UNIVERSIDADE SÃO JUDAS TADEU

André Sousa Pereira Norteiro
Claudeni Silva Pinheiro Freitas
Victor da Veiga Albuquerque
Wagner da Silva Rocha
Yan Massayuki Marvão Assato

UNIDADE LINEAR ROBOTIZADA
TRACK MOTION

ENGENHARIA DE CONTROLE E AUTOMAÇÃO

Orientador: Prof. Paulo Cesar da Silva Emanuel, Dr. em Engenharia Biomédica

São Paulo
2022

André Sousa Pereira Norteiro
Claudeni Silva Pinheiro Freitas
Victor da Veiga Albuquerque
Wagner da Silva Rocha
Yan Massayuki Marvão Assato

UNIDADE LINEAR ROBOTIZADA
TRACK MOTION

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de graduação em Engenharia de Controle e Automação, da Universidade São Judas Tadeu como requisito parcial para obtenção do título de Bacharel.

Orientador: Prof. Paulo Cesar da Silva Emanuel, Dr. em Engenharia Biomédica

São Paulo
2022

Dedicado aos meus amigos de turma, que muito se empenharam; e aos nossos professores e familiares, que nos deram o apoio necessário para a finalização deste grande trabalho.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por haver-nos dado saúde e força para enfrentarmos com muita determinação essa longa jornada.

Aos nossos colegas de turma, que nas horas de extrema dificuldade deram todo o suporte, seja nos estudos em épocas de avaliações, como nas atividades de classe.

Aos nossos familiares, pelo incentivo em momentos de muito cansaço mental.

Aos nossos amigos de grupo, que desde o início lutaram para que tudo saísse conforme o cronograma de planejamento.

Ao nosso orientador, o Prof. Paulo Cesar da Silva Emanuel, e à Prof. Natalia Rodrigues Guimarães pelos ensinamentos, dicas, críticas e sugestões referentes ao nosso trabalho.

Agradecemos também a todos os nossos professores da Universidade São Judas Tadeu, que nos acompanharam ao longo desses seis anos de curso, repassando os conhecimentos necessários para a nossa formação.

RESUMO

Este trabalho apresenta o desenvolvimento e dimensionamento do modelo matemático de um equipamento para a manipulação de peças dentro de uma célula robotizada - equipamento comercialmente nomeado de “Track Motion” -, o qual foi desenvolvido a partir de uma visita técnica a uma determinada empresa, a fim de tomar-se conhecimento de uma de suas linhas de produção, para a posterior criação e oferta de uma possível solução de automação inerente à linha de produção. No setor industrial, foi possível analisar o processo produtivo completo, de cunho manual, para a fabricação dos principais produtos que integram o portfólio da empresa. A coleta das informações relevantes para a criação do protótipo, somada ao conhecimento acadêmico adquirido no decorrer da graduação; associada à análise de estudos complementares, essenciais para a definição das condições de contorno do modelo desenvolvido; aliada à execução da análise de elementos finitos para a validação dos itens mecânicos possibilitaram a realização simulada da Unidade Linear Robotizada, a qual será desmembrada no decorrer deste trabalho, a fim de evidenciar os cálculos relativos à sua modelagem, definição dos termos que as concernem e passos imprescindíveis para a sua execução.

Palavras-chave: *Track Motion*; *Robot on rail*; Unidade linear robótica.

ABSTRACT

This work presents the development and dimensioning of the mathematical model of an equipment for handling parts of a robotic cell - equipment commercially called "Track Motion" -, which was developed from a technical visit to a specific company, in order to become aware of one of its production lines, for later creation and offer of a possible solution for automation of the production line. In the industrial sector, it was possible to analyze the complete production process, for the manufacture of the main products that make up the company's portfolio. Collection of information relevant to the creation made, collection of knowledge acquired during the operation; associated with the analysis of complementary studies, essential for defining the boundary conditions of the model developed; allied to the execution of the execution of the finite mechanical elements for the execution of the finite mechanical elements for the simulated execution of the robotic linear unit, which will be dismembered in the course of this work, in order to evidence the analysis regarding its modeling, definition of the terms that concern and possibility Essential steps for its execution.

