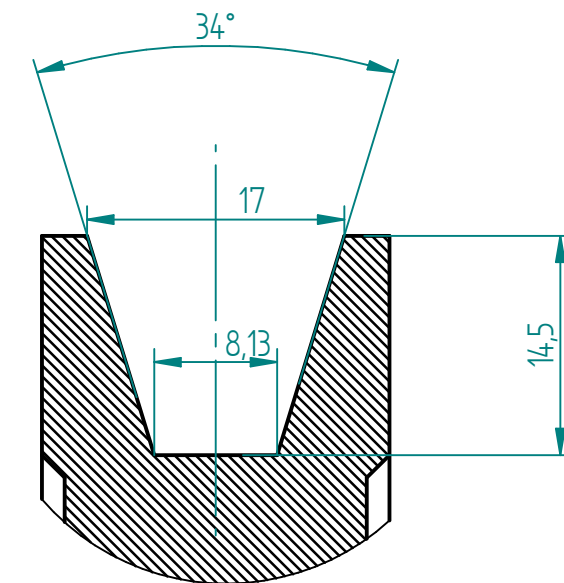
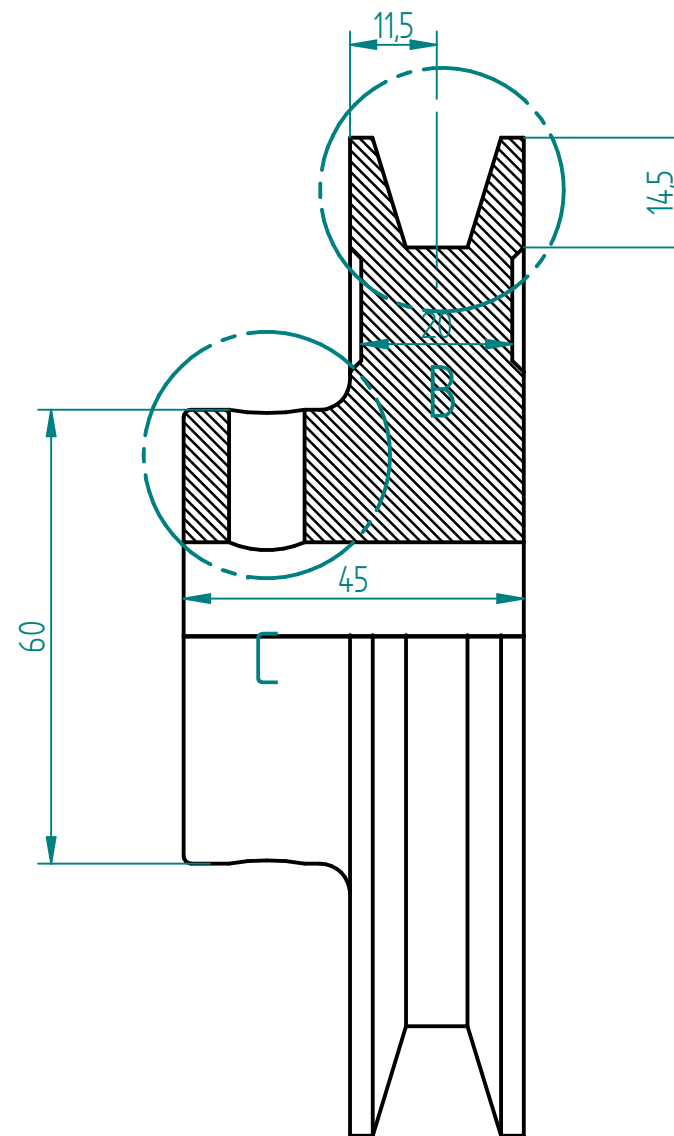
