

UNIVERSIDADE DE CAXIAS DO SUL
CAMPUS UNIVERSITÁRIO DA REGIÃO DOS VINHEDOS
CURSO DE ENGENHARIA MECÂNICA

RODRIGO PELLIZZARI

**REPROJETO DE UM CONJUNTO DE SELAGEM DE PACOTES
APLICANDO CONCEITOS DE PDP**

BENTO GONÇALVES

2019

RODRIGO PELLIZZARI

**REPROJETO DE UM CONJUNTO DE SELAGEM DE PACOTES APLICANDO
CONCEITOS DE PDP**

Trabalho de Conclusão de Curso II (MEC 0291), apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul

Orientador Prof. MSc. Eng. Vagner Grison.

BENTO GONÇALVES

2019

RODRIGO PELLIZZARI

**REPROJETO DE UM CONJUNTO DE SELAGEM DE PACOTES APLICANDO
CONCEITOS DE PDP**

Trabalho de Conclusão de Curso II (MEC 0291), apresentado como requisito parcial à conclusão do curso de Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade de Caxias do Sul

Aprovado em ____/____/____

Banca Examinadora

Prof. MSc. Eng. Vagner Grison

Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. MSc. Eng. Tiago Giacomelli Poletto

Universidade de Caxias do Sul - UCS

Prof. Dr. Eng. Marcos Alexandre Luciano

Universidade de Caxias do Sul - UCS

RESUMO

Este trabalho descreve a aplicação dos conceitos e ferramentas de PDP no reprojeto de um conjunto de selagem de uma empacotadora vertical fabricada por uma empresa de pequeno porte que deseja adequar-se à evolução da tecnologia com o surgimento da indústria 4.0.

O sistema atual limita a quantidade de pacotes produzidos, sendo necessário dobrar a produção atual, considerando a melhoria da confiabilidade desse conjunto, ao qual correspondem 67% das assistências técnicas, gerando um custo alto de manutenção durante o período de garantia. A utilização dos métodos do PDP auxiliou desde a identificação das deficiências do modelo atual, até a realização da pesquisa preliminar, que buscou avaliar diversas fontes, estabelecer os objetivos e determinar as especificações de desempenho que o novo sistema deve atender. Dessa forma, foi dividido o novo modelo em 2 subconjuntos, o que proporcionou realizar uma análise mais detalhada, assim foram modeladas as matrizes morfológicas e de decisão, que definiram quais são as melhores alternativas para o desenvolvimento do projeto 3D de cada um dos sistemas propostos.

Os servomotores e redutores atenderam às expectativas dimensionais e de potências necessárias para o funcionamento pleno do conjunto, já as correias, foram dimensionadas para que as dimensões escolhidas atendessem a aplicação.

Os itens comerciais apresentaram resultados de coeficiente de carga e vida útil que atenderam as necessidades da aplicação de cada conjunto, porém, alguns apresentaram valores mais elevados, que poderão ser avaliados futuramente.

Para os componentes fabricados, foram obtidos valores de fator de segurança por escoamento acima de 5, porém, em uma peça o valor obtido foi menor, submetendo-a então, a uma análise de fadiga. O suporte da polia movida foi avaliado conforme condições de aplicação da peça e do sistema, apresentando aproximadamente, uma possibilidade de que ocorra falha em 1:1.000.000.000 de ciclos.

A haste guia externa foi submetida a uma análise de frequência, na qual verificou-se os 5 primeiros modos de vibrar, que apresentaram valores 15 vezes maiores que a frequência de trabalho, eliminando assim a possibilidade de o componente entrar em ressonância.

Palavras-chave: PDP, selagem, empacotadora, produto, reprojeto.

ABSTRACT

This paper describes the application of PDP concepts and tools in the redesign of a sealing assembly of a vertical packaging machine manufactured by a small company that wishes to adapt to the evolution of technology with the emergence of the industry 4.0.

The current system limits the number of packages produced, and it is necessary to double the current production, considering the reliability of this set, which corresponds to 67% of the technical assistance, generating a high maintenance cost during the warranty period.

The use of the PDP methods helped from the identification of the deficiencies of the current model to the preliminary research, which sought to evaluate several sources, establish the objectives and determine the performance specifications that the new system must meet. In this way, the new model was divided into 2 subsets, which provided a more detailed analysis, so the morphological and decision matrices were modeled, which defined the best alternatives for the 3D design development of each of the proposed systems.

The servomotors and reducers met the dimensional and power expectations required for the full operation of the assembly, since the belts were dimensioned so that the chosen dimensions would meet the application.

The commercial items presented results of load coefficient and useful life that met the needs of the application of each set, however, some presented higher values, which could be evaluated in the future.

For the components manufactured, safety factor values were obtained by flowing above 5, but in one piece the obtained value was smaller, then submitted to a fatigue analysis. The support of the driven pulley was evaluated according to the application conditions of the part and the system, presenting approximately one possibility of failure in 1: 1,000,000,000 cycles.

The external guide rod was subjected to a frequency analysis, in which the first 5 vibration modes were verified, which presented values 15 times higher than the working frequency, thus eliminating the possibility of the component resonating.

Key words: PDP, sealing, packaging, product, redesign.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Matriz morfológica	21
Figura 2 – Matriz decisão	23
Figura 3 – Sistema de selagem atual	27
Figura 4 – Ciclo atual do sistema	28
Figura 5 – Mecanismos encontrados na literatura aplicáveis ao sistema proposto.	29
Figura 6 – Ciclo ideal	30
Figura 7 – Escopo de sistema definido pelo ciclo ideal	31
Figura 8 – Matriz morfológica movimentação vertical	32
Figura 9 – Configurações selecionadas para movimentação vertical	33
Figura 10 – Matriz morfológica movimentação horizontal	33
Figura 11 – Configurações selecionadas para movimentação horizontal	34
Figura 12 – Valores de avaliação de subtarefas	35
Figura 13 – Matriz decisão movimentação vertical	36
Figura 14 – Matriz decisão movimentação horizontal	36
Figura 15 – Projeto do sistema vertical	37
Figura 16 – Projeto do sistema horizontal	38
Figura 17 – Componentes analisados	39
Figura 18 – Recomendações acerca da vida de mancais para vários tipos de aplicação	42
Figura 19 – Braço maior pontos de fixação e forças	43
Figura 20 – Malha do braço maior	44
Figura 21 – Tensão máxima apresentada no braço maior	45
Figura 22 – Fator de segurança do braço maior	45
Figura 23 – Fatores orientativos para determinação de coeficientes de segurança	46
Figura 24 – Posicionamento do eixo (a) como carro recuado e (b) avançado	48

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Cálculo do torque dos servomotores.....	40
Tabela 2 – Dados dos acionamentos.....	41
Tabela 3 – Dados dos componentes comerciais	42
Tabela 4 – Dados dos componentes comerciais	46
Tabela 5 – Valores dos módulos de vibração da haste guia externa	48

LISTA DE TABELAS

PDP	Processo de Desenvolvimento de Produto
PDNP	Processo de Desenvolvimento de Novos Produtos
P&D	Pesquisa e Desenvolvimento
ACQ	Análise Comparativa Qualitativa
FCS	Fator Crítico de Sucesso
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ASME	<i>American Society of Mechanical Engineers</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
NBR	Norma Brasileira
CAD	<i>Computer Aided Design</i>
SSCs	Sistemas, Sub-sistemas e Conjuntos
GD&T	<i>International Organization for Standardization</i>
INPI	Instituto Nacional da Propriedade Industrial

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
1.1	TEMA.....	12
1.2	OBJETIVOS.....	12
1.2.1	Objetivo geral	12
1.2.2	Objetivos específicos	12
1.3	JUSTIFICATIVA DO TEMA.....	12
2	REFERENCIAL TEÓRICO	14
2.1	TRABALHOS CORRELATOS	14
2.2	PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO.....	15
2.2.1	Identificação da necessidade	16
2.2.2	Pesquisa preliminar	17
2.2.3	Estabelecimento do objetivo	18
2.2.4	Especificações de desempenho	18
2.2.5	Idealização e invenção	19
2.2.6	Análise	22
2.2.7	Seleção	22
2.2.8	Projeto detalhado	23
2.2.9	Prototipagem e teste	24
2.2.10	Aprovação final	25
2.3	ELEMENTOS MECÂNICOS.....	25
2.3.1	Acionamentos	25
2.3.2	Elementos de transmissão	26
2.3.3	Sistemas de movimentação	26
3	PROPOSTA DE SOLUÇÃO	27
3.1	OBJETO DE ESTUDO	27
3.2	MATERIAIS E MÉTODOS	28
3.2.1	Análise do modelo atual e suas deficiências	28
3.2.2	Utilizar conceitos e ferramentas PDP para identificar possíveis soluções ...	29
3.2.2.1	Pesquisa preliminar	29
3.2.2.2	Definição dos requisitos de projeto	30
3.2.2.3	Ciclo ideal do sistema	30
3.2.2.4	Idealização, invenção e análise	31

3.2.3	Definição do modelo a ser projetado	34
3.2.4	Modelagem 3D do sistema	36
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	39
4.1	ACIONAMENTOS	40
4.2	COMPONENTES COMERCIAIS	41
4.3	ANÁLISE DE INTEGRIDADE DOS COMPONENTES FABRICADOS	43
4.3.1	Análise do fator de segurança por escoamento	43
4.4	FATOR DE SEGURANÇA POR FADIGA	47
4.5	ANÁLISE DE FREQUÊNCIA	48
5	CONCLUSÃO	49
6	REFERÊNCIAS	50
	APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO DOS SERVOMOTORES	52
	APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO DA CORREIA DO SISTEMA	
	VERTICAL	57
	APÊNDICE C – DIMENSIONAMENTO DA CORREIA DO SISTEMA	
	HORIZONTAL.....	59
	APÊNDICE D – DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO 6005-2Z.....	61
	APÊNDICE E – DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO 6006-2Z.....	62
	APÊNDICE F – DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO YAR 205-2F.....	63
	APÊNDICE G – DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO NJ 204.....	64
	APÊNDICE H – DIMENSIONAMENTO DO GUIA LINEAR HSR 20^a.....	65

1 INTRODUÇÃO

Segundo Rozenfeld et al. (2006) com a necessidade de atualizar constantemente o produto devido à grande competitividade no país, o desenvolvimento se torna um processo cada vez mais crítico, possibilitando o aumento da diversidade, variedade e redução no custo e ciclo de vida. Esse processo exige que as empresas empreguem tecnologias atuais e os consumidores tendem a buscar novidades no setor, reduzindo drasticamente o tempo disponível para desenvolver novos produtos.

Sá et al. (2017) reconhece que diversas empresas estão chegando a patamares muito semelhantes, a necessidade de inovar se torna um diferencial que permite que empresas se destaquem. Essa inovação requer investimentos tanto na estrutura da empresa, pesquisa e tecnologia, quanto no “capital humano”, desenvolvimento de colaboradores. Os colaboradores são os responsáveis por criar novos projetos dentro de uma corporação. Isso faz com que o investimento em conhecimento, treinamento e incentivo ao estudo mostrem resultados significantes.

Realizar o lançamento eficaz de novos produtos e a melhora da qualidade dos já existentes são etapas do processo do desenvolvimento de produto, exigindo pesquisa de mercado (ROZENFELD et al., 2006). Esses produtos buscam a solução de inúmeros problemas ou necessidades de clientes, aplicando diversas análises de desenvolvimento, utilizando ferramentas que auxiliem a agilizar o processo (PAHL et al., 2005), não sendo necessário ser um produto revolucionário, e sim, um produto que satisfaça a demanda do mercado e o desejo dos consumidores. Sendo assim, qualquer revisão ou melhoria que beneficiem o custo-benefício de um produto, o transformam em um novo produto (ANDREOLI; AHLFELDT, 2014).

Andreoli e Ahlfeldt (2014) destacam que a pesquisa de mercado que busca elaborar um determinado produto, passa por 2 passos essenciais: primeiro é a análise do mercado consumidor, que busca satisfazer os desejos e necessidades do público alvo, realizando a pesquisa por especificações, características e relação custo-benefício; e em segundo, são avaliados os concorrentes e se existe alguma brecha de nicho de mercado não sendo atendido por nenhuma empresa ou, em alguns casos, clientes que estejam insatisfeitos com o fornecedor atual. Assim, encontra-se a área de maior interesse do mercado, dedicando maior tempo no seu desenvolvimento.

Devido a velocidade dos avanços tecnológicos, as empresas precisam atualizar constantemente seus produtos. A indústria mecânica está com grande demanda de agilizar os processos de fabricação e aumentar a capacidade de produção. Com o surgimento da indústria

4.0, está sendo exigido muito das empresas, desde o controle da produção até a integração e comunicação entre seus equipamentos.

Os fabricantes de máquinas deparam-se com a necessidade de se adequar à nova realidade do mercado, precisando melhorar significativamente o portfólio de produtos e buscar o aumento do campo de atuação. Os clientes estão buscando fornecedores que adequem seus equipamentos conforme a necessidade de sua aplicação através de projetos especiais, tendo assim a oportunidade de solicitar adequações de segurança, personalização de processo e linha de produção.

O setor de máquinas empacotadoras tem o objetivo de automatizar o processo de embalagem de vários segmentos como peças, acessórios, kits em geral, alimentício, químico, abrasivos, ferragens, entre outros. O equipamento desenvolvido pelo setor precisa apresentar alta eficiência de operação reduzindo o tempo de intervenção humana possível para que as máquinas seguintes na linha de produção não sejam afetadas.

A embaladora vertical tem um sistema de selagem que limita a quantidade de pacotes produzidos em 30 pacotes por minuto e atinge no máximo 75% da capacidade produtiva gerando paradas e necessitando da intervenção humana constantemente.

Pensando em conceitos de processos de desenvolvimento de produtos, e utilizando suas ferramentas propõe-se um estudo neste conjunto buscando criar um sistema que atenda às necessidades dos clientes atuais e futuros, aumentando a eficiência produtiva do equipamento

1.1 TEMA

O tema deste trabalho consiste em utilizar as ferramentas de PDP (Processo de Desenvolvimento de Produto) para resolver um problema de engenharia identificado em uma embaladora de componentes para a indústria de acessórios e móveis elaborando um novo conceito de mecanismo que atenda as especificações do equipamento.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo geral

Reprojetar o conjunto de selagem de uma embaladora vertical utilizando conceitos de PDP.

1.2.2 Objetivos específicos

- Analisar o equipamento atual para identificar suas deficiências;
- Utilizar conceitos e ferramentas de PDP para definir o novo modelo proposto;
- Realizar dimensionamento dos componentes comerciais dos sistemas;
- Analisar a integridade dos componentes fabricados;
- Fazer a aprovação dos sistemas teoricamente a fim de verificar se atendem as especificações de desempenho;

1.3 JUSTIFICATIVA DO TEMA

Com o objetivo de adequar-se à clientes com maiores capacidades produtivas e melhorar os equipamentos atuais, busca-se alternativas para aumentar a produção dos equipamentos que desenvolvidos.

Identificando essa necessidade, buscou realizar uma avaliação dos sistemas do equipamento considerados como gargalo que precisam de melhorias para poder aumentar a produção efetiva. Verificou-se que o sistema com maior restrição de funcionamento é o sistema de selagem da embaladora vertical de pacotes, que atualmente consegue atingir uma produção máxima de 30 pacotes por minuto.

O sistema de selagem atual é responsável por 67% das assistências técnicas sendo que cada assistência durante o período de garantia corresponde à aproximadamente 32%, do custo de fabricação de um novo conjunto de selagem. Ocorre também em alguns casos a necessidade de troca de peças devido a algum desgaste prematuro ou em ambientes que estejam expostos a condições de operação desfavoráveis, necessitando adequação do sistema.

Para conseguir desenvolver mais clientes e melhorar os equipamentos em campo, a empresa requer um aumento de 100% na capacidade produtiva do equipamento em questão (60 pacotes por minuto). Sendo assim, a primeira ação é o desenvolvimento de um sistema de selagem que dobre a produção atual, porém que mantenha as dimensões atuais, sendo possível adequar em equipamentos já fabricados.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 TRABALHOS CORRELATOS

Freitas et al. (2014) destaca a necessidade da engenharia de produto de uma empresa buscar padronizar o processo de desenvolvimento de produtos, durante a busca de inovações tecnológicas. Este processo estruturado permite que cada projeto tenha seu mapeamento com todas as informações, atividades, recursos, informações e melhores práticas em um único mapa para melhor entendimento dos envolvidos. O modelo deve ser adaptado conforme cada nível de exigência do produto referente à novidade *versus* complexibilidade, quanto maior é o grau de novidade e de complexibilidade deve-se desenvolver um PDP mais completo e minucioso.

Rossetti et al. (2014) compara diversos modelos de PDP propostos por diversos autores, dentro dos quais cada um defende sua particularidade e área de aplicação, porém, destaca uma grande semelhança entre eles: contemplam em sua estrutura três macros fase que são o pré-desenvolvimento que contempla a tomada de decisão referente ao projeto ou produto que será desenvolvido, o desenvolvimento que engloba o informacional, conceitual, projeto para a criação do produto e o lançamento, e por fim, o pós-desenvolvimento que busca controlar o desempenho do produto no mercado e sua retirada.

Tondolo et al. (2014) realizou um comparativo entre 3 empresas de portes diferentes, através de uma análise das condições de estrutura e investimento em PDP e PDNP. O PDP focado apenas em melhorias e adaptações e o PDNP em projetos novos. Com a separação destes 2 modelos de trabalho houve um grande ganho no desempenho e tempo de desenvolvimento. Foi designado uma equipe para apenas PDNP, que em algumas empresas chamam de P&D, e a engenharia atual foca em apenas PDP, a diferenciação dos focos de trabalho possibilitou a cada uma das 3 empresas obter um melhor resultado durante o tempo de desenvolvimento.

Bhuiyan (2011) mostra a importância de ter sucesso no lançamento de um produto, já que isso influencia diretamente no retorno do investimento da empresa ao longo do processo de desenvolvimento. Buscou aplicar ACQ (Análise Comparativa Qualitativa) em cada processo do PDP em busca de FCS (Fator Crítico de Sucesso), que mostra quais são as etapas que demonstram maior exigência e necessidade de investir tempo e recursos. Por isso é muito importante reunir o máximo de informações em conjunto com clientes para realizar a validação e a verificação das especificações do projeto com intuito de encurtar o tempo de lançamento e aumentar a chance de acerto no produto.

Peralta et al. (2017) apresenta uma abordagem dos princípios *Lean* no processo de desenvolvimento de produtos. *Lean* se caracteriza pela redução de recursos utilizados durante

o processo e durante as atividades de PDP, identificando etapas que não agregam valor ao produto reduzindo assim os custos e propiciando ao cliente algo que possa pagar. O processo foi aplicado em um PDP ao qual identificou etapas e atividades que consumiam um grande tempo durante o desenvolvimento. Aplicando algumas técnicas de verificação e de análise no sistema, constatou que no sistema aplicado conseguiu reduzir consideravelmente o tempo e o custo, preservando a qualidade e a confiabilidade do sistema.

2.2 PROCESSO DE DESENVOLVIMENTO DE PRODUTO

A necessidade de desenvolver um projeto é comum a todos, as atividades do dia-a-dia são planejadas com o determinado tempo necessário para concluirmos cada uma, sendo pessoais ou profissionais. No contexto de empresa, em grande maioria, desenvolvem um planejamento tanto de atividades como de produtos, onde cada produto tem o seu planejamento desde a identificação da necessidade até o lançamento ao mercado (LÉLIS, 2014).