Keywords: *Track Motion*; *Robot on rail*; robotic linear unit.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Perfil de aceleração triangular……..……15
Figura 2 - Perfil de aceleração trapezoidal……...15
Figura 3 - Ângulo de montagem do patins……16
Figura 4 - *Layout* de posicionamento…….17
Figura 5 - Fluxograma para a seleção de uma guia linear…….20
Figura 6 - Demonstração do carregamento da direção “Z”.....21
Figura 7 - Equações para o carregamento na direção “Z”.....…….21
Figura 8 - *Layout* da célula……..27
Figura 9 - Diagrama temporal…….28
Figura 10 - Rampa de aceleração tipo trapezoidal……...29
Figura 11 - Demonstração do *plate*…….30
Figura 12 - Demonstração do refinamento do modelo conceitual…….31
Figura 13 - Demonstração dos resultados de tensão do Critério de Von Mises..32
Figura 14 - Demonstração dos resultados de deslocamento de Ures……..32
Figura 15 - Demonstração da guia linear…….……...33
Figura 16 - Carregamento equivalente dinâmico……..34
Figura 17 - Análise técnica dos patins…….……34
Figura 18 - Cremalheira Wittenstein…….36
Figura 19 - Tabela para cremalheira de dente helicoidal…….….37
Figura 20 - Demonstração da rampa de Aceleração…….38
Figura 21 - Demonstração do desenvolvimento do modelo matemático……...39
Figura 22 - Demonstração dos resultados do modelo matemático……39
Figura 23 - Demonstração do refinamento do projeto……..……40

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Dados técnicos do robô selecionado (Yaskawa)……30
Tabela 2 - Tabela de sistema de coordenadas……..33
Tabela 3 - Parâmetros calculados do patins……..35
Tabela 4 - Tabela para seleção do fator de segurança “K”.....36

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO……...9

JUSTIFICATIVA……...10

OBJETIVOS…… 11

OBJETIVO GERAL……... 11

OBJETIVO ESPECÍFICO……11

METODOLOGIA……..12

1. LEVANTAMENTO DE DADOS DE PRODUÇÃO…… 12

2. DEFINIÇÃO DO LAYOUT DA CÉLULA…… 12

3. CINEMÁTICA…… 13

4. SELEÇÃO DO ROBÔ PARA APLICAÇÃO…….. 15

5. DEFINIÇÃO DO PLATE DE FIXAÇÃO DO ROBÔ…… 16

6. DEFINIÇÃO DA TECNOLOGIA PARA MOVIMENTAÇÃO LINEAR …… 16

7. DEFINIÇÃO DE LAYOUT (PLATE) E SELEÇÃO DE PATINS LINEAR…….. 17

8. DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS PARA TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA……. 20

9. DIMENSIONAMENTO DO MÓDULO DA CREMALHEIRA / PINHÃO…… 21

10. DIMENSIONAMENTO DO SERVO ACIONAMENTO…… 21

11. DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO COMPLETO…….. 22

12. REFINAMENTO DE PROJETO…….. 22

13. SIMULAÇÃO DINÂMICA…….. 23

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA……23

RESULTADOS…… 26

1. LEVANTAMENTO DE DADOS DE PRODUÇÃO…… 26

2. DEFINIÇÃO DO LAYOUT DA CÉLULA…… 26

3. CINEMÁTICA…… 26

4. SELEÇÃO DO ROBÔ PARA APLICAÇÃO…….. 28

5. DEFINIÇÃO DO PLATE DE FIXAÇÃO DO ROBÔ…… 29

6. DEFINIÇÃO DA TECNOLOGIA PARA MOVIMENTAÇÃO LINEAR …… 32

7. DEFINIÇÃO DE LAYOUT (PLATE) E SELEÇÃO DE PATINS LINEAR…….. 32
8. DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS PARA TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA…….. 34
9. DIMENSIONAMENTO DO MÓDULO DA CREMALHEIRA / PINHÃO…… 35
10. DIMENSIONAMENTO DO SERVO ACIONAMENTO……..…36
11. DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO COMPLETO…….. 38
12. REFINAMENTO DE PROJETO…… 39