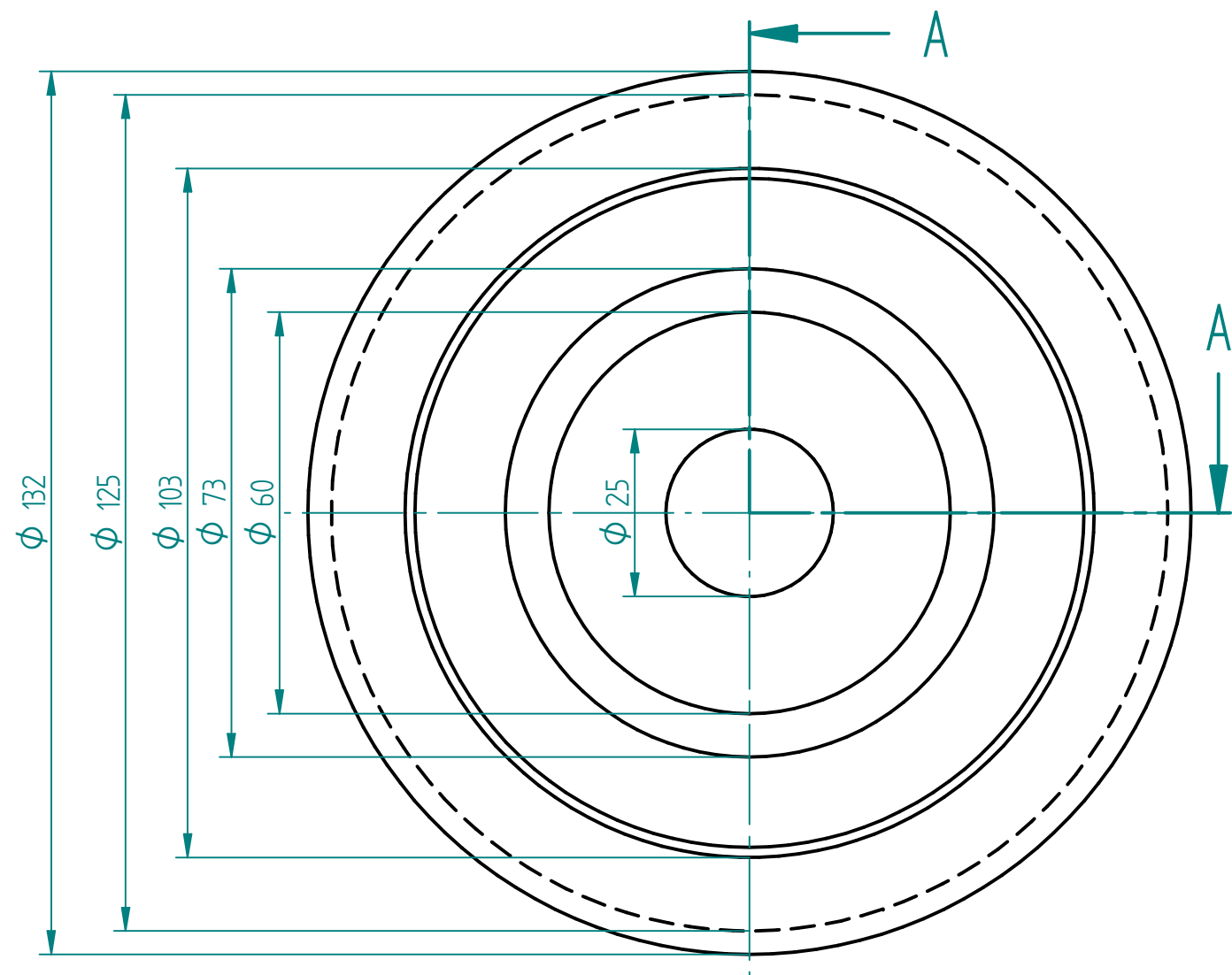
APÊNDICE C - DETALHAMENTO DO CONJUNTO EIXO, POLIA, LUVA E LISTA DE PEÇAS