O processo de desenvolvimento de um projeto é a parametrização das atividades necessárias para realizar uma determinada atividade e que consiste em planejar, subdividir em etapas, realizar a busca de informações necessárias, organizar, delegar tarefas e funções, criar cronogramas e atualizar andamento dos mesmos. Este processo é denominado metodologia de projeto (SELEME; PAULA, 2013).

A metodologia de projeto tem como função não perder informações e, de certa forma, agilizar o desenvolvimento do projeto com a maior qualidade. O desenvolvimento de um projeto consiste em traduzir uma nova ideia ou uma necessidade de mercado em informações detalhadas com as quais pode-se fabricar um produto (ASHBY, 2012).

Segundo Budynas e Nisbett (2011), devido ser um processo repetitivo, existem diversos tipos de projetos. Deparando-se com situações onde nos apresentarão projetos com poucas informações, e uma ideia abrangente, e outras que poderá receber um projeto totalmente definido, mas em determinadas situações, com projetos que tem muitas informações que tendem a ser contraditórias dificultando a decisão.

Pahl et al. (2005) acrescentam que as interligações entre as etapas de um desenvolvimento precisam estar em sincronia para não pularmos nenhuma. As sub tarefas tem muita importância em qualquer desenvolvimento, elas complementam os passos, melhorando o resultado final do projeto e garantindo que não esqueçamos de nada. O processo mais conhecido para o controle destas tarefas é o *Gates* (portões).

O processo *gates* é considerado o ato de passar de uma fase para a outra e para que isso seja realizado da forma correta, deve-se fazer uma análise e ter certeza de todos os requisitos

da fase anterior foram atendidos. Normalmente se realiza uma reunião com os especialistas, no caso de empresas menores, os próprios integrantes da engenharia, para fazer a avaliação do projeto de aprová-lo ou não. Quando não é aprovado na totalidade deve-se retomar a fase e reformular o conceito para atender as necessidades (ROZENFELD et al., 2006).

Segundo Norton (2010), várias pesquisas são realizadas constantemente para melhorar o processo de metodologia de projeto, facilitando a escolha da estrutura adequada com o objetivo de encontrar a solução viável do problema. O processo utilizado por ele se baseia em diversos autores e na experiência adquirida ao longo dos anos. A metodologia adotada consiste em 10 etapas, descritas abaixo, as quais definem os passos essenciais para atingir o melhor desenvolvimento do projeto.

- a) identificação da necessidade;
- b) pesquisa preliminar;
- c) estabelecimento do objetivo;
- d) especificações de desempenho;
- e) idealização e invenção;
- f) análise;
- g) seleção;
- h) projeto detalhado;
- i) prototipagem e teste;
- j) aprovação final.

Cada uma das etapas anteriores poderá ter ações secundárias que serão desenvolvidas com base em cada projeto em específico. As ações secundárias contemplam as atividades a serem desenvolvidas. Para concluir cada etapa do processo, são de particularidade de cada responsável do projeto ou da equipe de desenvolvimento (BUDYNAS; NISBET, 2011).

Para estabelecer um padrão de processo durante o desenvolvimento do trabalho proposto, será utilizado a metodologia proposta por Norton (2010) conforme descrito acima. Lembrando que o objetivo da metodologia é direcionar o desenvolvimento para melhor resultado do projeto e garantir que será um produto útil que satisfaça as necessidades do cliente e que seja seguro, eficiente, confiável, econômico e de fabricação prática.

2.2.1 Identificação da necessidade

A identificação da necessidade é a etapa base do desenvolvimento de um projeto. Realiza-se diversas formas de identificação na atualidade entre elas a pesquisa de mercado se

destaca por buscar informações de atuais necessidades de clientes, fornecedores e concorrentes mostrando o cenário de produtos que existem e os que possivelmente a empresa busca desenvolver. Outra forma é encontrar problemas nos produtos atualmente desenvolvidos pela empresa e buscar alternativas de solucioná-los através de melhorias ou desenvolvimento de um produto substituto (PAHL et al., 2005).

O avanço tecnológico também é uma forma de buscar o desenvolvimento de novos produtos, pois a demanda de automatizar os equipamentos está crescendo, em muitos casos especiais, destinados a reduzir a intervenção humana nos processos. Esses dados normalmente não são prontos, em várias situações são apenas uma conversa informal com poucos detalhes explicando o que deverá ser projetado ou desenvolvido (NORTON, 2010).

Os dados devem ser analisados junto à equipe técnica, verificando se o desenvolvimento será viável e com retorno para o investimento da empresa. Confirmando a viabilidade, é importante transformar as informações em algo concreto com mais detalhes, podendo tornar uma real necessidade de desenvolvimento de projeto (SELEME; PAULA, 2013).

Rozenfeld (2006) denomina esta etapa como planejamento estratégico de produtos por destacar a importância para a formulação da linha de produtos da empresa contendo os produtos já fornecidos e os que serão desenvolvidos com a sua linha do tempo, prevendo o início do desenvolvimento, lançamento e a retirada do mercado. Planeja-se também qual será o público alvo da empresa, clientes de pequeno ou grande porte, pois isso interfere diretamente em qual linha de desenvolvimento será utilizada.

2.2.2 Pesquisa preliminar

O crescimento do investimento em pesquisas está cada vez maior em diversas áreas do conhecimento. Muitas empresas investem pesado para poder obter avanços tecnológicos e poder aplicá-los em novos produtos, quando conseguem fazer algum avanço tecnológico, na maior parte das vezes patenteiam para que possam ter privilégios a estas informações por um determinado período (ROZENFELD et al., 2006).

Para Norton (2010) esta fase é de grande importância para o desenvolvimento de um projeto, pois é o momento de reunir o maior número de informações teóricas e tecnológicas referentes ao problema. Pesquisar se a tecnologia já existe ou se algum problema similar já foi solucionado, pois se pudermos adquirir a solução pronta e estudá-la, isso torna a resolução mais rápida, econômica e eficaz, sendo possível aprender muito com o produto já existente. Mas é importante lembrar sempre de fazer tudo de forma ética, pois quando o produto ou tecnologia

que está sendo adquirida é patenteada, a cópia sem o consentimento do desenvolvedor irá acarretar responsabilidade legal com penas da lei.

Artigos e publicações técnicas também devem ser consultadas pois existe muito material útil em um artigo técnico, onde há embasamento para resolução de problemas encontrados em empresas ou dentro da própria instituição de pesquisa, sendo muitas vezes mais eficazes que a própria patente. Patentes normalmente abrangem um produto de uma forma mais superficial defendendo o conceito do problema e não a solução perfeitamente desenvolvida (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

Segundo Pahl et al. (2005) é muito importante investir o tempo necessário para realizar uma pesquisa aprofundada não avançando no projeto com dúvidas e incertezas sobre o desenvolvimento estar seguindo o rumo correto. Pular esta etapa resultará em desperdício de tempo e dinheiro, principalmente para empresas de pequeno porte. Alinhar o pensamento para o objetivo que pretende alcançar é fundamental para um ótimo desenvolvimento de projeto.

2.2.3 Estabelecimento do objetivo

O planejamento do projeto proposto por Rozenfeld et al. (2006), destaca a necessidade de considerar um fluxo de informações referente ao problema. Utilizar meios de armazenamento dessas informações obtendo um histórico para futuras consultas. O planejamento reforça também a definição dos revisores, pessoas que serão responsáveis pela condução do projeto conforme esperado. Vale salientar que o (os) responsável (is) devem ter conhecimento técnico e prático perante o problema, para obter uma solução viável e que atenda as especificações técnicas exigidas.

Os prazos também são determinados nesta etapa, cada atividade deverá conter uma data de início e término, para atender o prazo de lançamento do produto ou para entregar o projeto conforme a necessidade do cliente destacando sempre que a pontualidade da entrega de um projeto é muito importante para a credibilidade da empresa perante o mercado (PAHL et al., 2005).

2.2.4 Especificações de desempenho

São um conjunto de características específicas produto deve atender, para isso, é necessário que a teoria e o objetivo estejam estabelecidos. Dentre essas definições é possível encontrar dados como tamanho, normas de segurança, funções a serem realizadas, cores e até definição de fornecedores de alguns componentes, como é o caso de empresas de grande porte,

que padronizam as marcas a serem utilizadas em seus equipamentos (SELEME; PAULA, 2013).

Norton (2010) comenta que não se deve confundir especificações de desempenho com especificações de projeto, a primeira define o que o sistema precisa fazer e a outra como deve ser feito respectivamente. As informações contidas nesta etapa serão utilizadas na fase de teste do equipamento, na inspeção de qualidade que verifica se todas as exigências estão sendo atendidas conforme especificado.

Pahl et al. (2005) separa o conteúdo das especificações em duas categorias relevantes: na primeira comenta sobre as necessidades de projeto, informações que devem ser cumpridas obrigatoriamente como dados de performance, requisitos de qualidade, condições de operação ou ambientes geográficos, esses dados devem conter especificação de valor a ser atingido pelo produto ou equipamento; na segunda, destaca as vontades, ações que devem ser consideradas na medida do possível perante o desenvolvimento do produto podendo, essas informações serem classificadas em alta, média ou baixa, destacando seus respectivos aspectos quantitativos e qualitativos.

Essas especificações tem uma natureza evolucionária e podem sofrer alterações. As alterações podem ocorrer de diversas formas, ainda na fase de concepção, durante o desenvolvimento ou até após o produto estar pronto. O nível de alteração pode ser simples, modificar o conceito e em determinadas situações até deixar de existir sendo substituída por outra definição. Este controle deve ser feito de forma precisa e o quanto antes, para resultar no menor impacto possível (ROZENFELD et al., 2006).

É importante ressaltar que o documento que descreve estas informações é o documento mais importante, pois será a definição do projeto do início ao fim e deve ser formulado da melhor forma para que todos envolvidos no projeto possam ter acesso e compreensão de todos os dados contidos nele (ANDREOLI; AHLFELDT, 2014).

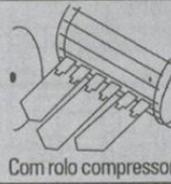
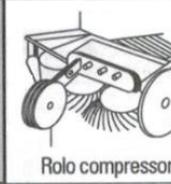
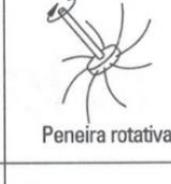
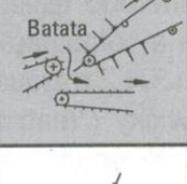
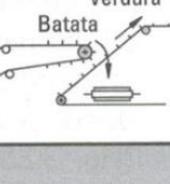
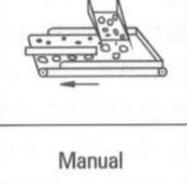
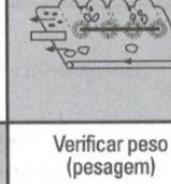
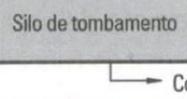
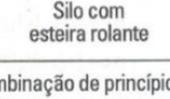
2.2.5 Idealização e invenção

A idealização é o processo de transformação do escopo do projeto em alternativas de solução analisando diversas linhas de raciocínio. Esse processo é realizado normalmente pelo setor de engenharia da empresa que busca desenvolver alguns esboços subdividido em partes, podendo ser por conjuntos, sistema ou áreas. Para ter sucesso nessa etapa precisamos utilizar o processo de invenção que força os integrantes a pensar além do que já conhecem (SÁ et al., 2017).

Para Pahl e Beitz (2005) o projetista diariamente é desafiado a encontrar soluções para projetos e produtos. Esse processo criativo precisa estar em plena forma para que consiga criar diversas opções. A invenção precisa ser trabalhada diariamente pois a primeira ideia não trará a solução completa, precisando ser modificada e alterada continuamente em busca da otimização. Existem diversos métodos com ênfase intuitiva que buscam estimular a criação de ideias, dentre os mais conhecidos estão:

- a) brainstorming: técnica em grupo que tem como objetivo gerar uma tempestade de ideias entre os participantes, sem criticar a qualidade ou gerar julgamento, destinado ao recolhimento de ideias e sugestões para resolução de determinado problema. Este processo é separado em duas fases: a fase criativa onde se busca reunir o maior número de ideias e sugestões, sem analisar ou criticar se é relevante; e a fase crítica, onde se recolhe mais informações com os participantes, com justificativas e defesa de suas ideias, selecionando as mais relevantes ao projeto (PAHL et al., 2005);
- b) método 635: é um complemento do processo brainstorming, os integrantes tem como objetivo formular três possíveis soluções em forma de palavras-chave e passar para outro em um papel. O processo é repetido até que se passe por todos os participantes do grupo assim criando alternativas para as ideias iniciais (PAHL et al., 2005);
- c) matriz morfológica: consiste em desmembrar o problema em parâmetros, buscando solução para cada um deles, desta forma cada parâmetro recebe diversas possibilidades de solução, criando um grande conjunto de alternativas conforme demonstrado na Figura 1. Este processo tem diversas vantagens pois este sistema pode ser aplicado de forma independente em cada parâmetro, não sendo necessário resolver o problema inteiro de uma só vez, muito útil em grandes projetos (PAHL et al., 2005);

Figura 1 – Matriz morfológica

Soluções		Subfunções				
		1	2	3	4	...
1	Colher	 Com rolo compressor	 Com rolo compressor	 Com rolo compressor	 Rolo compressor	...
		 Peneira de correia	 Peneira de grelha	 Peneira de tambor	 Peneira rotativa	...
3	Separar verdura	 Verdura Batata	 Verdura Batata	 Rolo para desfiar	...	
		 Manual	 Por atrito (inclinado)	 Verificar tamanho (chapa perfurada)	 Verificar peso (pesagem)	...
6	Juntar	 Silo de tombamento	 Silo com esteira rolante	 Dispositivo de ensacamento	...	

Combinção de princípios

Fonte: Pahl et al. (2005)

- d) análise de valor: busca melhorar a proposta já definida, na intenção de melhorar o custo do produto. É interessante aplicar essa ferramenta após ter um esboço definido da solução, pois permite encontrar alternativas de sistemas similares com um custo reduzido não perdendo a qualidade do projeto. Muito importante para empresas que buscam um produto de qualidade e com um custo reduzido (ROZENFELD et al., 2006).

A equipe destinada a realizar esta função deve explorar todas as possíveis soluções que surgirem, pois mesmo ideias simples podem criar a solução ideal para o problema. O tempo necessário para a realização desta etapa varia de dias, semanas e até meses, dependendo da complexibilidade do projeto. Após passar por todas as fases de invenção e idealização, com o resultado da matriz morfológica, teremos as melhores ideias em uma grade para a tomada de decisão (LÉLIS, 2014).

2.2.6 Análise

Nesta etapa é feita a análise das ideias criadas no passo anterior, realizada pelo setor de engenharia e desenvolvimento, utilizando processos críticos de verificação, identificando se as ideias são realmente funcionais para o resultado final do projeto (MOTT, 2015).

Essa etapa deve ser repetida diversas vezes até chegar em soluções concisas e interessantes para a resolver o problema, não devendo ser concluída apenas com uma primeira análise. O processo de análise força a equipe em muitas ocasiões, retornar à fase de idealização devido a quantidade de ideias concretas não serem suficientes para avançar à fase de seleção (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

A decisão se a proposta de solução é viável ou não para o projeto precisa conter no mínimo 3 pré-requisitos:

- a) atender as especificações de desempenho;
- b) ser uma solução possível de ser fabricada;
- c) realizar a função desejada.

As ideias que se enquadrarem nestes requisitos devem ser filtradas novamente, buscando otimizar o processo de análise, levando-se em consideração custo, delimitação de espaço, entre outras, definidas pela equipe responsável. Após utilizam-se os dados recolhidos, separando-os em várias possíveis configurações de solução, as quais iremos utilizar para a fase de seleção (ASHBY, 2012).

2.2.7 Seleção

A etapa de seleção consiste em realizar a avaliação de cada uma das configurações idealizadas e analisadas pelos responsáveis do projeto e compará-los utilizando critérios de avaliação, dentre eles o fator de segurança, custos, ciclo de vida entre outros. Eles deverão estar alinhados conforme o objetivo que a empresa espera perante a solução, quais são os critérios a solução precisa obedecer (ROZENFELD et al., 2006).

Segundo Norton (2010) a ferramenta que melhor auxilia para comparar as possíveis soluções é chamada de matriz decisão. Esta matriz consiste em uma grade, onde nas colunas são alinhadas as opções a serem avaliadas e nas linhas os critérios avaliadores, ao lado de cada critério deverá ser aplicado um peso específico, que considera o quão relevante ele é para o projeto. No cruzamento entre as linhas e as colunas são aplicados valores de ponderação e, conforme a avaliação da equipe, os valores utilizados são de 1 a 10, considerando 1 muito baixo e 10 muito alto, conforme Figura 2:

Figura 2 – Matriz decisão

	<i>Custo</i>	<i>Segurança</i>	<i>Desempenho</i>	<i>Confiança</i>	<i>TOTAL</i>
<i>Fator de ponderação</i>	0,35	0,30	0,15	0,20	1,0
Projeto 1	3 1,05	6 1,80	4 0,60	9 1,80	5,3
Projeto 2	4 1,40	2 0,60	7 1,05	2 0,40	3,5
Projeto 3	1 0,35	9 2,70	4 0,60	5 1,00	4,7
Projeto 4	9 3,15	1 0,30	6 0,90	7 1,40	5,8
Projeto 5	7 2,45	4 1,20	2 0,30	6 1,20	5,2

Fonte: Norton (2010)

O resultado da matriz mostrará qual é a solução que tem maior potencial para seguir para o processo de detalhamento, lembrando que se 2 projetos tiverem pontuações finais muito próximas, será decisão da equipe de avaliação qual irá para a próxima etapa (BUDYNAS; NISBETT, 2011).

Nesta etapa, deve-se tomar cuidado para não burlar a análise e colocar as maiores pontuações no projeto em que se tem maior afinidade, e sim avaliar sobre o contexto técnico cada um dos critérios para obtenção do resultado final mais confiável. O nível de exigência sobre esse passo é crítico, pois se analisado de forma errada, estaremos investindo tempo de forma errada, o que pode fazer este projeto passar para a fase de produção, o resultaria em um prejuízo financeiro enorme para a empresa, além de gerar retrabalho, exigindo mais energia e tempo da equipe (PAHL et al., 2005).

2.2.8 Projeto detalhado

A etapa de projeto detalhado objetiva a equipe de engenharia transformar o conceito definido na fase anterior em Sistemas, Sub-sistemas e Conjuntos (SSCs). O processo consiste em utilizar um sistema CAD que auxilie na modelagem, detalhamento e possíveis análises técnicas. Cada um dos SSCs devem ser codificados, estruturados, elaborados, processados e desenvolvidos por fornecedores. Essas etapas devem ser realizadas, controladas e conferidas diariamente durante a etapa proposta (ROZENFELD et al., 2006).

No projeto detalhado leva-se em conta todas as definições citadas anteriormente quanto à seleção e especificação de desempenho, então os SSCs que serão criados, devem atender as

especificações em sua totalidade. Lembrando que cada peça ou componente deve ter especificado a descrição de matéria-prima para que possa atender as exigências da função. A importância de considerar, na atualidade, questões referentes à ergonomia e às normas regulamentadoras vigentes se torna fundamental à aprovação do produto para a fase de detalhamento, considerando sempre últimas revisões lançadas (SELEME; PAULA, 2013).