CONCLUSÃO……..40

REFERÊNCIAS……...41

INTRODUÇÃO

Devido à crescente necessidade de as indústrias executarem atividades, minimizando os custos internos e maximizando a administração do tempo, aliada aos padrões de qualidade exigidos pelo mercado no qual elas atuam, a tecnologia intrínseca na automatização de processos tem se tornado cada vez mais predominante no âmbito industrial.

Dentre as inúmeras aplicações proporcionadas pelo uso da tecnologia, a robotização é um processo que tem ganhado notório destaque nas indústrias de médio e grande porte, principalmente em função da sua ampla capacidade de diversificação, a qual pode ser comprovada em função da alta presença de células robóticas.

A célula robótica é um sistema de automação industrial configurado e independente que pode atuar sobre processos de produção. Ela é constituída por um ou mais robôs industriais, os quais possuem a habilidade de realizarem distintas tarefas, de acordo com a programação configurada e layout espacial.

Tendo-se em vista a importância das células robóticas e de todos os elementos inerentes à sua efetiva implantação, este trabalho destina-se ao desmembramento desse tema, a fim de elencar todos os pontos relativos a ele. Para atingir tal objetivo, o presente estudo realizará a criação simulada de uma unidade linear robótica, comercialmente nomeada como *Robot Track Motion*, a qual será composta por um robô manipulador que será fixado a uma base móvel que executará um deslocamento linear.

A criação da unidade linear robótica exige modelagem 3D/detalhamento, 2D, simulação dinâmica e análise de elementos finitos, por meio do uso do software SolidWorks. Também, utiliza-se o software Eplan, cujo uso se faz imprescindível na simulação e projeção das seções elétricas e eletrônicas, referentes à unidade linear robótica.

JUSTIFICATIVA

De acordo com dados publicados pela Federação Internacional de Robótica (IFR), em 2021, o Brasil ocupou a 39º posição entre as 44 nações que mais usam a tecnologia robótica nas indústrias. Segundo o estudo, existem dez

robôs para cada 10 mil trabalhadores brasileiros, os quais estão concentrados principalmente nas indústrias automotivas. Os principais motivos que culminam no atraso da implantação da automação robótica no Brasil são: A falta de investimentos em automação nos distintos setores industriais, pois há uma alta carga tributária que dificulta a importação e inserção de investimentos dessa natureza, e o receio presente nos gestores mais conservadores, que o impede de procurarem por inovações tecnológicas, temendo que isso possa impactar negativamente nos lucros.

O aspecto financeiro afasta muitas empresas da automação no Brasil. Embora essa afirmação esteja perfeitamente fundamentada em argumentos relevantes, o seu impacto negativo pode ser atenuado pelo Finep (Financiadora de Estudos e Projeto). Essa empresa pública tem o objetivo de promover o desenvolvimento econômico e social do Brasil por meio da inovação. O órgão concede recursos reembolsáveis e não reembolsáveis a instituições de pesquisa e empresas brasileiras.

Os investimentos em automação nos setores industriais podem permitir que as empresas presentes no Brasil tenham a possibilidade de se igualarem aos seus competidores internacionais. A indústria automatizada ganha em produtividade, em tecnologia e em valor agregado. Ademais, o conhecimento de como processos intrínsecos à automação funcionam podem colaborar com a inovação, partindo da transferência de conhecimento teórico e princípios científicos para a concretização de ideias e inovações, potencializando descobertas, o que, por sua vez, pode ir em direção contrária à visão conservadora de acreditar que o conhecimento teórico desenvolvido no meio acadêmico está muito longe de impactar os processos de inovação das empresas. Portanto, o presente trabalho visa acentuar a importância do conhecimento teórico relativo às células lineares robóticas, trazendo à luz os seus elementos e aplicações práticas, aspirando fortalecer a visão de que está ao alcance de estudantes e pesquisadores a inovação em todos os setores, uma vez que tenham tomado conhecimento de todas as informações redigidas neste trabalho.