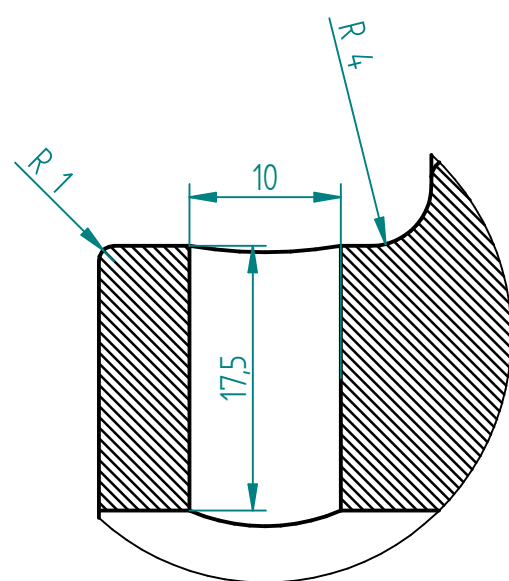
Peça	Descrição	Referência	Material	Qtd.
1	Eixo da Polia	EIX001DDP	Aço estrutural	1
2	Rolamento UC205	UC205	Aço Temperado	1
3	Polia do distribuidor	POL003DDP	Ferro Fundido cinzento 20	1
4	Luva de Acoplamento	LUV004DDP	Aço estrutural	1
5	Mancal tensor de chapa	PF205	Aço estampado	2
6	Pino elástico	ISO13337	Aço AISI 1070	1
7	Parafuso M10 x 45	ISO4017- M10 x 45	Aço carbono	2
8	Porca M10 x 10	ISO7040 - M10 x 10	Aço carbono	2
9	Porca M8 x 10	ISO7040 - M8 x 10	Aço carbono	3
10	Parafuso M8 x 20	ISO4017- M8 x 20	Aço carbono	3