O detalhamento consiste em transformar os desenhos dos SSCs em informações úteis e necessárias para a fabricação de cada um dos conjuntos e peças e encaminhar para a fabricação interna ou externa. Estes detalhamentos devem conter informações referente à qualidade de cada um dos componentes e com as tolerâncias admissíveis para o correto funcionamento do projeto, a linguagem mais atualizada é a GD&T. Esta padronização consiste em expressar os requisitos funcionais das peças em termos dos requisitos de aplicação do produto, respeitando os símbolos geométricos e as tolerâncias necessárias (SÁ et al., 2017).

Fazer e conferir constantemente o projeto permite à equipe obter um resultado mais correto e com menor necessidade de reprojetado. Nesta etapa também são selecionados os critérios para fatores de segurança e qualidade impostos no projeto, considerando o ciclo de vida dos componentes do equipamento (MONTGOMERY, 1985 apud NAVAS; REQUEIJO, 2012).

2.2.9 Prototipagem e teste

Nesta fase realiza-se uma avaliação em todo o sistema projetado a fim de encontrar pontos críticos que possam interferir na funcionalidade do produto, realizando uma análise entre eles a fim de organizar por ordem de maior relevância para o funcionamento (PAHL et al., 2005).

Após a seleção, estes sistemas são reproduzidos, em alguns casos em escala real e outros em menor escala, devido ao alto custo de fabricação, verificando-se assim se irão cumprir com a proposta ou função para a qual foram projetados. A avaliação permitirá que a equipe de desenvolvimento possa identificar possíveis melhorias e ajustes que se fazem necessários antes de encaminhar o produto para uma produção em larga escala (ROZENFELD et al., 2006).

Estes resultados são de grande valia, principalmente em produtos com maior valor agregado, pois demonstram se o projeto se encaminha para a solução esperada. Esta etapa é a mais crítica de todo o desenvolvimento de um produto pois irá mostrar se todo o tempo foi bem investido até o momento. Em algumas situações ocorre a necessidade de retornar alguns passos no desenvolvimento para poder melhorar a qualidade final do produto (MOTT, 2015).

2.2.10 Aprovação final

Esta é a etapa final do processo de desenvolvimento. Ela consiste em realizar a aprovação do produto utilizando todas as especificações acordadas desde o início do projeto até o momento. Estas informações são reunidas para formular um *check-list* do produto. Cada um dos pontos deve ser analisado criticamente e verificado, buscando incoerências. Este processo deve ser feito pela equipe de qualidade da empresa, ou, em empresas de menor porte que não dispõem de uma equipe específica, reúnem-se os responsáveis pelo processo (PAHL et al., 2005).

Esta aprovação pode ser feita em até três etapas (ROZENFELD et al., 2006):

- a) aprovação funcional, busca verificar se o sistema está atendendo a todas as exigências de função, a qual garante que o produto desempenhe as funções propostas;
- b) aceite técnico, consiste em realizar a aprovação do produto em relação às especificações de desempenho, garantindo que o projeto atenda a todas as exigências técnicas de produtividade, eficiência, garantia e qualidade;
- c) aprovação final, é a validação final do projeto, normalmente realizado pelo cliente ou pela diretoria da empresa, a qual permite concluir se o projeto atendeu as expectativas ou necessita de alguma melhoria.

Considerando que durante o desenvolvimento do trabalho não será executado as etapas de prototipagem e teste e aprovação final, devido à empresa não disponibilizar tais recursos.

2.3 ELEMENTOS MECÂNICOS

O projeto de mecanismos consiste em aplicar diversos conceitos mecânicos em conjunto para formar um sistema mecânico que busca encontrar uma solução para o problema apresentado. Cada conceito tem o intuito de contribuir com uma parcela da solução desde a estrutura do sistema até o mecanismo que irá executar a tarefa final. Abaixo conceitua-se alguns elementos de máquinas que podem auxiliar no desenvolvimento do produto (NORTON, 2010).

2.3.1 Acionamentos

São elementos de transformação de alguma fonte energética em movimento mecânico. Estes sistemas podem ser de uma grande variedade: acionamentos elétricos, pneumáticos, hidráulicos ou à combustão (NORTON, 2010).

Acionamentos elétricos são diferenciados por corrente contínua, como motores de passo, servomotores e cilindros lineares e rotativos, e corrente alternada, motores monofásicos ou trifásicos. Já os acionamentos pneumáticos, podem ser de dois tipos: motores ou cilindros lineares e rotativos, sendo necessário uma fonte de ar comprimido (BUDYNAS; NISBETT, 2012).

2.3.2 Elementos de transmissão

Em diversas aplicações, depara-se com a necessidade de transmitir a força de algum acionamento para a movimentação do sistema, nestes casos utiliza-se diversos elementos de potência. Os componentes podem ser desde eixo, parafuso, braço de movimentação, engrenagens, polias ou demais elementos que se enquadram nestas características (BUDYNAS; NISBETT, 2012).

Cada elemento tem sua particularidade de funcionamento fazendo com que o projetista precise analisar bem o projeto e entender a sua função, definindo qual o melhor elemento que atenderá essa aplicação. Assim deve-se verificar todas exigências e dados que definem o sistema, desde características físicas até (MOTT, 2015).

2.3.3 Sistemas de movimentação

São elementos que auxiliam na movimentação de elementos de um mecanismo. A gama de produtos disponíveis atualmente no mercado permite escolher os elementos de movimentação com maior facilidade. Os fornecedores proporcionam desde dados técnicos de produtos, até *softwares* que calculam a efetividade do elemento e se está adequado à aplicação (NORTON, 2010).

A facilidade de escolher dentre diversas opções como guias ou rolamentos lineares, buchas deslizantes, fuso de passo rápido, entre outros, faz com que o tempo de desenvolvimento do produto seja reduzido, permitindo agilidade na etapa da engenharia. A definição destes sistemas, da mesma forma que os elementos de transmissão, devem atender as especificações de projeto e conseguir atender as necessidades exigidas durante o processo de PDP (MOTT, 2015).

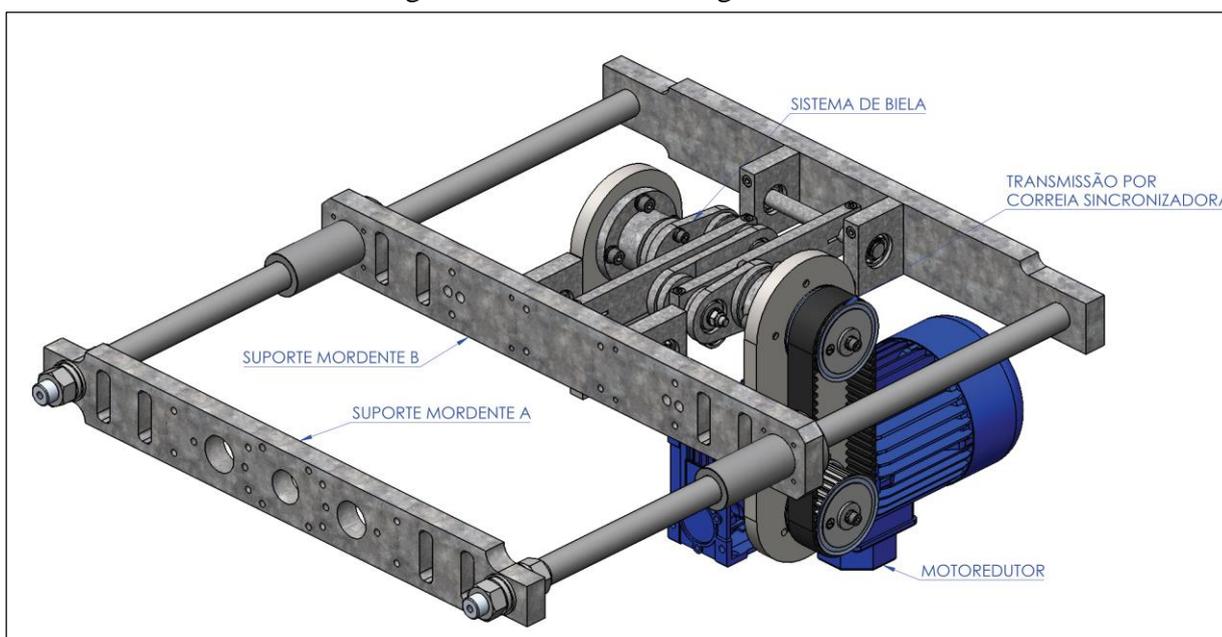
3 PROPOSTA DE SOLUÇÃO

A proposta de solução do sistema de selagem consiste em avaliar o desempenho atual do equipamento em busca da identificação de deficiências reportadas por clientes e técnicos, propondo uma nova solução que atenda às necessidades atuais de aplicação e possibilite ampliar a gama de clientes e soluções do mercado.

3.1 OBJETO DE ESTUDO

O sistema analisado compreende a função de abertura e fechamento dos mordentes que realizam a selagem e corte dos pacotes dos kits de uma máquina embaladora vertical. Este conjunto consiste em um mecanismo articulado de barras acionado por meio de um moto redutor que transmite a rotação do eixo acionador para um sistema de biela, a qual proporciona a movimentação simétrica dos mordentes. A Figura 3 apresenta o sistema objeto da proposta de solução.

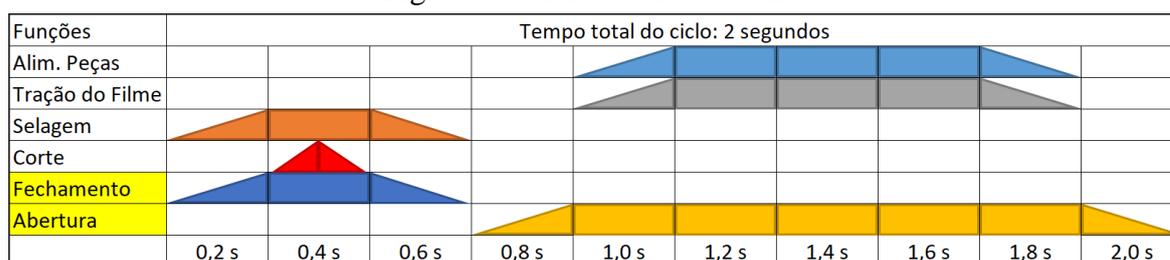
Figura 3 – Sistema de selagem atual



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

O processo completo responsável pela formação do pacote é composto por 6 etapas, onde 2 são realizadas pelo conjunto em análise e 4 por outros conjuntos dependentes entre si. Essas funções que trabalham em conjunto possibilitam a selagem entre pacotes e o corte para a divisão dos mesmos. A Figura 4 demonstra o ciclo atual com os respectivos tempos de cada função.

Figura 4 – Ciclo atual do sistema



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Abaixo segue descrição do ciclo do sistema atual:

- inicialmente é realizado o fechamento dos mordentes para iniciar o processo de selagem do primeiro pacote;
- durante o processo de selagem é acionado a faca de corte que divide o pacote inferior do superior;
- após finalizado o processo de selagem é realizado o processo de abertura dos mordentes;
- com os mordentes abertos inicia-se a alimentação das peças e o tracionamento do filme do pacote;
- reiniciando o processo.

3.2 MATERIAIS E MÉTODOS

Nessa seção serão expostos os procedimentos realizados durante a realização do trabalho, identificando os materiais e métodos que auxiliaram no processo de desenvolvimento do produto.

3.2.1 Análise do modelo atual e suas deficiências

O modelo atual apresenta problemas na concepção do projeto que foi definido por um sistema de biela confeccionado com várias peças montadas, componentes esses, fabricados separadamente. O sistema atual também se limita à execução de 30 ciclos por minuto.

O conjunto apresenta variação na posição de parada por 2 motivos:

- o acionamento é realizado por um motoredutor que não garante a posição de parada devido à folga no seu sistema de engrenagens e não possuir freio no motor;
- o sistema de biela é composto por rolamentos e uniões parafusada que apresentam folga com o tempo;

3.2.2 Utilizar conceitos e ferramentas PDP para identificar possíveis soluções

3.2.2.1 Pesquisa preliminar

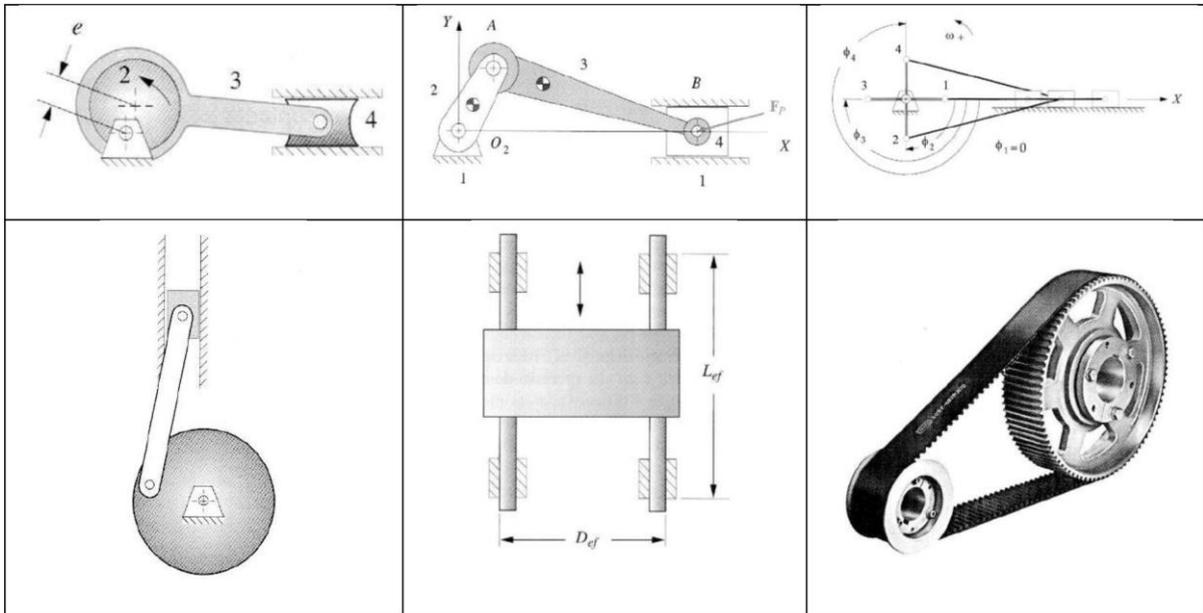
A pesquisa preliminar foi organizada em 3 etapas:

a) inicialmente foi realizado uma pesquisa no banco de dados da INPI (Instituto Nacional da Propriedade Industrial) no intuito de verificar se existe alguma patente ativa de algum sistema similar ao atual, que restrinja o desenvolvimento do novo modelo. Durante a pesquisa, não foram encontradas patentes ativas de sistemas de selagem de embaladoras verticais e sistemas de alimentação contínua de filmes.

b) os concorrentes que atualmente fornecem equipamentos que atendem a produção desejada. Também foram analisados, e identificou-se que sistemas de maior produtividade consistem em utilizar um segundo conjunto, que permite a alimentação de peças e a tração do filme durante a selagem do pacote.

c) na literatura, existem diversos modelos que permitem que o sistema articulado realize a movimentação esperada. Dessa forma, foram selecionados seis modelos, apresentados na Figura 5, que foram utilizados para a criação da matriz morfológica.

Figura 5 – Mecanismos encontrados na literatura aplicáveis ao sistema proposto.



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

3.2.2.2 Definição dos requisitos de projeto

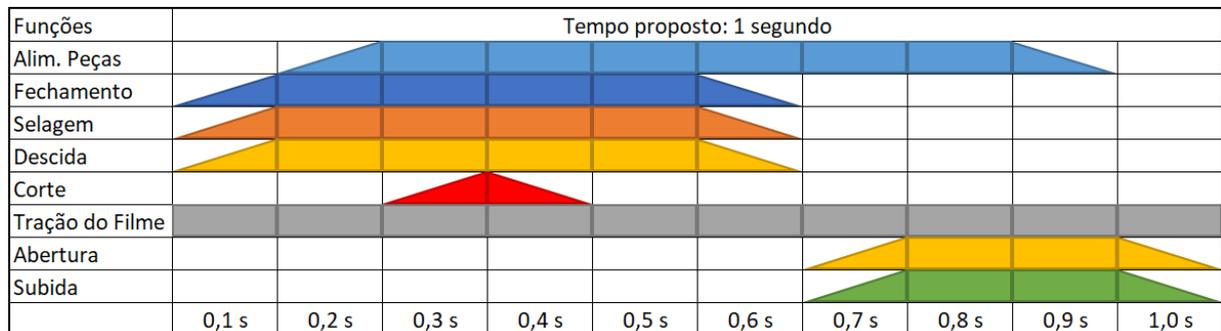
As especificações de desempenho devem ser consideradas para o desenvolvimento do modelo e posteriormente serão utilizadas para a aprovação do projeto. Segue abaixo as especificações determinadas:

- a) a produção máxima que o sistema deve atingir é de 60 ciclos por minuto;
- b) o espaço físico também é relevante, pois o sistema novo deverá ser intercambiável com o antigo para poder ser vendido como um *upgrade* em linhas de produção;
- c) o projeto deve minimizar a utilização de componentes fabricados internamente, reduzindo assim, o tempo de fabricação e montagem, além de priorizar fornecedores nacionais;

3.2.2.3 Ciclo ideal do sistema

Para atingir a produção de 60 ciclos por minuto a primeira definição é a reformulação do ciclo ideal para o sistema proposto. A reformulação propõe que o conjunto desempenhe mais de uma função durante o tempo de aplicação, assim, foi considerado que durante o tempo de selagem, o conjunto deverá acompanhar a tração do filme e aproveitar o tempo da movimentação vertical para realizar a alimentação de peças como demonstrado na Figura 6.