OBJETIVOS

OBJETIVO GERAL

Projetar e verificar o funcionamento efetivo de uma unidade linear robotizada, concebendo o uso das normas de segurança, com o intuito de agilizar os processos de usinagem identificados dentro de uma indústria do setor em questão, condicionando a implantação do equipamento e promovendo qualidade, agilidade e eficiência na usinagem e manipulação de peças.

OBJETIVO ESPECÍFICO

- Levantamento de dados do processo de produção;
- Desenvolvimento e dimensionamento mecânico do equipamento de manipulação em função dos dados obtidos de produção.
- Projeção em software CAD do modelo matemático da unidade linear robotizada, validado através de conceitos da engenharia simulados em ambientes virtuais.

METODOLOGIA

O trabalho consiste em um estudo e maior aprofundamento dos métodos utilizados para a construção de uma unidade linear robotizada (equipamento comercialmente denominado "*Track Motion*"). A partir da análise do processo produtivo de uma indústria do setor de usinagem, o presente estudo teve as etapas de execução conforme descritas abaixo:

1. LEVANTAMENTO DE DADOS DE PRODUÇÃO

Através de uma visita técnica realizada em outubro de 2021, à empresa X (nome fictício, a fim de preservar a real identidade da empresa), localizada no município de Guarulhos, SP, foi possível analisar o processo produtivo completo para a fabricação dos principais produtos do seu portfólio. Esta empresa atua no setor de usinagem e injeção plástica de peças automotivas. O objetivo da visita técnica foi conhecer as etapas do processo de fabricação, a fim de ofertar um projeto simulado de equipamento para manipulação de peças. Após o acompanhamento do processo, foi constatada a possibilidade de implantação do

equipamento que será dimensionado no presente estudo. Segue abaixo os dados iniciais coletados para o dimensionamento da célula:

- Tipo e modelo de equipamento;
- Quantidade de equipamentos utilizados no processo em estudo;
- Aplicabilidade do maquinário existente para automatização do processo;
- Tempos de produção e dados complementares do processo;
- Análise e coleta de dados dimensionais da área de instalação dos equipamentos.

2. DEFINIÇÃO DO LAYOUT DA CÉLULA

Com os dados obtidos da análise dimensional da área de instalação dos equipamentos, estudos de layout para posicionamento dos equipamentos foram realizados através do software CATIA V5, em seu ambiente de "*Drafting*" para detalhamento 2D. Através destes estudos, foi definido o melhor posicionamento dos equipamentos de usinagem, possibilitando a instalação do *Track Motion* e evidenciando características dimensionais condicionando o equipamento para seu devido enclausuramento de acordo com a norma regulamentadora NR 12, a qual determina a correta adequação de equipamentos robotizados para seu seguro funcionamento.

3. CINEMÁTICA

Nesta etapa, foram definidos velocidade e aceleração do sistema, por meio de conceitos de física básica, analisando as possibilidades de movimentação em função dos tempos de produção obtidos, por meio de um diagrama temporal.

Para a definição da velocidade, foi analisada a variação da posição do robô no tempo obtido, por meio de um diagrama temporal. Neste tipo de diagrama, é possível analisar as posições do robô em conjunto com o funcionamento dos equipamentos de usinagem, em função do tempo de operação da célula, desta forma, validando os tempos definidos para cada posição relativa do robô. Segue abaixo a equação utilizada para a definição da velocidade ideal de trabalho do *Track Motion*, nas condições máximas de produção:

$V = \frac{\Delta S}{\Delta t}$, $onde$;

$V = Velocidade\ ideal\ do\ sistema\ -\ m/s\ (metros\ por\ segundo)$;