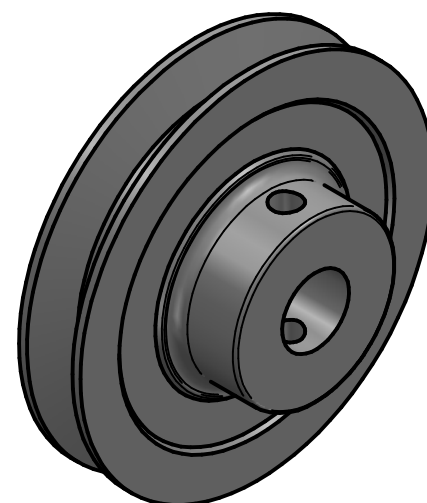
TÍTULO: Projeto Distribuidor de Palhiço		UNIDADE: mm	ESCALA: 1:1
PROJETISTA: Rafael Lucas Milla		DATA: 20/11/2019	FORMATO: A3
ENGENHEIRO:		N° DESENHO: 1	REV. 3



DETALHE B



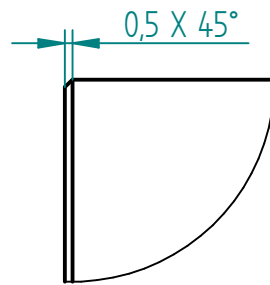
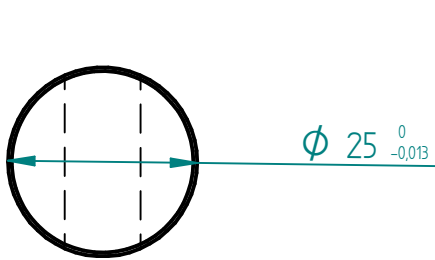
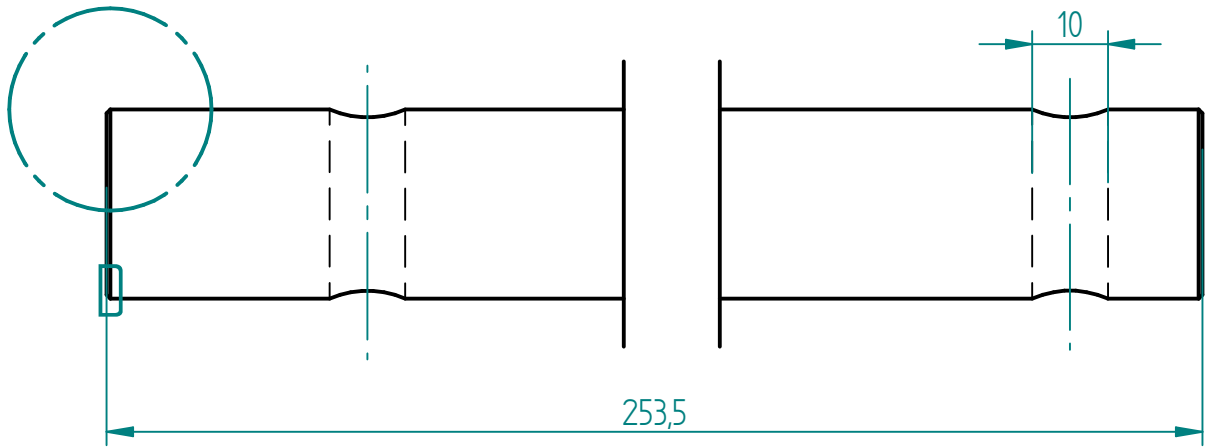
DETALHE C



ESCALA 1 : 2

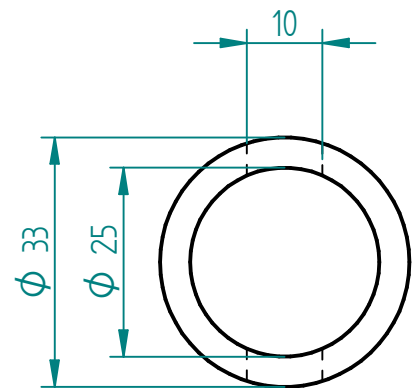
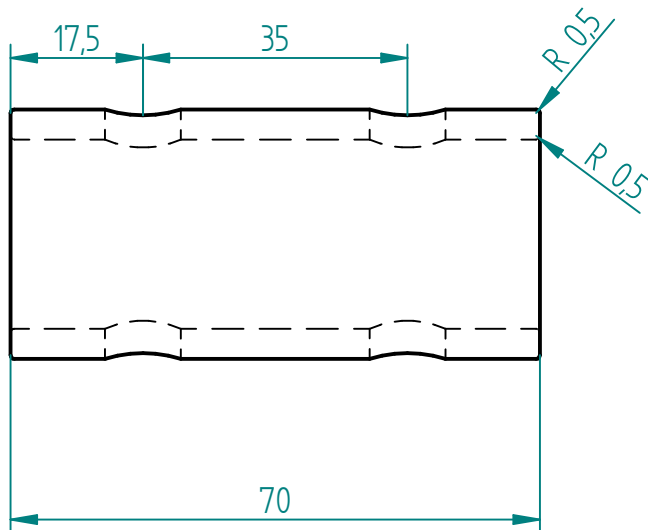
SOLID EDGE ACADEMIC COPY

	TÍTULO: Projeto Distribuidor de Palhão		UNIDADE: mm	ESCALA: 1:1
	PROJETISTA: Rafael Lucas Milla		DATA: 20/11/2019	FORMATO: A3
	ENGENHEIRO:		N° DESENHO: 1	REV. 3

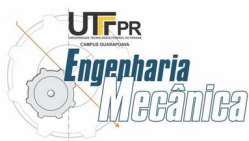


Escala 1 : 5

DETALHE D



Escala 1 : 5



TÍTULO: Eixo e Luva acopladora	UNIDADE: mm	ESCALA: 1:1
PROJETISTA: Rafael Lucas Milla	DATA: 21/11/2019	FORMATO: A4
ENGENHEIRO	N° DESENHO:	REV.