Figura 6 – Ciclo ideal



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

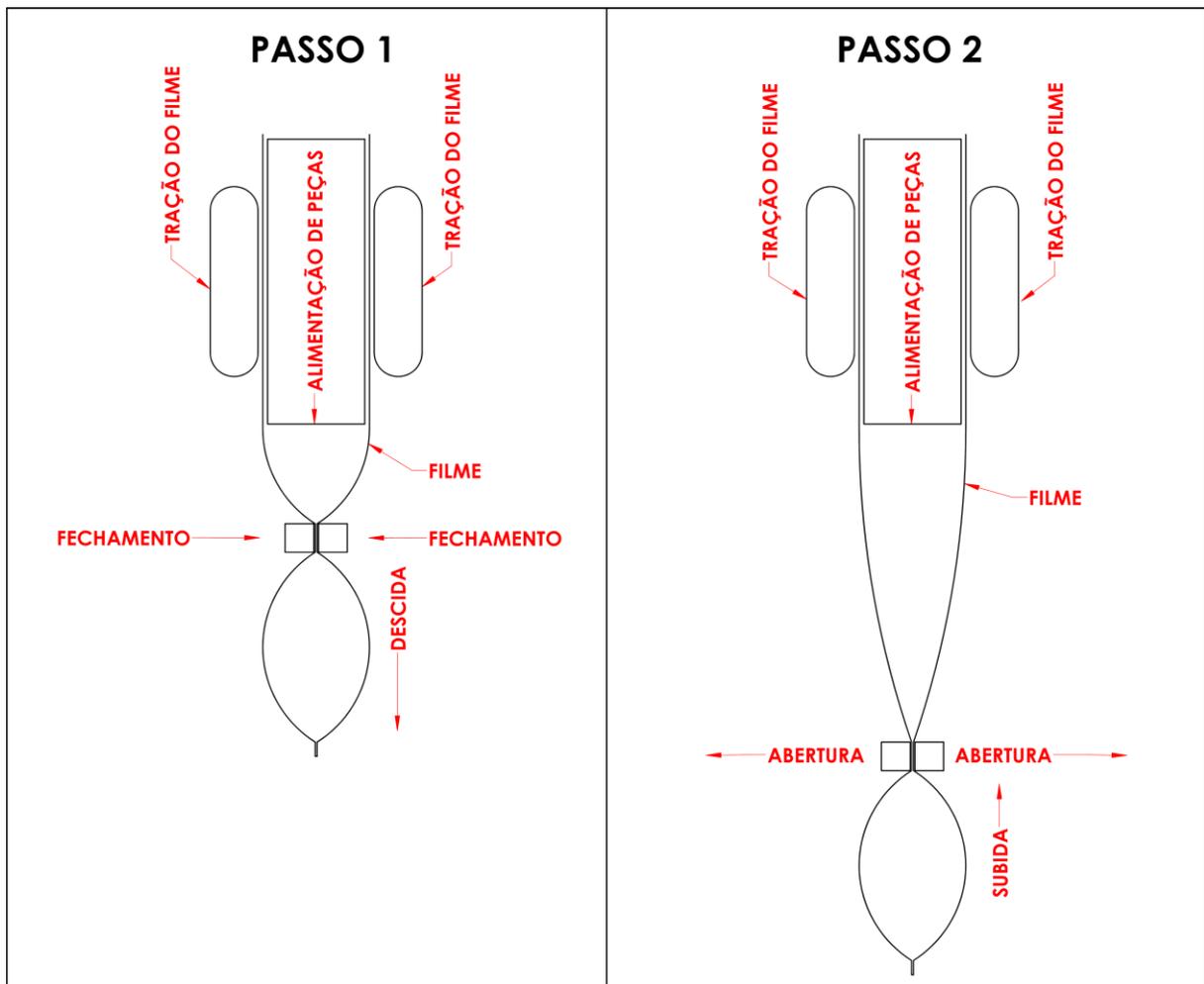
Abaixo segue descrição do ciclo ideal do sistema:

- a) o sistema de tração do filme se torna contínuo;
- b) durante o fechamento dos mordentes que inicia o processo de selagem do primeiro pacote é também iniciado o processo de descida do conjunto de selagem permitindo o início da alimentação das peças;
- c) durante o processo de selagem é acionado a faca de corte que divide o pacote inferior do superior;

- d) após finalizado o processo de selagem é realizado o processo de abertura dos mordentes e a subida do conjunto de selagem até retornar ao ponto inicial do processo;

Na Figura 7 é demonstrado o escopo desenvolvido a partir da pesquisa em concorrentes e pela definição do ciclo ideal do sistema, dessa forma conseguindo atingir a especificação de 60 pacotes por minuto.

Figura 7 – Escopo de sistema definido pelo ciclo ideal



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

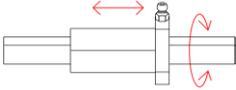
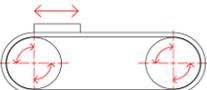
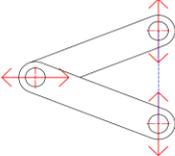
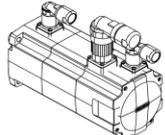
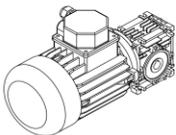
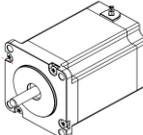
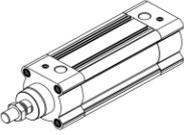
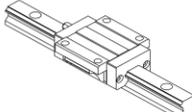
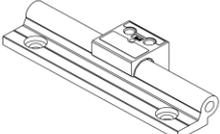
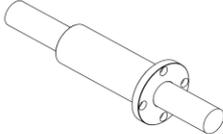
3.2.2.4 Idealização, invenção e análise

A idealização do sistema passou por uma etapa de sugestões internas de sistemas que possibilitam a solução do problema, ampliando ao máximo possível, o número de alternativas.

Dessas ideias, verificou-se que a melhor forma de desenvolvimento seria separar o projeto em dois: sistema de movimentação vertical e horizontal. Isso permitiu modelar duas matrizes morfológicas, cada uma com sua particularidade.

A matriz foi elaborada com o intuito de definir 3 modelos de sistemas que compõem a movimentação vertical. A identificação A se refere às subfunções e a B às alternativas de solução. A Figura 8 apresenta a modelagem da matriz do sistema vertical.

Figura 8 – Matriz morfológica movimentação vertical

A \ B		B			
		1	2	3	4
1	MECANISMOS	EIXO DE ESFERAS 	CORREIA SINCRONIZADA 	2 BARRAS CENTRAL 	ROTATIVO 
		SERVO MOTOR 	MOTOREDUTOR 	MOTOR DE PASSO 	PNEUMÁTICO 
		GUIAS LINEARES	CARRO + PATIN 	DRYLIN® 	ROLAMENTO LINEAR 

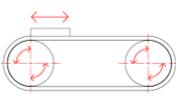
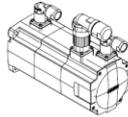
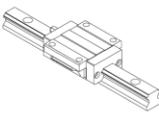
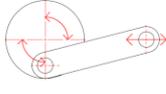
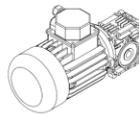
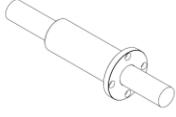
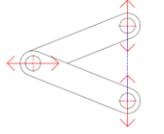
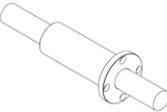
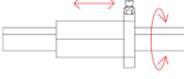
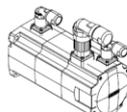
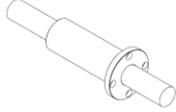
Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Para selecionar as melhores configurações possíveis na matriz morfológica foi definido 4 critérios de avaliação que foram comparados com o conjunto atual, a fim de verificar se os novos conjuntos apresentarão aumento ou redução na eficiência atual:

- a) custo;
- b) tamanho do pacote;
- c) precisão;
- d) velocidade;

Dessa forma, dentre as diversas opções possíveis, foi optou-se por 4 configurações, que apresentaram resultados que atenderam parcialmente ou em sua totalidade as especificações de desempenho, conforme Figura 9.

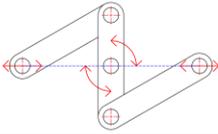
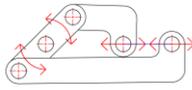
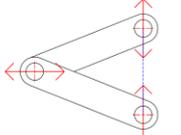
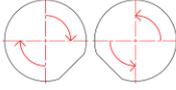
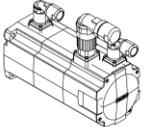
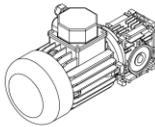
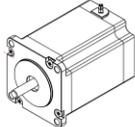
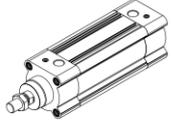
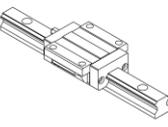
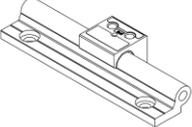
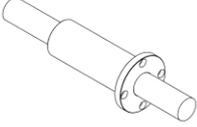
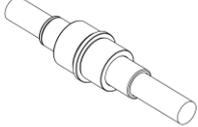
Figura 9 – Configurações selecionadas para movimentação vertical

CONFIGURAÇÃO 1			CONFIGURAÇÃO 2		
CORREIA SINCROINIZADA 	SERVO MOTOR 	CARRO + PATIN 	ROTATIVO 	MOTOREDUTOR 	ROLAMENTO LINEAR 
<ul style="list-style-type: none"> • Custo: + 150 % • Tamanho do pacote: 20 à 480 mm • Precisão: $\pm 0,5$ mm • Velocidade: + 150 % 			<ul style="list-style-type: none"> • Custo: + 50 % • Tamanho do pacote: 20 à 250 mm • Precisão: $\pm 0,01$ mm • Velocidade: + 300 % 		
CONFIGURAÇÃO 3			CONFIGURAÇÃO 4		
2 BARRAS CENTRAL 	PNEUMÁTICO 	ROLAMENTO LINEAR 	EIXO DE ESFERAS 	SERVO MOTOR 	ROLAMENTO LINEAR 
<ul style="list-style-type: none"> • Custo: + 25 % • Tamanho do pacote: 20 à 250 mm • Precisão: $\pm 1,0$ mm • Velocidade: + 50 % 			<ul style="list-style-type: none"> • Custo: + 200 % • Tamanho do pacote: 20 à 480 mm • Precisão: $\pm 0,1$ mm • Velocidade: + 100 % 		

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A Figura 10 apresenta a matriz morfológica do sistema horizontal, que proporcionou utilizar diversas opções similares ao sistema vertical e modelar alguns sistemas particulares.

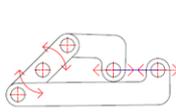
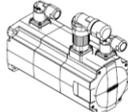
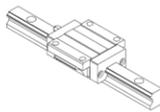
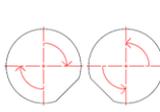
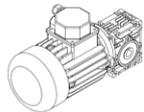
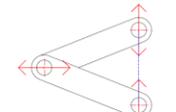
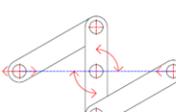
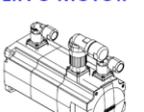
Figura 10 – Matriz morfológica movimentação horizontal

A	B	1	2	3	4
1	MECANISMOS	3 BARRAS CENTRAL 	3 BARRAS LATERAL 	2 BARRAS CENTRAL 	ROTATIVO 
2	ACIONAMENTO	SERVO MOTOR 	MOTOREDUTOR 	MOTOR DE PASSO 	PNEUMÁTICO 
3	GUIAS LINEARES	CARRO + PATIN 	DRYLIN® 	ROLAMENTO LINEAR 	BUCHA DE ESFERAS 

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Utilizando a mesma linha de raciocínio da movimentação vertical, optou-se por 4 configurações conforme identificadas na Figura 11.

Figura 11 – Configurações selecionadas para movimentação horizontal

CONFIGURAÇÃO 1			CONFIGURAÇÃO 2		
3 BARRAS LATERAL	SERVO MOTOR	CARRO + PATIN	ROTATIVO	MOTOREDUTOR	ROLAMENTO LINEAR
					
<ul style="list-style-type: none"> • Custo: + 150 % • Tamanho do pacote: 20 à 480 mm • Precisão: $\pm 0,5$ mm • Velocidade: + 100 % 			<ul style="list-style-type: none"> • Custo: + 50 % • Tamanho do pacote: Fixo = Perímetro rolo • Precisão: $\pm 0,01$ mm • Velocidade: + 300 % 		
CONFIGURAÇÃO 3			CONFIGURAÇÃO 4		
2 BARRAS CENTRAL	PNEUMÁTICO	ROLAMENTO LINEAR	3 BARRAS CENTRAL	SERVO MOTOR	ROLAMENTO LINEAR
					
<ul style="list-style-type: none"> • Custo: + 25 % • Tamanho do pacote: 20 à 480 mm • Precisão: $\pm 1,0$ mm • Velocidade: + 50 % 			<ul style="list-style-type: none"> • Custo: + 125 % • Tamanho do pacote: 20 à 480 mm • Precisão: $\pm 0,5$ mm • Velocidade: + 150 % 		

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

3.2.3 Definição do modelo a ser projetado

Os fatores de ponderação apresentados abaixo, foram utilizados para a determinação do modelo a ser projetado, que priorizou a viabilidade técnica do projeto. Com intuito de desenvolver um projeto que proporcione um aumento significativo no desempenho e eficiência, a primeira análise é proposta alocando valores maiores em eficiência, precisão e velocidade, considerando conforme descrito abaixo:

- Eficiência – 0,4 (Buscando eliminar ao máximo o número de assistências);
- Precisão – 0,2 (De forma que o equipamento apresente menor variação possível);
- Velocidade – 0,2 (Critério definido nas especificações de desempenho);
- Custo – 0,1 (Proporcionando utilizar sistemas mais tecnológicos);
- Segurança – 0,1 (O sistema se encontra enclausurado);

Porém, após a fabricação do protótipo poderá ocorrer uma nova avaliação, visando aumentar os critérios de custo e segurança, entregando uma solução completa ao mercado.

Considerando esses critérios, foi analisado cada uma das opções mencionadas nas matrizes morfológicas. Pesquisado em fontes de fornecedores e informações técnicas foi modelado a Figura 12, onde para a definição dos valores foi utilizado os seguintes critérios:

- a) os dados de eficiência, precisão e velocidade dos acionamentos e guias lineares foram retirados de catálogos de fornecedores;
- b) os dados de eficiência, precisão e velocidade dos mecanismos foi comparado entre eles de forma de considerar o mais eficiente como 10 e os demais de forma escalonada;
- c) em relação ao custo foi realizado um levantamento de valor de cada opção e realizado uma comparação entre os demais da mesma função;
- d) em relação à segurança foi analisado cada um a fim de definir o mais seguro como 10 e o menos seguro como 0, assim formando uma escala que proporcione visualizar cada um os pontos que proporcionem segurança para o operador;

Figura 12 – Valores de avaliação de subtarefas

Critério	Eficiência	Precisão	Velocidade	Custo	Segurança
Fator	0 à 10				
Eixo de Esferas	9,3	9,5	9,8	5,0	9,0
Correia Sincronizada	9,8	9,0	9,5	7,0	7,0
2 Barras Central	10,0	9,0	7,0	9,0	6,0
3 Barras Central	10,0	9,5	9,0	8,0	5,0
3 Barras Lateral	10,0	9,5	9,0	7,0	5,0
Rotativo	10,0	10,0	10,0	4,0	1,0
Servomotor	9,7	9,9	10,0	3,0	9,0
Motoredutor	8,5	8,0	9,0	6,0	6,0
Motor de Passo	8,0	9,0	6,0	5,0	7,0
Pneumático	7,0	8,0	5,0	9,0	4,0
Carro + Patin	9,9	9,9	9,5	5,0	9,0
Drylin	9,0	9,0	6,0	8,0	7,0
Rolamento Linear	9,7	9,8	9,9	7,0	9,0
Bucha de Esferas	9,5	9,5	9,0	4,0	9,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Com essas informações, foram modeladas as duas matrizes de decisão utilizando as alternativas de solução obtidas na matriz morfológica e fazendo uso de suas respectivas avaliações, referentes aos critérios definidos acima, conforme Figura 13 e 14.

Figura 13 – Matriz decisão movimentação vertical

VERTICAL	Legenda	Eficiência	Precisão	Velocidade	Custo	Segurança	TOTAL
Fator de ponderação	%	40%	20%	20%	10%	10%	100%
Projeto a	Avaliado	9,80	9,60	9,67	5,00	8,33	9,11
	Calculado	3,92	1,92	1,93	0,50	0,83	
Projeto b	Avaliado	9,80	9,90	9,97	4,67	6,33	8,99
	Calculado	3,92	1,98	1,99	0,47	0,63	
Projeto c	Avaliado	8,90	8,93	7,30	8,33	6,33	8,27
	Calculado	3,56	1,79	1,46	0,83	0,63	
Projeto d	Avaliado	9,17	9,10	9,57	6,00	8,00	8,80
	Calculado	3,67	1,82	1,91	0,60	0,80	

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A matriz do sistema vertical mostra que a opção de projeto “a” demonstrou a melhor pontuação, sobressaindo-se em relação aos fatores analisados, dessa forma, foi escolhido para ser desenvolvido o projeto 3D.

Figura 14 – Matriz decisão movimentação horizontal

HORIZONTAL	Legenda	Desempenho	Precisão	Segurança	Custo	Desgaste	TOTAL
Fator de ponderação	%	40%	20%	20%	10%	10%	100%
Projeto a	Avaliado	9,87	9,77	9,50	5,33	7,67	9,10
	Calculado	3,95	1,95	1,90	0,53	0,77	
Projeto b	Avaliado	9,23	9,43	8,30	6,33	7,00	8,57
	Calculado	3,69	1,89	1,66	0,63	0,70	
Projeto c	Avaliado	8,83	8,83	7,00	7,33	6,33	8,07
	Calculado	3,53	1,77	1,40	0,73	0,63	
Projeto d	Avaliado	9,80	9,73	9,63	6,00	7,67	9,16
	Calculado	3,92	1,95	1,93	0,60	0,77	

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A matriz do sistema horizontal demonstrou 2 sistemas com pontuação muito próximas, mas utilizando o mesmo critério de seleção do sistema vertical, será optado pelo projeto “d” para ser desenvolvido o projeto 3D.

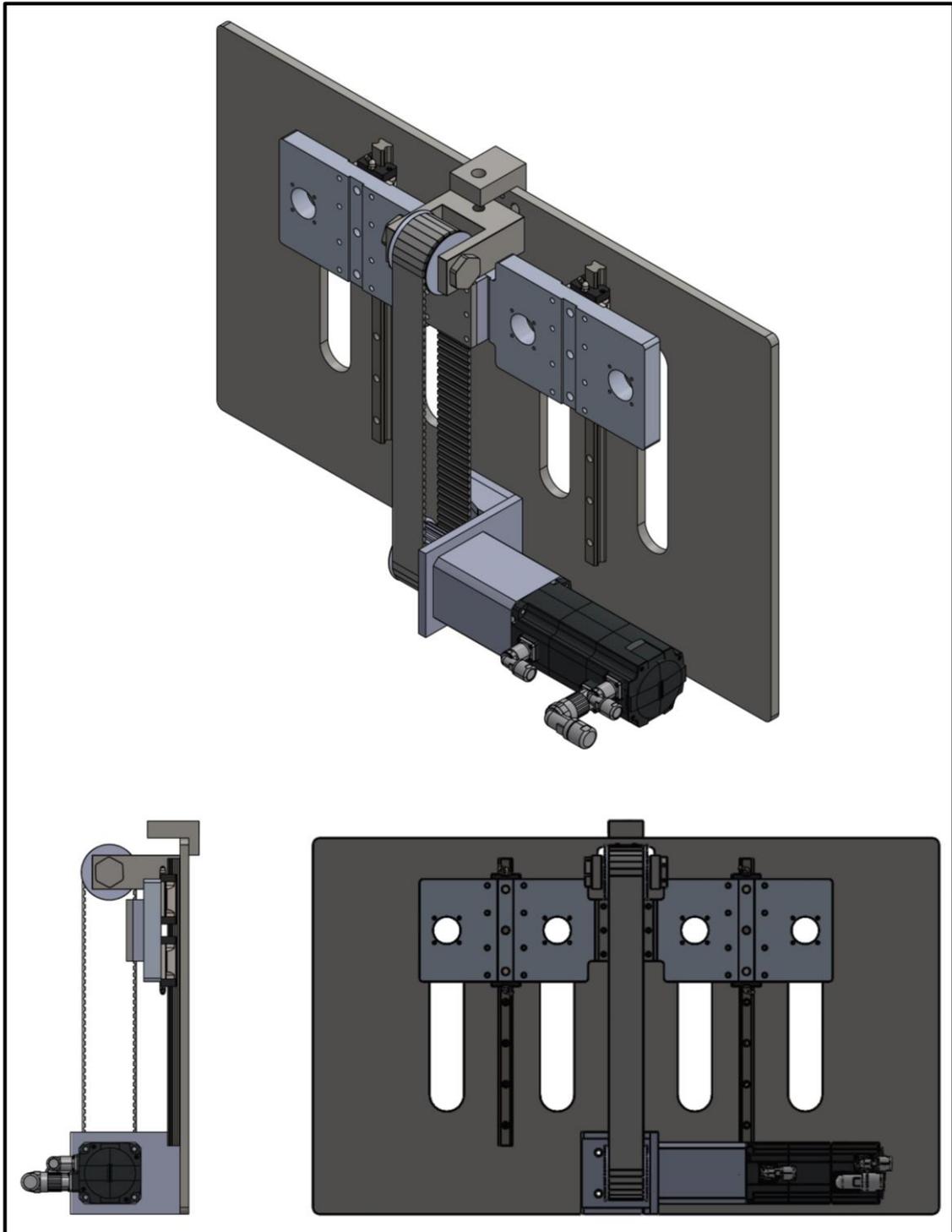
3.2.4 Modelagem 3D do sistema

A modelagem do sistema foi realizada no *software* SolidWorks, que permitiu desenvolver o novo sistema baseado nas definições da matriz de decisão, utilizando conceitos e experiências adquiridas durante a pesquisa preliminar e levando em consideração os aprendizados com sistemas antigos.