$\Delta S = Variação\ de\ posição\ do\ robô\ -\ m\ (metros)$;

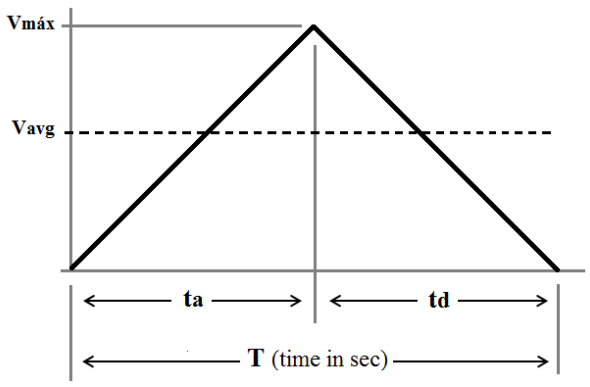
$\Delta t = Tempo\ necessário\ para\ a\ conclusão\ do\ percurso\ -\ s\ (segundos)$.

Para o estudo da aceleração, o fator velocidade x tempo são de extrema importância para a definição. A aceleração do sistema irá refletir diretamente na funcionalidade e na durabilidade de peças, e conjuntos mecânicos. Para ilustrar o processo de definição da aceleração, podemos utilizar um gráfico da velocidade em função do tempo, onde podemos denominar o gráfico gerado, como rampa de aceleração. Existem algumas formas de rampas pré-estabelecidas comercialmente, utilizadas para este tipo de aplicação em estudo. Seguem abaixo suas respectivas características:

RAMPA PERFIL TRIANGULAR

Este tipo de perfil de movimento se caracteriza pelo longo intervalo de tempo disponibilizado para o alcance da velocidade desejada. Neste caso, como demonstrado na figura 1 abaixo, no momento em que o sistema atinge a velocidade desejada, há uma desaceleração imediata na mesma taxa de variação da aceleração.

Figura 1 - Perfil de aceleração triangular



Fonte: Kalatech

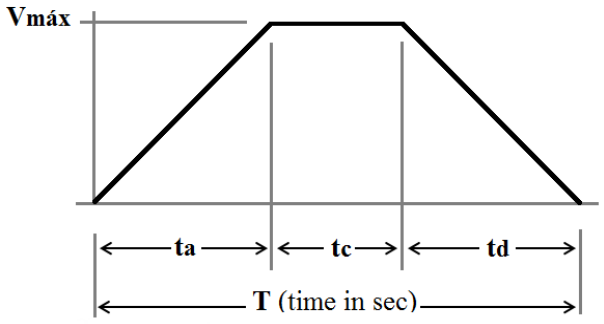
Vantagens: Baixa taxa de variação de aceleração proporcionando menor torque de pico, diminuindo altos "*Jerks*" do sistema.

Desvantagens: Limitação no alcance da velocidade máxima desejada, portanto, há um impacto direto na seleção das configurações para o uso deste tipo de perfil.

RAMPA PERFIL TRAPEZOIDAL

O perfil trapezoidal se caracteriza pelo intervalo de tempo onde a velocidade se mantém constante. Neste tipo de perfil, é possível o estudo de taxas de variação de aceleração conforme a aplicação. Desta forma, no momento da aceleração, estabilização de velocidade e desaceleração, é possível suavizar os picos de tensão mecânica gerados por meio das mudanças de velocidade repentinas do sistema, conforme demonstra a figura 2 abaixo:

Figura 2 - Perfil de aceleração trapezoidal



Fonte: Kalatech

Vantagens: Menor velocidade máxima requerida em aplicações, ampliando as opções para a seleção de motores / reduções.

Desvantagens: Necessita de maior aceleração, ocasionando os possíveis "*Jerks*" do sistema, reduzindo a durabilidade de elementos mecânicos.