SOLIDWORKS ENGINEERING MIC COPY

ANEXO A - COEFICIENTES DE DIMENSIONAMENTO DE ROLAMENTO

Fig. 1 Velocidade de rotação e coeficiente de velocidade

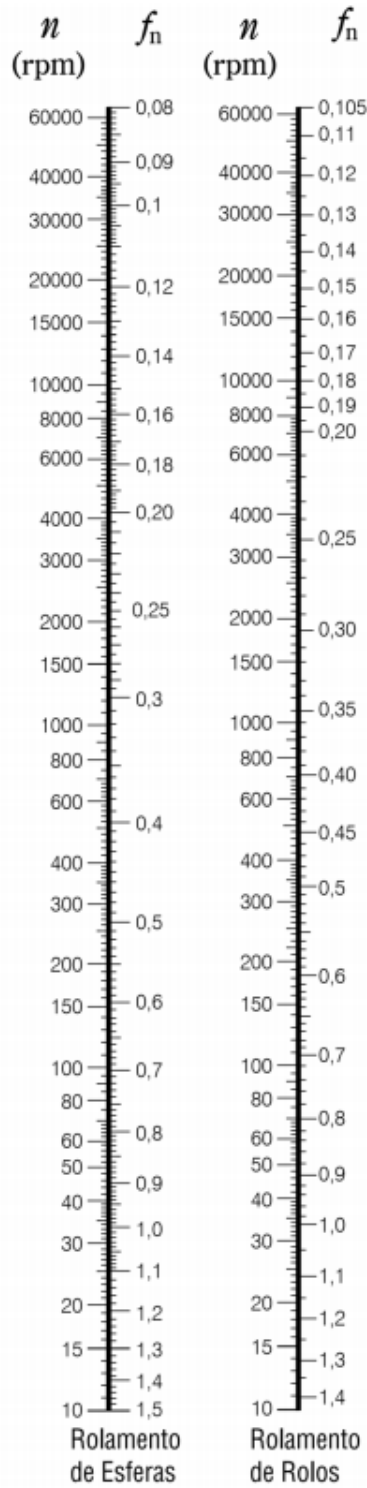
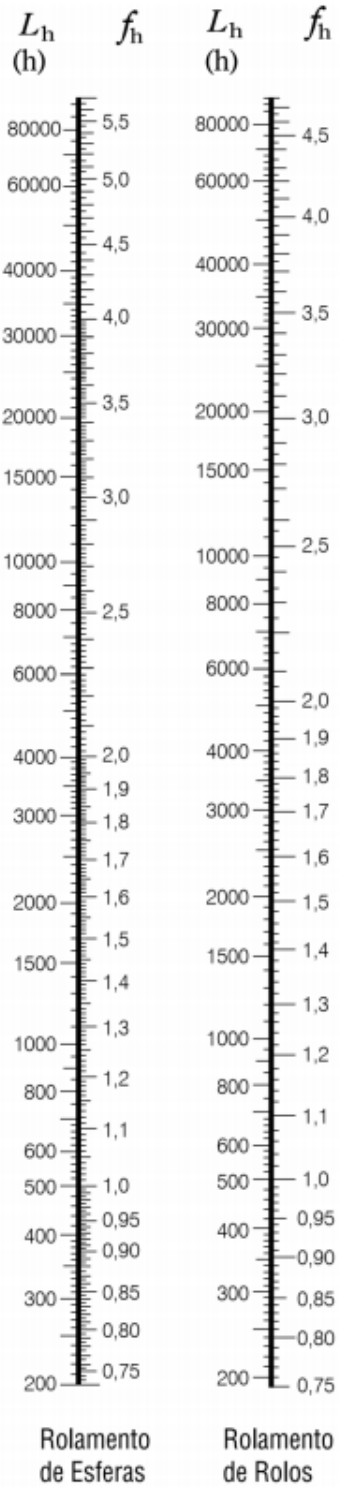
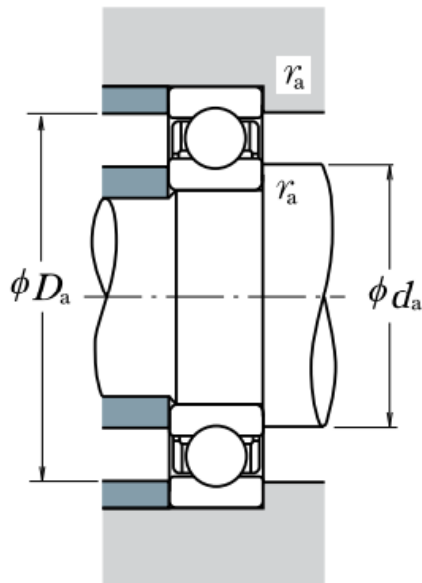