As peças, conjuntos e subconjuntos foram projetados buscando atender todas as especificações de desempenho descritas anteriormente, que buscam desenvolver um projeto com intuito de minimizar a necessidade de realizar intervenções do sistema *in loco*.

A Figura 15 apresenta a modelagem final do sistema vertical, onde apresenta a utilização do sistema de correia sincronizada como elemento de movimentação, acionado por um servomotor acoplado em um redutor planetário que reduz a folga de transmissão. Utilizado polias com a mesma dimensão que resulta em uma força apenas vertical, no mesmo sentido dos guias por carro e patin, reduzindo o esforço sobre as guias.

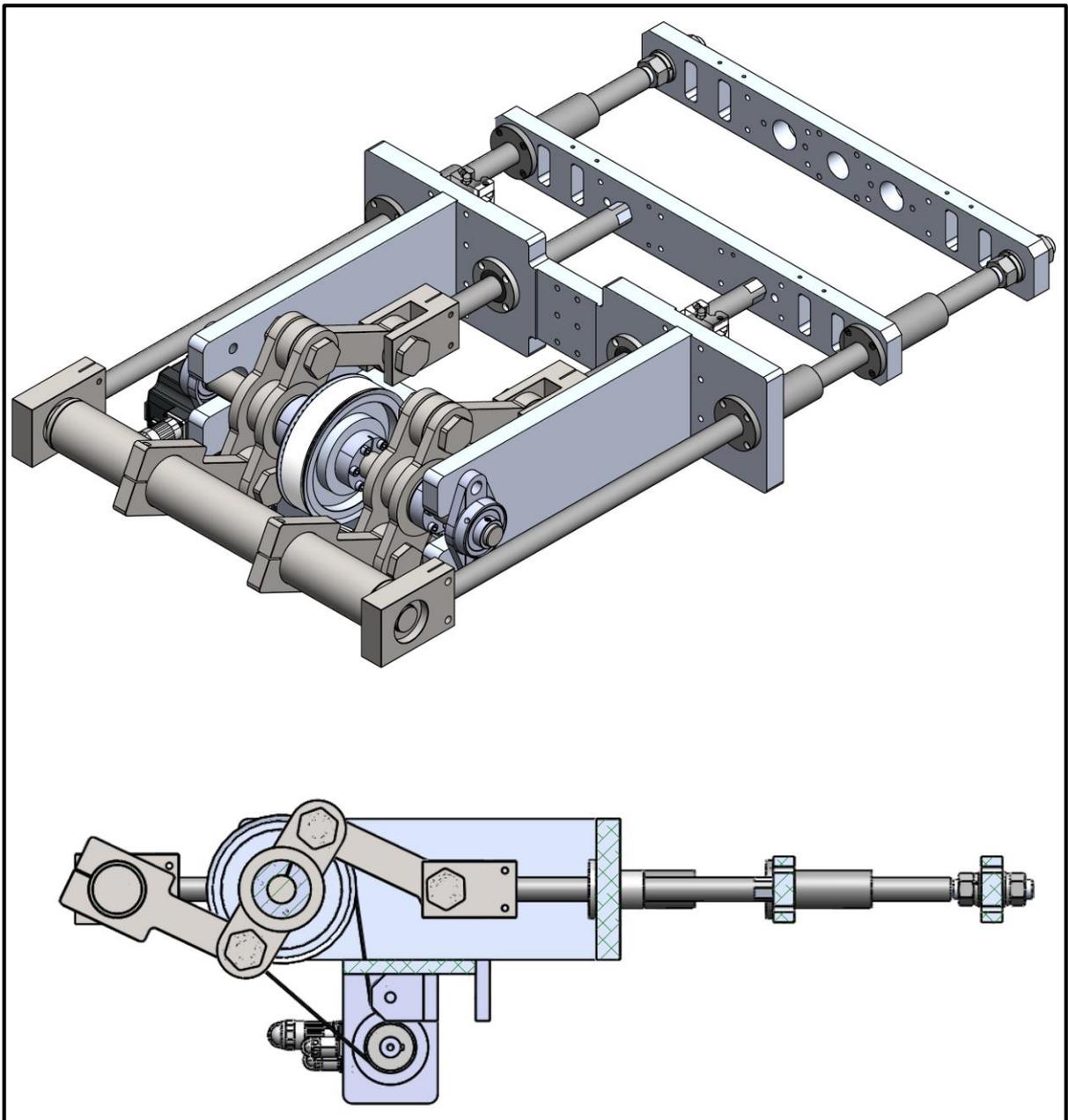
Figura 15 – Projeto do sistema vertical



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A Figura 16 apresenta a modelagem final do sistema horizontal, onde apresenta a utilização do sistema de 3 barras com acionamento central, um cada lado da polia de acionamento proporcionando assim a distribuição das forças de movimentação de forma simétrica. O acionamento é realizado através de um servomotor acoplado em um redutor planetário, que reduz a potência de acionamento necessária para a aplicação, e tracionado por uma correia sincronizadora. Os guias foram desenvolvidos por 6 rolamentos lineares distribuídos em 4 hastes para aumentar a precisão do sistema.

Figura 16 – Projeto do sistema horizontal

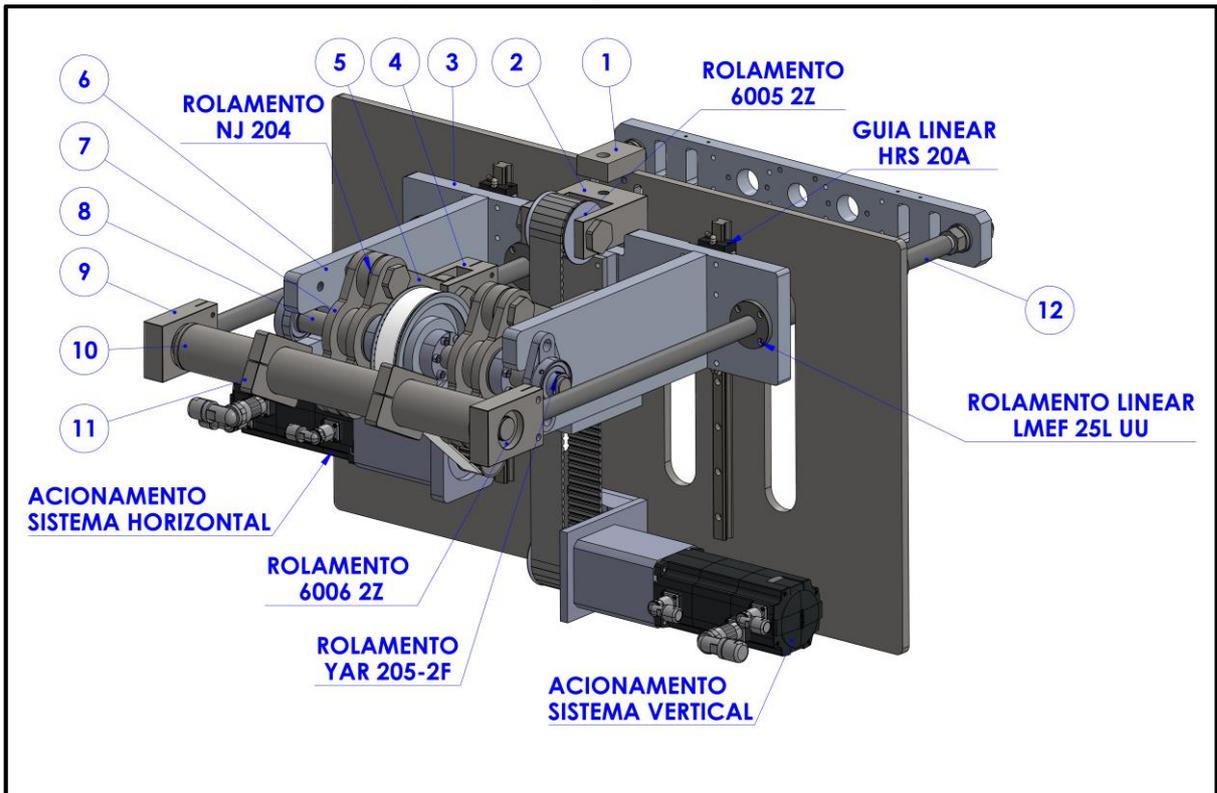


Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Esse capítulo apresenta os resultados obtidos na seleção dos componentes comerciais e das análises realizadas nas peças fabricadas de cada um dos novos sistemas e verificar se atingiram as especificações propostas. Na Figura 17 são identificadas as partes do sistema que foram analisadas.

Figura 17 – Componentes analisados



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A imagem acima apresenta a montagem completa dos 2 sistemas propostos, de forma de identificar todos os componentes que serão submetidos à alguma análise. Os componentes identificados foram subdivididos em acionamentos, rolamentos e guias e componentes fabricados, numerados de 1 a 12 identificados abaixo:

- 1) suporte do esticador;
- 2) suporte polia movida;
- 3) chapa de fixação da correia;
- 4) união haste e braço;
- 5) braço menor;
- 6) chapa fixação da articulação;
- 7) acionador dos braços;
- 8) eixo acionador dos braços;

- 9) mancal do rolamento externo;
- 10) eixo do rolamento externo;
- 11) braço maior;
- 12) haste guia externo;

Para identificação durante os cálculos será utilizado os nomes conforme acima.

4.1 ACIONAMENTOS

A primeira definição foi a realização do cálculo do acionamento de cada um dos sistemas, composto por servo motor e correia, onde os redutores e as reduções por polias foram definidos para atingir a velocidade de 60 pacotes por minuto, selecionados através de catálogo de fornecedores.

Para calcular o torque e a potência necessária para o acionamento de cada um dos servomotores conjuntos apresentados na Figura 17, foi utilizado as fórmulas abaixo:

$$M = J \cdot \alpha$$

e

$$P = M \cdot \omega$$

Onde:

- a) $J = \frac{1}{2} \cdot m \cdot r^2$
- b) $\alpha = \frac{n[\text{rpm}]}{9,55 \cdot t_A[\text{s}]}$
- c) $\omega = \frac{n[\text{rpm}]}{9550}$

Dessa forma abaixo foi desenvolvida a Tabela 1 que apresenta os dados de entrada e o resultado do torque e da potência calculado para cada um dos sistemas;

Tabela 1 – Cálculo do torque dos servomotores

Sistemas	Horizontal	Vertical
Massa do sistema [kg]	35	70
Raio da polia acionadora [m]	0,02697	0,038285
Velocidade da polia [rpm]	90	120
Tempo de aceleração [s]	0,25	0,25
Momento de inércia de massa [J]	0,01273 [kg.m ²]	0,0513 [kg.m ²]
Aceleração angular [α]	37,6963 [rpm/s]	50,2618 [rpm/s]
Torque [Nm]	0,48	2,578
Potência [kW]	0,005	0,0324

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Com intuito de validar os resultados obtidos acima foi solicitado junto aos fornecedores o auxílio para cálculo dos servomotores que atendam às necessidades da aplicação, apresentados no Apêndice A.

A partir dos dados apresentados no Apêndice A, foi realizado o cálculo das correias com o *software* do fornecedor Brecoflex, no qual apresentou a necessidade de utilização de uma correia de 25 mm para acionamento do sistema horizontal e de 32 mm para o sistema vertical.

Na Tabela 2, foi reunido todas as informações dos cálculos e definições para os 2 acionamentos do novo modelo e também é apresentado a comparação entre os valores calculados e os valores recomendados pelos fornecedores dos servomotores.

Tabela 2 – Dados dos acionamentos

Sistemas	Horizontal		Vertical	
	Cálculo	Fornecedor	Cálculo	Fornecedor
Potência do Servomotor	0,005 kW	0,37 kW	0,0324	0,55 kW
Torque do Servomotor	0,48 Nm	3,0 Nm	2,578 Nm	8,5 Nm
Redutor Planetário	01:05	-	01:10	-
Torque de Emergência do Redutor	396 Nm	-	354 Nm	-
Redução Polias	01:03	-	01:01	-
Tipo da Correia	AT10	-	AT10	-
Largura da Correia	25 mm	-	32 mm	-

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Os cálculos dos fornecedores apresentaram resultados 6 vezes maiores para o sistema horizontal e 3 vezes maiores para o sistema vertical. Avaliando os cálculos realizados pelos fornecedores foi constatado os cálculos são mais completos onde são levados em consideração momentos de inércia dos redutores e correias, picos de aceleração e picos de potência, onde o fator de segurança apresentado é superior à 2.

Esses dados serviram como base para cálculo e modelagem dos componentes comerciais e fabricados conforme demonstrado nos próximos capítulos.

4.2 COMPONENTES COMERCIAIS

Os componentes comerciais identificados na Figura 17 foram dimensionados buscando atender às especificações recomendadas acerca da vida conforme Figura 18, utilizando como referência a aplicação destacada, que melhor se enquadra na aplicação do equipamento projetado.

Figura 18 – Recomendações acerca da vida de mancais para vários tipos de aplicação

Tipo de aplicação	Vida, kh
Instrumentos e aparatos de uso não frequente	Até 0,5
Motores de aeronaves	0,5–2
Máquinas para operação curta, ou intermitente, em que a interrupção do serviço é de importância menor	4–8
Máquinas para serviço intermitente em que a confiabilidade de operação é de grande importância	8–14
Máquinas para serviço de 8 h que não são utilizadas de maneira plena	14–20
Máquinas para serviço de 8 h que são utilizadas de maneira plena	20–30
Máquinas para serviço contínuo de 24 h	50–60
Máquinas para serviço de 24 h em que a confiabilidade é de importância extrema	100–200

Fonte: Budynas e Nisbett (2011)

O cálculo da vida útil em horas de um rolamento é definido conforme equação abaixo definida pela norma ISO 281:2007:

$$L_{10h} = \frac{10^6}{60 \cdot n} \cdot \left(\frac{C}{P}\right)^p$$

Onde:

- L_{10h} = Vida nominal básica (com 90% de confiabilidade) em horas operacionais;
- C = Classificação de carga dinâmica básica [kN]
- P = Carga dinâmica equivalente do rolamento [kN]
- n = velocidade de rotação [rpm]
- p = expoente da equação de vida [3 para rolamento de esferas e 10/3 para rolamento de rolos]

Dessa forma utilizando *softwares* de cálculo dos fornecedores SKF e THK foi obtido os valores apresentados na Tabela 3, conforme Apêndices D, E, F, G e H, que demonstram os diagramas de corpo livre de cada componente.

Tabela 3 – Dados dos componentes comerciais

Componentes	C/P	Vida (kh)
Rolamento 6005 2Z	4,76	14,9
Rolamento 6006 2Z	4,6	54
Rolamento NJ 204	10,8	30
Rolamento YAR 205-2F	4,67	56,4
Rolamento Linear LMEF 25L UU	16,1	39
Guia Linear HRS20A	16,1	24,6

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Conforme a tabela acima todos os rolamentos atenderam às especificações de desempenho determinadas.

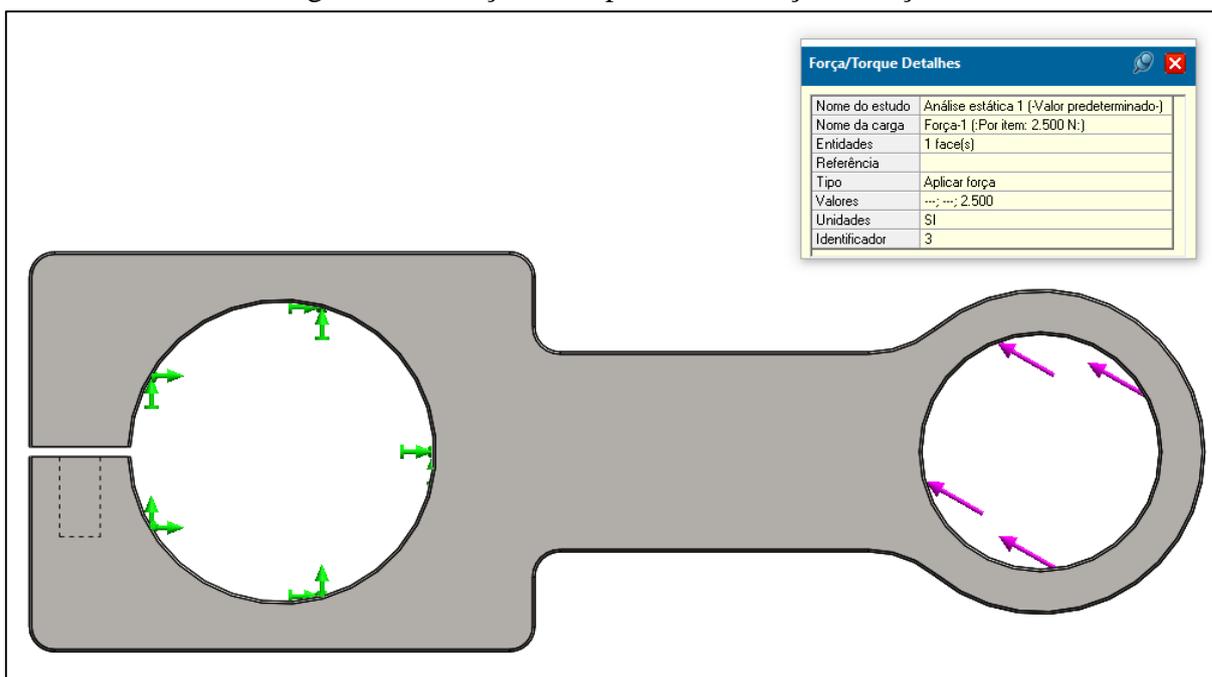
4.3 ANÁLISE DE INTEGRIDADE DOS COMPONENTES FABRICADOS

Os itens identificados na Figura 17 foram analisados utilizando ferramenta de elementos finitos para identificar pontos de concentração de tensão e calcular o fator de segurança.

4.3.1 Análise do fator de segurança por escoamento

As análises de elementos finitos foram realizadas utilizando o *software* SolidWorks Simulation que permite desenvolver o diagrama de corpo livre conforme apresentado na Figura 19, que demonstra o diagrama de corpo livre do braço maior. A face com pontos indicados em verde é a face de fixação do elemento e as flechas em rosa é identificado a face que está sob ação de um esforço e o sentido da força aplicada, com os dados apresentado na parte superior direita da imagem.