Conhecendo as diferenças entre os modelos de rampa apresentados e comparando com os dados obtidos de funcionamento da célula, foi selecionado o modelo de rampa mais apropriado. Posteriormente, inserindo os dados no gráfico e definindo o valor correspondente à taxa de variação da velocidade pela equação a seguir:

$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}, \ onde;$

$a = aceleração - m/s^2 \ (metros \ por \ segundo \ ao \ quadrado);$

$\Delta v = variação\ da\ velocidade\ -\ m/s\ (metros\ por\ segundo)$;
$\Delta t = intervalo\ de\ tempo\ -\ s\ (segundos)$.

4. SELEÇÃO DO ROBÔ PARA APLICAÇÃO

Os robôs industriais são projetados com base em critérios mecânicos de trabalho, requisitados pela indústria em geral. Desta forma, grandes empresas responsáveis pela fabricação e manufatura mundial de robôs estabeleceram três parâmetros fundamentais para a sua seleção conforme a aplicação. Seguem abaixo os critérios de seleção e suas respectivas definições:

- **Aplicação:** Atividade que o robô irá executar durante todo o processo.
- **Payload:** Capacidade de carga nominal do robô;
- **Raio de alcance (*Reach*):** Raio ou envelope de trabalho útil.

5. DEFINIÇÃO DO PLATE DE FIXAÇÃO DO ROBÔ

Para determinar as dimensões do *Plate*, foram consideradas as dimensões da base do robô selecionado, considerando todos os componentes embarcados, de modo que fiquem fixados e organizados com espaço para facilitar manutenções e futuros *upgrades*.

Outro fator importante é o estudo para entender as forças atuantes sobre a base, para melhor escolha dos materiais e espessura, garantindo a rigidez com o melhor custo e qualidade. Conforme as premissas de dimensionamento apresentadas, o *Plate* foi desenvolvido seguindo as seguintes etapas:

Levantamento dos carregamentos solicitados: Somatória das massas dos equipamentos montados sobre o *Plate* e definição de *layout* de posicionamento.

Desenvolvimento conceitual: Definição de um modelo matemático conceitual por meio do *software* CAD CATIA V5, considerando aspectos dimensionais dos componentes embarcados ao *Plate*.

Refinamento do modelo conceitual: Ajustes na modelagem conceitual, viabilizando o processo de fabricação de acordo com operações de usinagem, disponibilização de matéria prima e posicionamento de itens normalizados (elementos de fixação dos itens embarcados).

Análise de elementos finitos: Estudo das forças atuantes através do *software* CAD 3D SolidWorks, para validação do modelo matemático desenvolvido evidenciando pontos críticos de tensão e deslocamento.

6. DEFINIÇÃO DA TECNOLOGIA PARA MOVIMENTAÇÃO LINEAR

No mercado existem inúmeras tecnologias empregadas no sistema de movimentações lineares. Dentre estas, estudamos o conceito que utiliza elementos deslizantes fabricados em polímeros que dispensam a necessidade de lubrificação, e os modelos que utilizam esferas para rolar. Na fórmula abaixo, Isaac Newton encontrou uma forma de calcular e relacionar a rugosidade, asperezas ou pequenas saliências nas superfícies de dois corpos móveis que geram resistência ao movimento:

$FAT = \mu * N, \ onde;$

$FAT = Força\ de\ atrito\ (N);$

$\mu = Coeficiente\ de\ atrito;$

$N = Força\ Normal = m * g;$

$m = massa\ (Kg);$

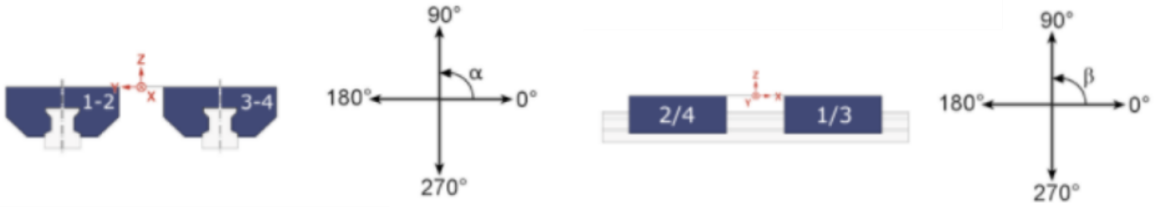
$g = aceleração\ da\ gravidade\ (m/s^2);$

O material empregado impacta diretamente na eficiência do equipamento, interferindo no atrito entre as partes móveis. Quanto maior o μ (o coeficiente de atrito), maior será a energia e a força necessárias para o material sair da inércia.