Fig. 2 Vida nominal e coeficiente de vida



Fonte: (NSK, 2013)

ANEXO B - TABELA DA CARGA DINÂMICA EQUIVALENTE



Carga Dinâmica Equivalente

$$P = XF_r + YF_a$$

$\frac{f_0 F_a}{C_{0r}}$	e	$\frac{F_a}{F_r} \leq e$		$\frac{F_a}{F_r} > e$	
		X	Y	X	Y
0,172	0,19	1	0	0,56	2,30
0,345	0,22	1	0	0,56	1,99
0,689	0,26	1	0	0,56	1,71
1,03	0,28	1	0	0,56	1,55
1,38	0,30	1	0	0,56	1,45
2,07	0,34	1	0	0,56	1,31
3,45	0,38	1	0	0,56	1,15
5,17	0,42	1	0	0,56	1,04
6,89	0,44	1	0	0,56	1,00

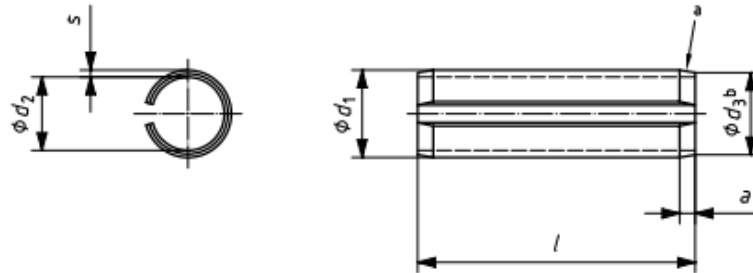
Carga Estática Equivalente

$$\frac{F_a}{F_r} > 0,8, P_0 = 0,6F_r + 0,5F_a$$

$$\frac{F_a}{F_r} \leq 0,8, P_0 = F_r$$

Fonte: (NSK, 2013)

ANEXO C - TABELA DE DIMENSÕES DOS PINOS ELÁSTICOS



^a For slotted spring-type straight pins with a nominal diameter $d_1 \geq 10$ mm, a single chamfer configuration is optional at the discretion of the supplier.

^b $d_3 < d_{1, \text{nom}}$

		nom.	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6	8	10	12	
d_1	before mounting	max.	2,4	2,9	3,5	4,0	4,6	5,1	5,6	6,7	8,8	10,8	12,8	
		min.	2,3	2,8	3,3	3,8	4,4	4,9	5,4	6,4	8,5	10,5	12,5	
d_2	before mounting ^a		1,9	2,3	2,7	3,1	3,4	3,9	4,4	4,9	7,0	8,5	10,5	
a	max.		0,4	0,45	0,45	0,5	0,7	0,7	0,7	0,9	1,8	2,4	2,4	
	min.		0,2	0,25	0,25	0,3	0,5	0,5	0,5	0,7	1,5	2,0	2,0	
s			0,2	0,25	0,3	0,35	0,5	0,5	0,5	0,75	0,75	1,0	1,0	
Minimum shear strength, double ^b kN				1,5	2,4	3,5	4,6	8	8,8	10,4	18	24	40	48

Fonte: ISO 13337 (2009)