Figura 19 – Braço maior pontos de fixação e forças



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

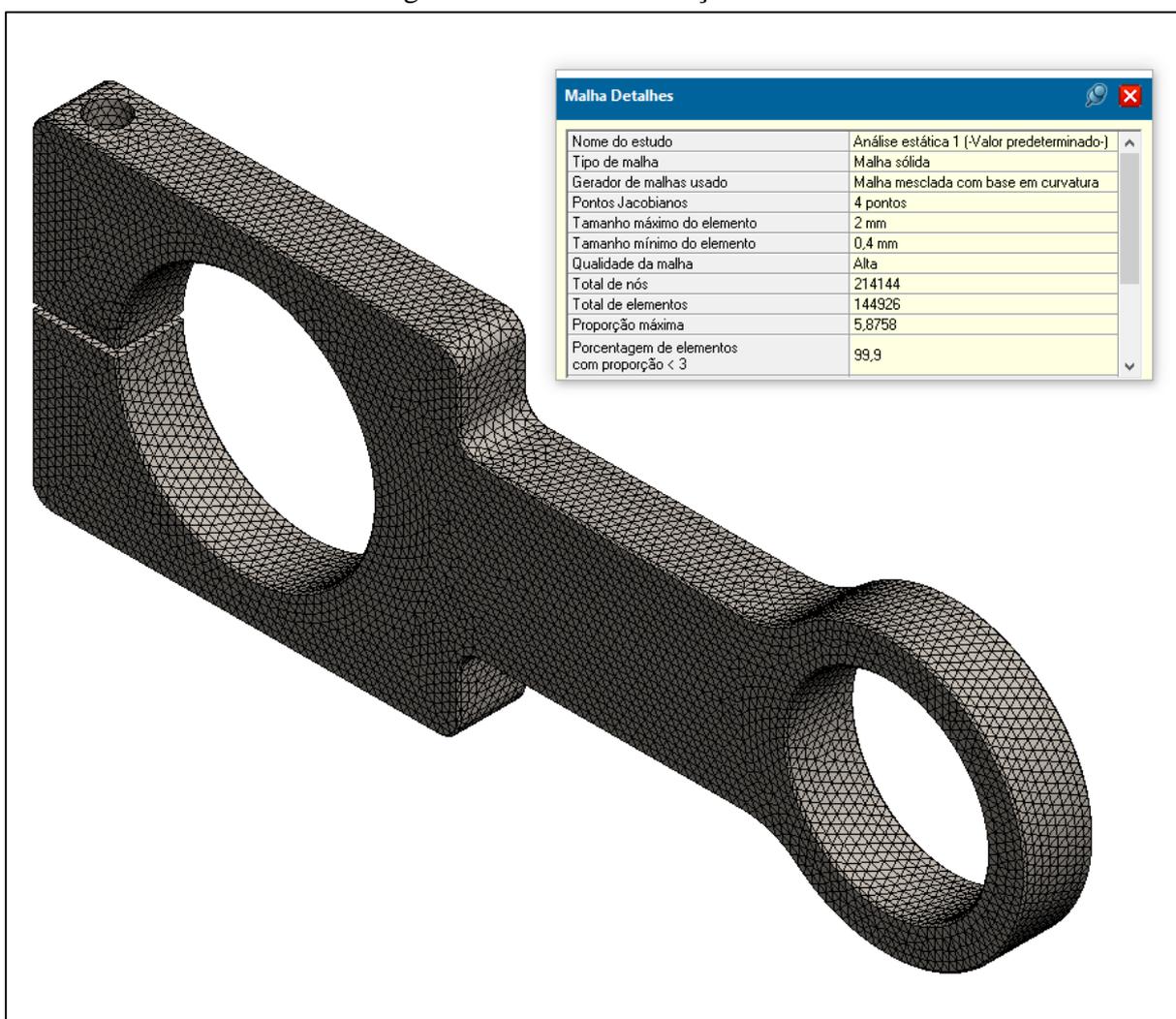
Após a definição do diagrama de corpo livre foi realizado a escolha do material da peça definido por AISI 1020 conforme dados abaixo:

- a) módulo de elasticidade = 200 GPa
- b) limite de escoamento = 352 MPa
- c) massa específica = 7900 kg/m³

- d) coeficiente de Poisson = 0,29 [-]
- e) módulo de cisalhamento = 77 GPa
- f) resistência à tração = 420 Mpa

Dessa forma foi realizado a geração da malha no *software* utilizando os parâmetros apresentados na tabela do canto superior direito da Figura 20, onde é apresentado também o resultado da malha utilizada para a execução da análise.

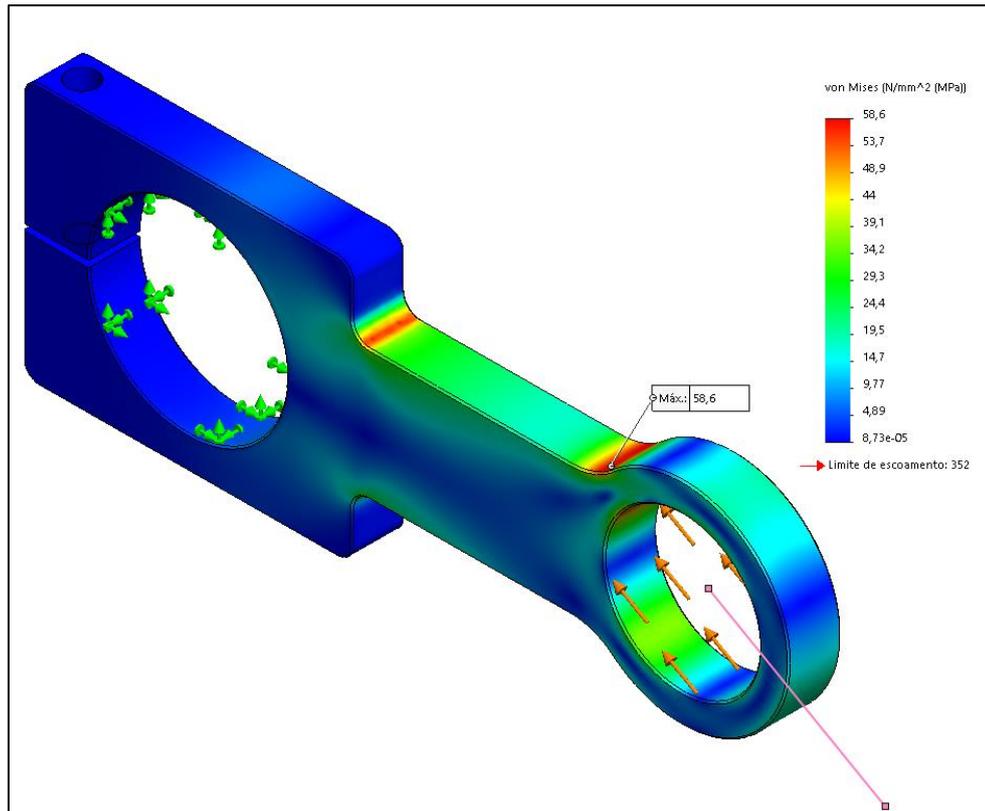
Figura 20 – Malha do braço maior



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

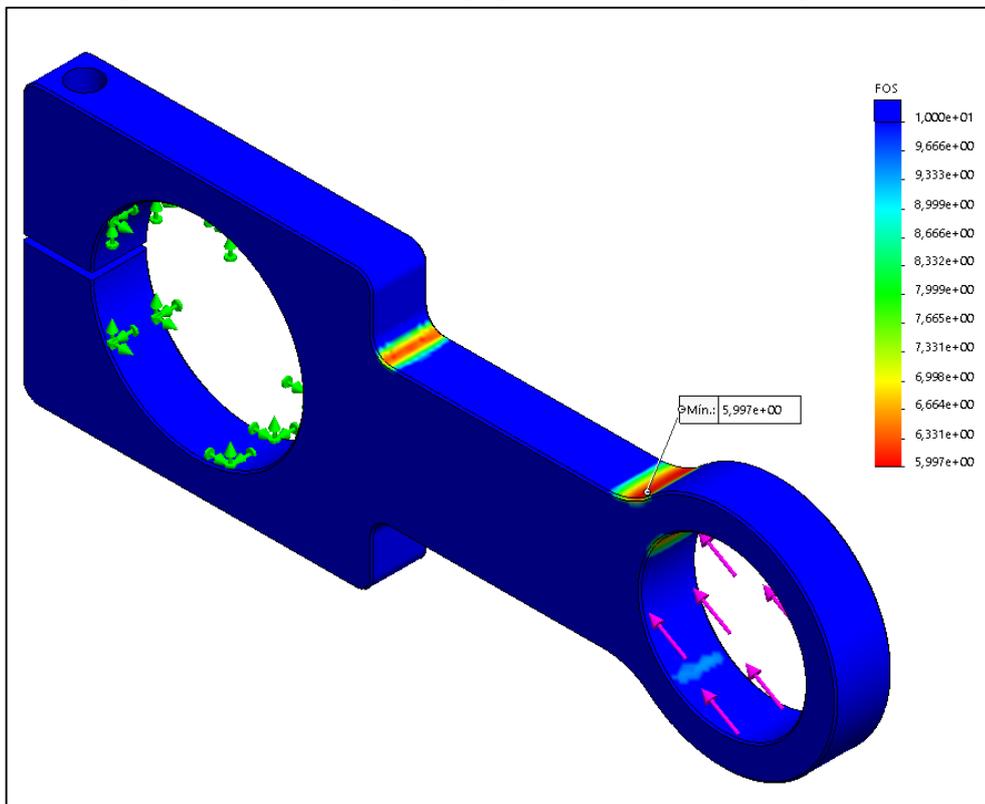
Conforme informações das Figuras 19 e 20, foi rodado a análise de elementos finitos, que apresentou os diversos resultados. Dessa forma os resultados mais relevantes para esse estudo são a tensão máxima de von Mises e o fator de segurança por escoamento apresentados nas Figuras 21 e 22.

Figura 21 – Tensão máxima apresentada no braço maior



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Figura 22 – Fator de segurança por escoamento do braço maior



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Dessa forma, utilizando o mesmo passo para todos os demais componentes fabricados que são responsáveis pela movimentação dos conjuntos foi gerando a Tabela 4, que apresenta os dados de material utilizado, tensão máxima e fator de segurança obtidos através das análises individuais com suas particularidades.

Tabela 4 – Dados dos componentes comerciais

Componente	Material	Tensão Máxima von Mises	Fator de Segurança
Suporte do esticador	Aço Carbono 1020	16,4 MPa	21
Suporte da polia movida	Aço Carbono 1020	76,7 MPa	4,6
Chapa de fixação da correia	Alumínio 5052 – H32	18,5 MPa	10,5
União haste e braço	Aço Carbono 1020	25,9 Mpa	14
Braço menor	Aço Carbono 1020	55,3 MPa	6,4
Chapa fixação da articulação	Alumínio 5052 – H32	14,3 MPa	13,6
Acionador dos braços	Aço Carbono 1020	6,08 MPa	57,8
Eixo acionador dos braços	Aço Carbono 1020	22,5 MPa	15,6
Mancal do rolamento externo	Aço Carbono 1020	13,5 MPa	26
Eixo do rolamento externo	Aço Carbono 1020	34,5 MPa	10,2
Braço maior	Aço Carbono 1020	58,6 MPa	6,0

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

Com o intuito de comprovar se os fatores de segurança apresentados na tabela acima atendem à aplicação, foi utilizado a Figura 23 que apresenta fatores para a determinação do fator de segurança utilizando como parâmetro as informações e as qualidades das informações utilizadas para avaliar os componentes proposto por Norton (2013).

Figura 23 – Fatores orientativos para determinação de coeficientes de segurança

Tabela 1-3 Fatores utilizados para determinar um coeficiente de segurança para materiais dúcteis

Informações	Qualidade das informações	Fator
		F1
Dados das propriedades dos materiais disponíveis a partir de testes	O material realmente utilizado foi testado	1,3
	Dados representativos de testes do material estão disponíveis	2
	Dados razoavelmente representativos de testes do material estão disponíveis	3
	Dados insuficientemente representativos de testes do material estão disponíveis	5+
		F2
Condições ambientais nos quais será utilizado	São idênticas às condições dos testes de materiais	1,3
	Essencialmente igual ao ambiente de um laboratório comum	2
	Ambiente moderadamente desafiador	3
	Ambiente extremamente desafiador	5+
		F3
Modelos analíticos para forças e tensões	Os modelos foram testados em experimentos	1,3
	Os modelos representam precisamente o sistema	2
	Os modelos representam aproximadamente o sistema	3
	Os modelos são aproximações grosseiras	5+

Fonte: Norton (2013)

A fórmula proposta por Norton (2013), considera que o coeficiente global de segurança é definido pelo maior valor dos três fatores escolhidos na Figura 19:

- a) $F1 = 2$;
- b) $F2 = 2$;
- c) $F3 = 5+$;

O suporte da polia movida apresentou o fator abaixo de 5 e dessa forma, a fim de fazer uma análise mais crítica, foi proposta a realização de uma análise por fadiga.

4.4 FATOR DE SEGURANÇA POR FADIGA

Para calcular o fator de segurança por fadiga do suporte da polia movida, primeiramente foi encontrado o limite de resistência à fadiga conforme equação e parâmetros definidos abaixo.

$$S_e = k_a \cdot k_b \cdot k_c \cdot k_d \cdot k_e \cdot k_f \cdot S_e'$$

Onde:

- f) $k_a = a S_{ut}^b = 0,899$ [Usinado ($a = 4,51$ e $b = -0,265$)]
- g) $k_b = 1$ [Carregamento Axial]
- h) $k_c = 1$ [Valores obtidos por MEF]
- i) $k_d = 1$ [Temperatura de 20°C]
- j) $k_e = 0,814$ [Confiabilidade 99%]
- k) $k_f = 1$ [Não há efeitos diversos]
- l) $S_{ut} = 440$ Mpa
- m) $S_e' = 220$ Mpa

Assim o limite de escoamento à fadiga é:

$$S_e = 161 \text{ MPa}$$

Para determinar o coeficiente de segurança utilizou-se a equação abaixo:

$$N_f = \frac{S_n}{\sigma'_a} = \frac{161 \text{ Mpa}}{76,7 \text{ Mpa}}$$

$$N_f = 2,1$$

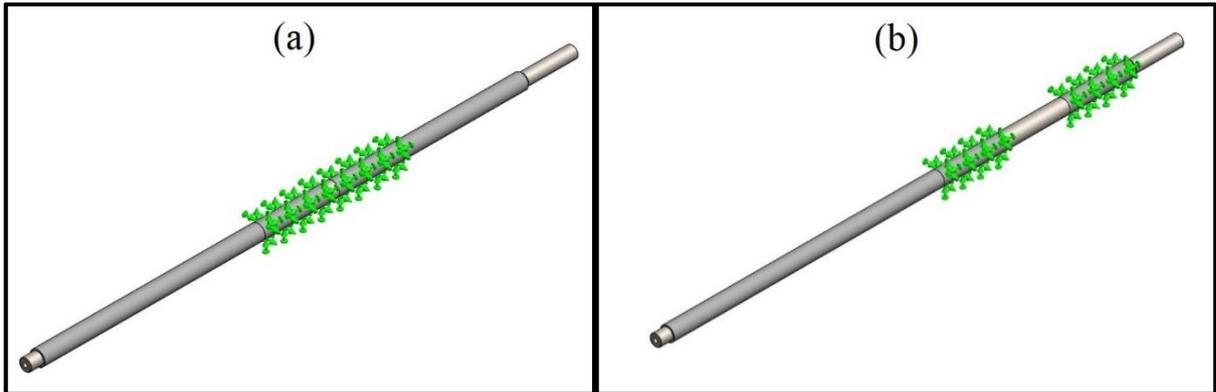
Onde S_n é a resistência à fadiga do material e σ'_a é a tensão alternada de von Mises.

Considerando o coeficiente de segurança à fadiga igual à 1, recalculou-se o fator de confiabilidade k_e encontrando a variante de deformação $Z\alpha$ superior à 6, encontrando a possibilidade de que ocorra falha na peça superior à 1:1.000.000.000.

4.5 ANÁLISE DE FREQUÊNCIA

A haste guia externa tem o objetivo de sustentar e guiar a movimentação do sistema horizontal. Por ser uma peça de grande importância, foi realizada uma análise modal nas duas posições extremas da movimentação com intenção de verificar se, em algum dos módulos de vibração, o valor se aproximaria da frequência de trabalho que é 2 Hz.

Figura 24 – Posicionamento do eixo (a) como carro recuado e (b) avançado



Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

A análise modal identificou os cinco primeiros modos de vibrar do eixo e suas respectivas frequências conforme apresentado na Tabela 5:

Tabela 5 – Valores dos módulos de vibração da haste guia externa

Forma modal	Frequência posição recuado	Frequência posição avançado
1	120,51 Hz	74,23 Hz
2	120,54 Hz	74,23 Hz
3	245,03 Hz	460,01 Hz
4	245,1 Hz	460,03 Hz
5	741,66 Hz	1.268,2 Hz

Fonte: Elaborado pelo autor (2019)

O primeiro modo de vibrar apresentou uma frequência cerca de 35 vezes maior que a frequência de operação do sistema. Budynas e Nisbett (2011) sugerem que elementos elásticos sob ação de cargas dinâmicas devem ter as frequências naturais de pelo menos 15 vezes maiores que a frequência de trabalho. Assim, os resultados obtidos indicam que o eixo analisado se apresenta suficientemente rígido e que não sofrerá efeitos de ressonância.

5 CONCLUSÃO

O trabalho apresentou uma sequência de atividades realizadas para executar o reprojeto de um sistema de selagem buscando desenvolver um novo modelo que atendesse às especificações de produção e dimensionamento.

O modelo PDP foi utilizado de forma a realizar a avaliação do sistema atual e estabelecer a necessidade do projeto do novo sistema. Dessa forma, utilizando as ferramentas do processo, desenvolveu-se um novo escopo do projeto bem como suas matrizes morfológicas e de decisão para definir em qual conjunto de sistemas deveria ser dado andamento e realizar a modelagem 3D, a qual foi desenvolvida da forma mais fiel possível a proposta final do projeto, o que auxiliou durante o dimensionamento dos acionamentos, componentes comerciais e dos componentes fabricados.

Os servomotores e redutores atenderam às expectativas dimensionais e de potências necessárias para o funcionamento pleno do conjunto, já as correias, foram dimensionadas para que as dimensões escolhidas atendessem a aplicação.

Os itens comerciais apresentaram resultados de coeficiente de carga e vida útil que atenderam as necessidades da aplicação de cada conjunto, porém, alguns apresentaram valores mais elevados, que poderão ser avaliados futuramente.

Para os componentes fabricados, foram obtidos valores de fator de segurança por escoamento acima de 5, porém, em uma peça o valor obtido foi menor, submetendo-a então, a uma análise de fadiga. O suporte da polia movida foi avaliado conforme condições de aplicação da peça e do sistema, apresentando aproximadamente, uma possibilidade de que ocorra falha em 1:1.000.000.000 de ciclos.

A haste guia externa foi submetida a uma análise de frequência, na qual verificou-se os 5 primeiros modos de vibrar, que apresentaram valores 15 vezes maiores que a frequência de trabalho, eliminando assim a possibilidade de o componente entrar em ressonância.

Analisando o projeto como um todo, os resultados obtidos nesse trabalho comprovam que os novos sistemas atingiram às expectativas, possibilitando um avanço para a realização das etapas de prototipagem e testes, que não foram desenvolvidas durante esse trabalho.

A realização desse trabalho auxiliou a rever a forma como a empresa abordava cada necessidade de melhoria e desenvolvimento de novos produtos, permitindo assim entender a importância de investir tempo na pesquisa e análise das informações obtidas, antes de iniciar o desenvolvimento do projeto.

6 REFERÊNCIAS

- ANDREOLI, Taís P.; AHLFELDT, Rony. **Organização de sistemas produtivos: decisão estratégica e táticas**. 1ª Edição. Curitiba: InterSaberes, 2014. Disponível em: <https://ucs.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788544301197>. Acesso em: 5 abr. 2018.
- ASHBY, Michael. **Seleção de materiais no projeto mecânico**. 4ª Edição. Rio de Janeiro: Elsevier, 2012.
- BHUIYAN, Nadia. A framework for successful new product development. **Journal of Industrial Engineering and Management**, 2011, Vol. 4, N°4, p.746-770, Canada.
- BUDYNAS, Richard G.; NISBETT, J. Keith. **Elementos de máquinas de Shigley: projeto de engenharia mecânica**. 8ª Edição. Porto Alegre: AMGH, 2011.
- FREITAS, Fabrizio Leal; FERREIRA, Mauro Pacheco; MATSUO, Tiago Kaoru; FORCELLINI, Fernando Antônio; OROFINO, Maria A. R. . **Processo de desenvolvimento de produto: Aplicação em um projeto de P&D dentro do programa ANEEL. Método de Taguchi na parametrização de uma linha de embalagens BOPP. XXIV Seminário Nacional de Perques Tecnológicos e Incubadoras de Empresas**, 2014, Pará.
- LÉLIS, Eliacy Cavalvanti. **Gestão da produção**. 1ª Edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2014. Disponível em: <https://ucs.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788543010113>. Acesso em: 01 jun. 2018.
- MOTT, Robert L. **Elementos de máquinas em projetos mecânicos**. 5ª Edição. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2015. Disponível em: <https://ucs.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788543005904>. Acesso em: 8 abr. 2018.
- NAVAS, Helena V.G.; REQUEIJO, José Gomes. Integração de projeto robusto e controle estatístico do processo (SPC). In: CONGRESO ARGENTINO DE INGENIERÍA MECÂNICA, 3ª Edição, 2012, Buenos Aires.
- NORTON, Robert L. **Cinemática e dinâmica dos mecanismos**. 1ª Edição. Porto Alegre: AMGH, 2010.
- NORTON, Robert L. **Projeto de máquinas: uma abordagem integrada**. 4ª Edição. Porto Alegre: Bookman, 2013.
- PAHL, Gerard; BEITZ, Wolfgang; FELDHUSEN, Jörg; GROTE, Karl-Heinrich. **Projeto na Engenharia: fundamentos do desenvolvimento eficaz de produtos, métodos e aplicações**. 6ª Edição. São Paulo: Edgard Blücher, 2005.
- PERALTA, C. B. L.; LERMEN, F. H.; MATIAS, G. S.; SILVA, V. L.; ROBEIRO, G. F.; ECHEVESTE, M. E. S. **Princípio Lean no processo de desenvolvimento de produto (PDP) - uma abordagem qualitativa**. **Revista Espacios**, 2017, Vol. 38, N°27, p. 35, Venezuela.

ROSSETTI, Germán; GIRAUDO, Facundo; MURER, Pablo; ARCUSIN, Leticia. Comparative analysis of product development process management models. **American Journal of Industrial Engineering**, 2014, Vol. 2, Nº 1, p.5-9, Estados Unidos

ROZENFELD, H.; FORCELLINI, F. A.; AMARAL, D. C.; TOLEDO, J. C.; DA SILVA, S. L.; ALLIPRANDINI, D. H.; SCALICE, R. K. **Gestão de desenvolvimento de produtos: uma referência para melhoria do processo**. 1ª Edição. São Paulo: Saraiva, 2006.

SÁ, Djalma de; COSTA, Felipe A. N.; MACHADO, Sedenilso A.; PRADO JUNIOR, Tarcis. **Desenvolvendo novos produtos: conceitos, etapas e criação**. 1ª Edição. Curitiba: InterSaberes, 2017. Disponível em: <https://ucs.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788559722956>. Acesso em: 5 abr. 2018.

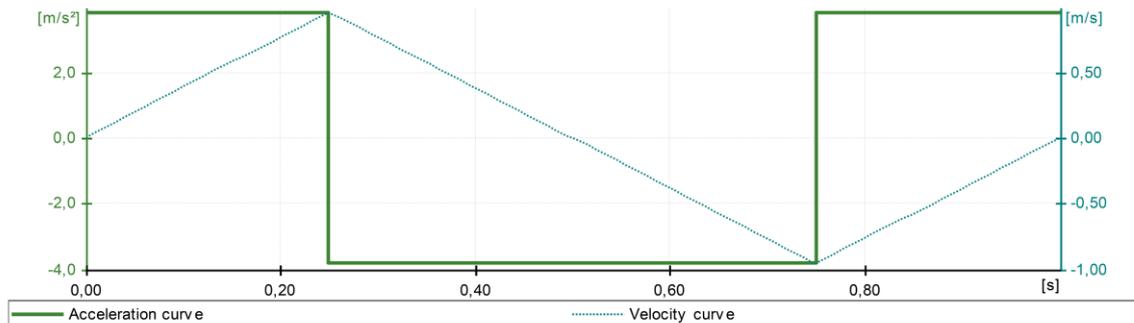
SEMELE, Robson; PAULA, Alessandra de. **Projeto de produto: planejamento, desenvolvimento e gestão**. 1ª Edição. Curitiba: InterSaberes, 2013. Disponível em: <https://ucs.bv3.digitalpages.com.br/users/publications/9788582127858>. Acesso em: 11 maio 2018.

TONDOLO, Rosana R.O.; COSTA, Carlos Alberto; TONDOLO, Vilmar A. G. **Processo de desenvolvimento de produtos: um estudo de casos múltiplos no sul do Brasil**. **Revista de Administração da UNIMEP**, 2014, Vol. 12, Nº1, São Paulo.

APÊNDICE A – DIMENSIONAMENTO DOS SERVOMOTORES

Drive: Drive system (Supply system) Hoist drive

Traversing profiles



		Section 1	Section 2
	Entries	s,t->a(ab=av)	s,t->a(ab=av)
	Direction	Forward, up	Backward, down
Default values	Traversing distance	mm	240,000
	Travel time	s	0,50000
Load values	Additional only for constant speed	no	no
	Brake during pause	no	no
Attained values	Max. velocity	m/s	0,960
	Max. acceleration	m/s^2	3,84000
	Max. deceleration	m/s^2	3,84000
	Travel time	s	0,50000
	~ Acceleration	s	0,25000
	~ Constant speed	s	0,00000
	~ Deceleration	s	0,25000

General specifications

Allow for friction by means of control at standstill	Yes
Allow for mechanical limit values	No
Allow for rounding	No

Overview of total cycle

Cycle time	[s]	1,00000
------------	-----	---------

Drive: Drive system (Supply system) Hoist drive

Mechanics: Hoist drive

Masses	Steady payload	[kg]	70,000
	Internal mass	[kg]	2,000
	Counterweight	[kg]	0,000
	Weight compensation	[N]	0,000
Moments of inertia	Additional inertia in relation to the load	[kg m ²]	0,000000
	Additional inertia in relation to the motor	[kg m ²]	0,000000
Mechanics	Diameter of the drive wheel	[mm]	76,570
	Reeving		1
Friction	Friction torque	[Nm]	0,00
	Efficiency of the mechanical system		1,000

Gearbox

Type	Gear ratio	Moment of inertia [kg m ²]	Efficiency
Additional gearbox	10,000	0,000000	1,000

Motor: 1FK7062-2AC71-1QG0 Compact (generation 2); 2000,00 rpm; 7,00 Nm; 2,65 A; (M0 = 8,50 Nm; I0 = 3,00 A)

Peak values	Required	Available	Utilization	Motor current
Maximum speed	2394,50 rpm	3200,00 rpm	74,8 %	
with max. torque	4,89 Nm	12,00 Nm	40,7 %	2,49 A
Maximum torque	4,89 Nm	12,00 Nm	40,7 %	2,49 A
at speed	2394,50 rpm			
Torque at max. load	4,89 Nm	12,00 Nm	40,7 %	
Speed at max. load	2394,50 rpm			
Effective values	Required	Available	Utilization	Motor current
Effective torque	3,47 Nm	7,65 Nm	48,5 %	1,24 A
at speed	1197,25 rpm			
Motoring power	0,17 kW			
Generating power	0,17 kW			
	External	Motor	External/motor ratio	
Moments of inertia	0,001055 kg m ²	0,001120 kg m ²	0,94	

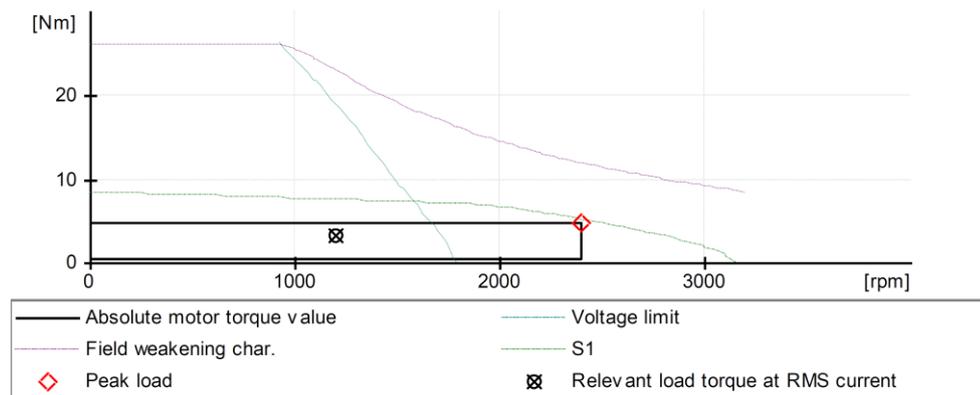
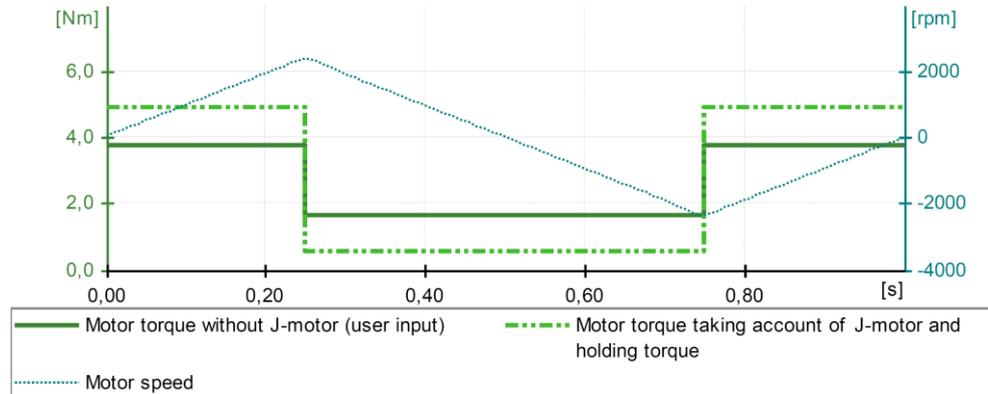
Power unit: 6SL3210-1PE11-8AL1; SINAMICS S120 AC/AC; 1,70A / 0,55 kW

	Required	Available	Utilization
Continuous current / relevant rms current	1,33 A	1,70 A	78,0 %
Maximum current	2,49 A	2,60 A	95,9 %

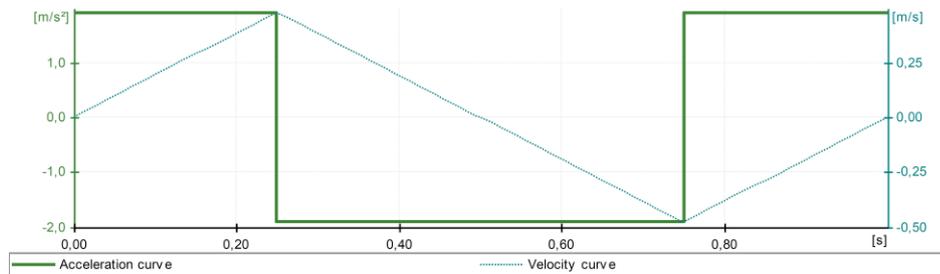
Braking resistors

Quantity	Constant power	Peak power	Load duration	Cycle time	Braking Module
1	0,07 kW	1,50 kW	12,0 s	240,0 s	Integrated

Load curve on the motor



Traversing profiles



		Section 1	Section 2
	Entries	s,t->a(ab=av)	s,t->a(ab=av)
	Direction	Forward, up	Backward, down
Default values	Traversing distance	mm 120,000	120,000
	Travel time	s 0,50000	0,50000
Load values	Additional only for constant speed	no	no
	Brake during pause	no	no
Attained values	Max. velocity	m/s 0,480	0,480
	Max. acceleration	m/s ² 1,92000	1,92000
	Max. deceleration	m/s ² 1,92000	1,92000
	Travel time	s 0,50000	0,50000
	~ Acceleration	s 0,25000	0,25000
	~ Constant speed	s 0,00000	0,00000
	~ Deceleration	s 0,25000	0,25000

General specifications

Allow for friction by means of control at standstill	Yes
Allow for mechanical limit values	No
Allow for rounding	No

Overview of total cycle

Cycle time	[s]	1,00000
------------	-----	---------

Mechanics: Chain conveyor

Masses	Steady payload	[kg]	35,000
	Number of conveyor chains		1
	Mass of the conveyor chain	[kg]	2,000
	Mass of the drive chains	[kg]	2,000
Moments of inertia	Number of sprocket wheel axes		2
	Inertia of a sprocket wheel axis	[kg m ²]	0,000000
	Additional inertia in relation to the load	[kg m ²]	0,000000
	Additional inertia in relation to the motor	[kg m ²]	0,000000
Mechanics	Diameter of the sprocket wheel	[mm]	53,940
	Angle of inclination	[deg]	0,0
Friction	Friction torque	[Nm]	0,00
	Efficiency of the mechanical system		1,000
	Type of travel resistance		Specific coefficient of friction
	-- Specific coefficient of friction		0,0000

Gearbox

Type	Gear ratio	Moment of inertia [kg m ²]	Efficiency
Additional gearbox	3,000	0,000000	1,000

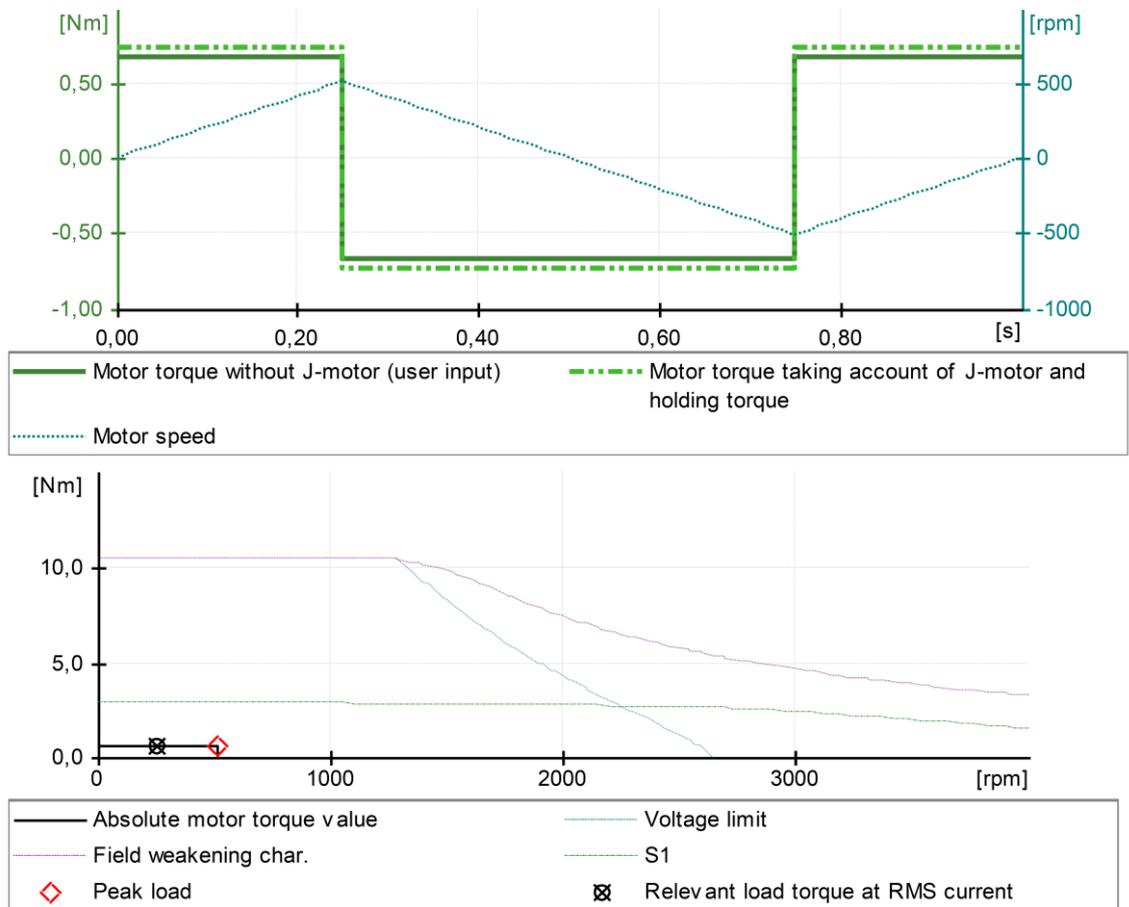
Motor: 1FK7042-2AC71-1QG0 Compact (generation 2); 2000,00 rpm; 2,80 Nm; 1,60 A; (M₀ = 3,00 Nm; I₀ = 1,60 A)

Peak values	Required	Available	Utilization	Motor current
Maximum speed	509,86 rpm	4000,00 rpm	12,7 %	
with max. torque	0,74 Nm	10,50 Nm	7,0 %	0,39 A
Maximum torque	0,74 Nm	10,50 Nm	7,0 %	0,39 A
at speed	509,86 rpm			
Torque at max. load	0,74 Nm	10,50 Nm	7,1 %	
Speed at max. load	509,86 rpm			
Effective values	Required	Available	Utilization	Motor current
Effective torque	0,74 Nm	2,97 Nm	24,7 %	0,39 A
at speed	254,93 rpm			
Motoring power	0,01 kW			
Generating power	0,01 kW			
	External	Motor	External/motor ratio	
Moments of inertia	0,003152 kg m ²	0,000290 kg m ²	10,87	

Power unit: 6SL3210-1SE11-3UA0; SINAMICS S120 AC/AC; 1,30A / 0,37 kW

	Required	Available	Utilization
Continuous current / relevant rms current	0,39 A	1,30 A	29,8 %
Maximum current	0,39 A	2,60 A	14,9 %

Load curve on the motor



APÊNDICE B – DIMENSIONAMENTO DA CORREIA DO SISTEMA VERTICAL

pulley	rot. direc.	No. of teeth	X [mm]	Y [mm]	pitchØ [mm]	outsideØ [mm]	span length [mm]	angle of mesh [°]	arc Length [mm]	centre dist. [mm]
1	ccw	24	0.00	0.00	76.57	74.57	439.70	180.00	120.28	439.70
2	ccw	24	0.00	439.70	76.57	74.57	439.70	180.00	120.28	439.70

pulley	No. of teeth	drive r.p.m.	No. of meshed teeth	No. of teeth in mesh (for power)	span length [mm]	freq. [Hz]	req. belt width [mm]	max. transferable power [kW]
1	24	150.00	12.00	12.00	439.70	94.86	25.94	1.85
2	24	150.00	12.00	12.00	439.70	94.86	25.94	1.85

Details for pulley Nr. 1

power data

power	P	=	1.50 kW
torque	M	=	95.49 Nm
circumferential force	F_U	=	2494.12 N
static shaft load	F_A	=	2494.12 N

drive data

centre point	X	=	0.00 mm
centre point	Y	=	0.00 mm
direction of rotation		=	acw
centre distance	a	=	439.70 mm
span length	l_T	=	439.70 mm
no. of teeth	z_1	=	24.00
outside diameter	d_{k1}	=	74.57 mm
root diameter	d_{f1}	=	69.87 mm
pitch circle diameter	d_{01}	=	76.57 mm
drive	n_1	=	150.00 1/min
peripheral speed	v_1	=	0.60 m/s
no. of teeth in mesh	z_{e1}	=	12.00
angle of mesh	β_1	=	180.00 °

timing belt data

pitch	t	=	10.00 mm
belt length	L_B	=	1120.00 mm
Belt width with safety factor = 1	$b_{S=1}$	=	25.94 mm
belt width selected	b	=	32.00 mm
safety of tension cord	S_{cord}	=	1.90
safety of tooth shear strength	S_{tooth}	=	1.23
pre-tension of span length	F_v	=	1247.06 N
span force max.	$F_{span\ max.}$	=	2494.12 N
frequency set	f	=	94.86 Hz

Details for pulley Nr. 2**power data**

power	P	=	-1.50 kW
torque	M	=	-95.49 Nm
circumferential force	F _U	=	-2494.12 N
static shaft load	F _A	=	2494.12 N

drive data

centre point	X	=	0.00 mm
centre point	Y	=	439.70 mm
direction of rotation		=	acw
centre distance	a	=	439.70 mm
span length	l _T	=	439.70 mm
no. of teeth	z ₂	=	24,00
outside diameter	d _{k2}	=	74.57 mm
root diameter	d _{f2}	=	69.87 mm
pitch circle diameter	d ₀₂	=	76.57 mm
drive	n ₂	=	150.00 1/min
peripheral speed	v ₂	=	0.60 m/s
no. of teeth in mesh	z _{e2}	=	12.00
angle of mesh	β ₂	=	180.00 °

timing belt data

pitch	t	=	10.00 mm
belt length	L _B	=	1120.00 mm
Belt width with safety factor = 1	b _{S=1}	=	25.94 mm
belt width selected	b	=	32.00 mm
safety of tension cord	S _{cord}	=	1.90
safety of tooth shear strength	S _{tooth}	=	1.23
pre-tension of span length	F _v	=	1247.06 N
span force max.	F _{span max.}	=	2494.12 N
frequency set	f	=	94.86 Hz

APÊNDICE C – DIMENSIONAMENTO DA CORREIA DO SISTEMA HORIZONTAL

pulley	rot. direc.	No. of teeth	X [mm]	Y [mm]	pitchØ [mm]	outsideØ [mm]	span length [mm]	angle of mesh [°]	arc Length [mm]	centre dist. [mm]
1	ccw	16	0.00	0.00	51.11	49.11	218.03	153.70	68.55	223.90
2	ccw	48	-148.01	168.00	152.97	150.97	218.03	206.30	275.39	223.90

pulley	No. of teeth	drive r.p.m.	No. of meshed teeth	No. of teeth in mesh (for power)	span length [mm]	freq. [Hz]	req. belt width [mm]	max. transferable power [kW]
1	16	90.00	6.00	6.00	218.03	0.00	0.00	0.30
2	48	30.00	27.00	12.00	218.03	0.00	0.00	0.62

Details for pulley Nr. 1

power data

power	P	=	0.00 kW
static shaft load	F _A	=	0.00 N

drive data

centre point	X	=	0.00 mm
centre point	Y	=	0.00 mm
direction of rotation		=	acw
centre distance	a	=	223.90 mm
span length	l _T	=	218.03 mm
no. of teeth	z ₁	=	16.00
outside diameter	d _{k1}	=	49.11 mm
root diameter	d _{f1}	=	44.41 mm
pitch circle diameter	d ₀₁	=	51.11 mm
drive	n ₁	=	90.00 1/min
peripheral speed	v ₁	=	0.24 m/s
no. of teeth in mesh	z _{e1}	=	6.00
angle of mesh	β ₁	=	153.70 °

timing belt data

pitch	t	=	10.00 mm
belt length	L _B	=	780.00 mm
belt width selected	b	=	25.00 mm
pre-tension of span length	F _v	=	0.00 N
frequency set	f	=	0.00 Hz

Details for pulley Nr. 2**power data**

power	P	=	0.00 kW
static shaft load	F _A	=	0.00 N

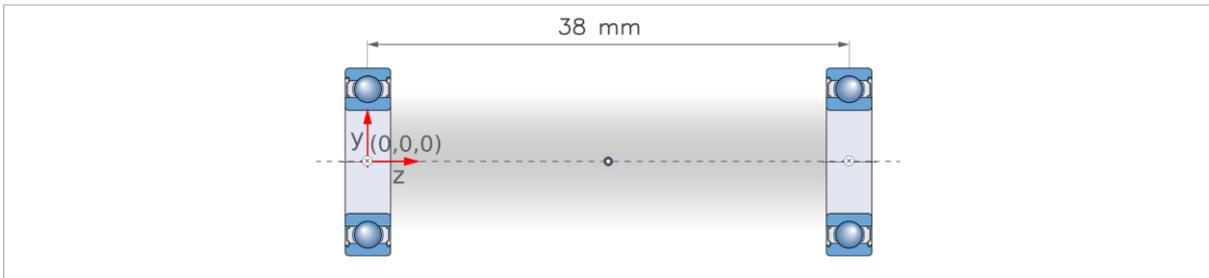
drive data

centre point	X	=	-148.01 mm
centre point	Y	=	168.00 mm
direction of rotation		=	acw
centre distance	a	=	223.90 mm
span length	l _T	=	218.03 mm
no. of teeth	z ₂	=	48.00
outside diameter	d _{k2}	=	150.97 mm
root diameter	d _{f2}	=	146.27 mm
pitch circle diameter	d ₀₂	=	152.97 mm
drive	n ₂	=	30.00 1/min
peripheral speed	v ₂	=	0.24 m/s
no. of teeth in mesh	z _{e2}	=	27.00
angle of mesh	β ₂	=	206.30 °

timing belt data

pitch	t	=	10.00 mm
belt length	L _B	=	780.00 mm
belt width selected	b	=	25.00 mm
pre-tension of span length	F _V	=	0.00 N
frequency set	f	=	0.00 Hz

APÊNDICE D – DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO 6005-2Z

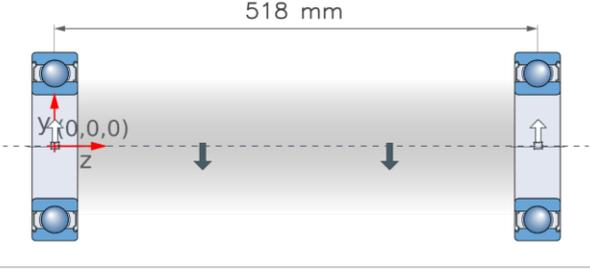


Bearing designation	6005-2Z	6005-2Z	
Bearing type	Deep groove ball bearing	Deep groove ball bearing	
Basic rating life (L_{10h})	14900	14900	<i>h</i>
SKF rating life (L_{10mh})	6720	6720	<i>h</i>
Static safety factor (S_0)	2.62	2.62	
Catalogue grease life (L_{10})	40300	40300	<i>h</i>
Total frictional moment	76.2	76.2	<i>Nmm</i>
Power loss	1	1	<i>W</i>
Minimum load met	yes	yes	
Minimum radial load	0.01	0.01	<i>kN</i>
Adjusted reference speed	19398	19398	<i>r/min</i>

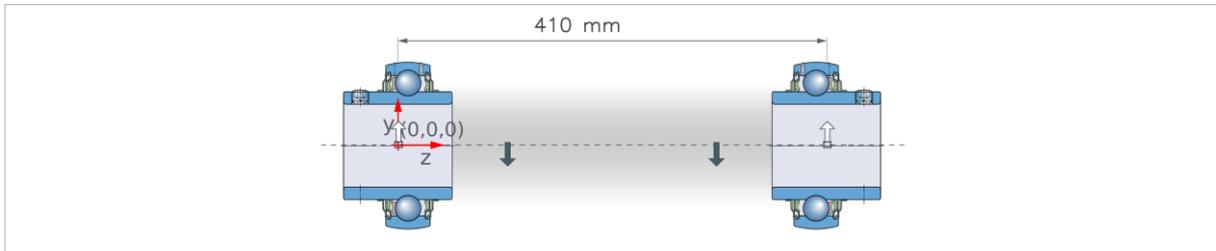
Bearing designation	6005-2Z	6005-2Z	
Equivalent dynamic bearing load (P)	2.5	2.5	<i>kN</i>
Load ratio (C/P)	4.76	4.76	
Radial load (F_r)	2.5	2.5	<i>kN</i>
Axial load (F_a)	0	0	<i>kN</i>

Bearing designation	6005-2Z	6005-2Z	
Contamination factor (η_c)	0.33	0.33	
Life modification factor (a_{SKF})	0.45	0.45	
Basic rating life (L_{10h})	14900	14900	<i>h</i>
SKF rating life (L_{10mh})	6720	6720	<i>h</i>

APÊNDICE E – DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO 6006-2Z

			
Bearing designation	6006-2Z	6006-2Z	
Bearing type	Deep groove ball bearing	Deep groove ball bearing	
Basic rating life (L_{10h})	54300	53700	<i>h</i>
SKF rating life (L_{10mh})	6890	6810	<i>h</i>
Static safety factor (S_0)	2.77	2.76	
Catalogue grease life (L_{10})	39200	39000	<i>h</i>
Total frictional moment	106	107	<i>Nmm</i>
Power loss	0	0	<i>W</i>
Minimum load met	yes	yes	
Minimum radial load	0.0	0.0	<i>kN</i>
Adjusted reference speed	17094	17043	<i>r/min</i>
Bearing designation	6006-2Z	6006-2Z	
Equivalent dynamic bearing load (P)	2.99	3.01	<i>kN</i>
Load ratio (C/P)	4.61	4.59	
Radial load (F_r)	2.99	3.01	<i>kN</i>
Axial load (F_a)	0	0	<i>kN</i>
Bearing designation	6006-2Z	6006-2Z	
Contamination factor (η_c)	0.17	0.17	
Life modification factor (a_{SKF})	0.13	0.13	
Basic rating life (L_{10h})	54300	53700	<i>h</i>
SKF rating life (L_{10mh})	6890	6810	<i>h</i>

APÊNDICE F – DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO YAR 205-2F



Bearing designation	YAR 205-2F	YAR 205-2F	
Bearing type	Insert bearing (Y-bearing)	Insert bearing (Y-bearing)	
Basic rating life (L_{10h})	56400	56400	<i>h</i>
SKF rating life (L_{10mh})	5760	5760	<i>h</i>
Static safety factor (S_0)	4.33	4.33	
Relubrication interval (t_f)	7400	7400	<i>h</i>
Minimum load met	yes	yes	
Minimum radial load	0.14	0.14	<i>kN</i>

Bearing designation	YAR 205-2F	YAR 205-2F	
Equivalent dynamic bearing load (P)	3.0	3.0	<i>kN</i>
Load ratio (C/P)	4.67	4.67	
Radial load (F_r)	3	3	<i>kN</i>
Axial load (F_a)	0	0	<i>kN</i>

Bearing designation	YAR 205-2F	YAR 205-2F	
Contamination factor (η_c)	0.11	0.11	
Life modification factor (a_{SKF})	0.1	0.1	
Basic rating life (L_{10h})	56400	56400	<i>h</i>
SKF rating life (L_{10mh})	5760	5760	<i>h</i>

APÊNDICE G – DIMENSIONAMENTO DO ROLAMENTO NJ 204

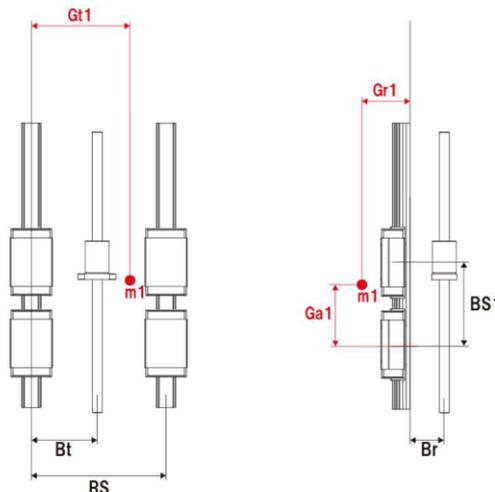
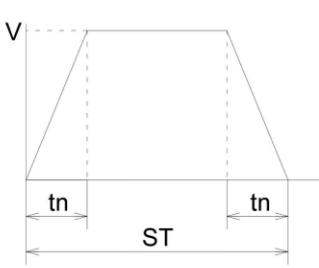
	Bearing designation	N 204 ECP	
	Bearing type	Cylindrical roller bearing	
	Static safety factor (S_0)	8.33	
	Relubrication interval (t_f)	30000	<i>h</i>
	Minimum load met	yes	
	Minimum radial load	0.08	<i>kN</i>

Radial load (F_r)	2.64	<i>kN</i>
Rotational speed	30.0	<i>r/min</i>
Rotating ring	inner ring rotation	
Shaft orientation	Horizontal	

Equivalent dynamic bearing load (P)	2.64	<i>kN</i>
Load ratio (C/P)	10.8	

Relubrication interval (t_f)	30000	<i>h</i>
Grease quantity side	3	<i>g</i>
Grease quantity ring	1	<i>g</i>
Speed factor (nd_m)	1005	

APÊNDICE H – DIMENSIONAMENTO DO GUIA LINEAR HSR 20A

Selecione o N° do Modelo		Resultado do cálculo					
Tipo	HSR20A	Fator de segurança estática	16,1				
Capacidade de carga dinâmica básica (C) N	19.800	Vida nominal (L) km	85.100				
Capacidade de carga estática básica (Co) N	27.400	Horas de funcionamento (Lh) hora	24.600				
		Condições da velocidade					
Largura do bloco (BW) mm	63	Curso (ST) mm	240				
Comprimento do bloco (BL) mm	74	Velocidade (V) m m/s	1.000				
Altura do bloco (BM) mm	30	Tempo de aceleração e desaceleração (tn) sec	0,1				
Uso na vertical		Aceleração (a) m/s ²	10				
		Coefficiente de carga (fw)	1,5				
		Frequência de utilização (n)	7200/hora				
		Distância de aceleração (STa) mm	50				
		Distância a velocidade contínua (STc) mm	140				
		Distância de desaceleração (STd) mm	50				
							
		Condições		Condições da massa			
Vão entre trilhos (RS) mm	350		1	2	3		
	BS1	BS2	BS3	Massa (m) kg	150	-	-
Vão entre blocos (BS) mm	91	-	-	Posição da massa_Altura (Gr) mm	150	-	-
Posição axial_Altura (Br) mm	-65			Posição da massa_Longitudinal (Ga) mm	45,5	-	-
Posição axial_Lateral (Bt) mm	175			Posição da massa_Lateral (Gt) mm	175	-	-
Comentário	Foram usados resultados de referência, uma vez que as condições de frequência de utilização e de operação necessárias não foram cumpridas.						
<p>Nota)</p> <p>Exemplo: 2,35 E+06 indica 2,35 × 10⁶ na notação exponencial.</p> <p>* O resultado do cálculo deste software é aquele do cálculo teórico com base nas condições inseridas. No uso real, ele pode variar, dependendo das condições de carga e também do ambiente, do status da lubrificação, da precisão da montagem e/ou da rigidez.</p> <p>* Para obter a carga equivalente, o valor das linhas de esferas com as quais a vida nominal é a mais curta é descrito.</p> <p>* A vida nominal e o fator de segurança estática podem ser calculados através da carga equivalente de uma ranhura de pista diferente.</p> <p>* Se o fator de segurança estática (fs) for 1,0 ou inferior, isso excede o valor nominal capacidade de carga estática nominal (Co) da guia LM, portanto o produto será considerado inutilizável e "—" será mostrado no resultado do cálculo da vida útil. Altere o N° do modelo e as condições de uso para tornar o fator de segurança a estática igual a 1,0 ou superior e faça um cálculo novamente.</p> <p>* No caso de uso em alta velocidade (V > 2000 mm/s ou superior), o valor poderá flutuar devido a outros fatores, portanto é recomendável verificar a durabilidade e etc. com a máquina real.</p> <p>* Este software não considera a pré-carga no cálculo porque supõe que esteja selecionado um sistema transportador geralmente usado com folga normal e folga C1.</p> <p>* Consulte a THK se quiser usar o produto com folga C0, priorizando a rigidez, ou na circunstância em que são aplicadas forças externas.</p> <p>* No caso de uso com folga de C0, a classificação de vida e o período operacional podem tornar-se mais curtos do que os exibidos no resultado do cálculo de acordo com este software de cálculo.</p>							

Tipo		HSR20A		Uso na vertical	
Carga de trabalho do bloco					
		No1	No2	No3	No4
Durante a aceleração	Carga radial (PRa) N	1.691,6	-1.691,5	-1.691,5	1.691,6
	Carga horizontal (PTa) N	0	0	0	0
	Carga equivalente (Pa) N	1.691	1.691	1.691	1.691
	Fator de segurança estática (fsa)	16,1	16,1	16,1	16,1
Durante movimento uniforme	Carga radial (PRc) N	837,6	-837,5	-837,5	837,6
	Carga horizontal (PTc) N	0	0	0	0
	Carga equivalente (Pc) N	837	837	837	837
	Fator de segurança estática (fsc)	32,7	32,7	32,7	32,7
Durante desaceleração	Carga radial (PRd) N	-16,4	16,5	16,5	-16,4
	Carga horizontal (PTd) N	0	0	0	0
	Carga equivalente (Pd) N	0	0	0	0
	Fator de segurança estática (fsd)	1.662,3	1.662,3	1.662,3	1.662,3
Carga média (Pm) N		1.105	1.105	1.105	1.105
Vida nominal (L) km		85.100	85.100	85.100	85.100
<p>Nota)</p> <p>Exemplo: 2,35 E+06 indica $2,35 \times 10^6$ na notação exponencial.</p> <p>* O resultado do cálculo deste software é aquele do cálculo teórico com base nas condições inseridas. No uso real, ele pode variar, dependendo das condições de carga e também do ambiente, do status da lubrificação, da precisão da montagem e/ou da rigidez.</p> <p>* Para obter a carga equivalente, o valor das linhas de esferas com as quais a vida nominal é a mais curta é descrito.</p> <p>* A vida nominal e o fator de segurança estática podem ser calculados através da carga equivalente de uma ranhura de pista diferente.</p> <p>* Se o fator de segurança estática (fs) for 1,0 ou inferior, isso excede o valor nominal capacidade de carga estática nominal (Co) da guia LM, portanto o produto será considerado inutilizável e "—" será mostrado no resultado do cálculo da vida útil. Altere o N° do modelo e as condições de uso para tornar o fator de segurança estática igual a 1,0 ou superior e faça um cálculo novamente.</p> <p>* No caso de uso em alta velocidade ($V > 2000$ mm/s ou superior), o valor poderá flutuar devido a outros fatores, portanto é recomendável verificar a durabilidade e etc. com a máquina real.</p> <p>* Este software não considera a pré-carga no cálculo porque supõe que esteja selecionado um sistema transportador geralmente usado com folga normal e folga C1.</p> <p>* Consulte a THK se quiser usar o produto com folga C0, priorizando a rigidez, ou na circunstância em que são aplicadas forças externas.</p> <p>* No caso de uso com folga de C0, a classificação de vida e o período operacional podem tornar-se mais curtos do que os exibidos no resultado do cálculo de acordo com este software de cálculo.</p>					