7. DEFINIÇÃO DE *LAYOUT (PLATE*) E SELEÇÃO DE PATINS LINEAR

O *layout* de posicionamento dos patins lineares é definido pela análise de forças em função do tipo de montagem do "*Plate*", o qual pode se encontrar inclinado em relação ao solo ou montado de forma horizontal conforme ilustrado a seguir:

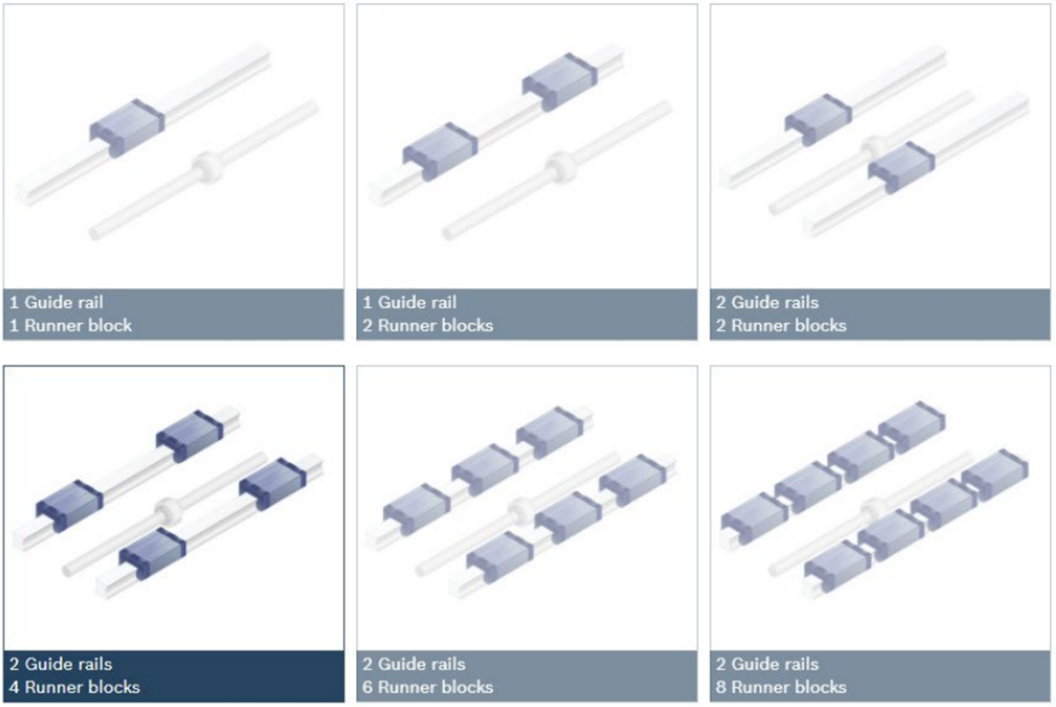
Figura 3 - Ângulo de montagem do patins



Fonte: Software LMD Rexroth

Após a análise do tipo de montagem, é necessário organizar a quantidade de patins desejada, de forma que as cargas atuantes estejam sobre um plano estável (plano formado pela ligação dos centróides dos patins lineares), e organizados de maneira que ofereçam uma melhor distribuição de carga sobre a quantidade de patins selecionada. A seguir, podemos observar alguns modelos de montagem para melhor compreensão:

Figura 4 - Layout de posicionamento



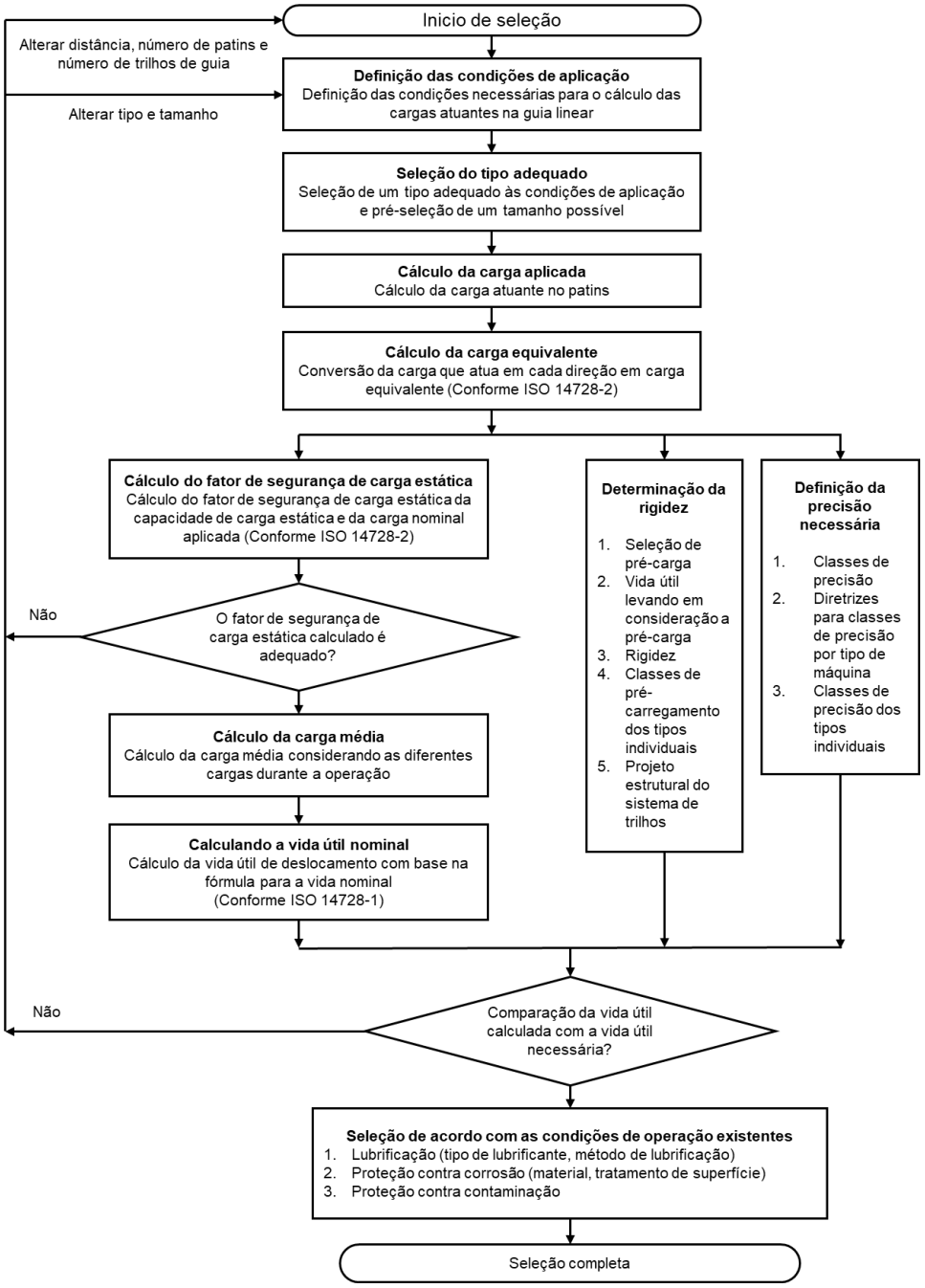
Fonte: Software LMD Rexroth

Muitos parâmetros distintos devem ser respeitados para a seleção do tipo de patins ideal para cada aplicação. Segue abaixo um fluxograma descrevendo

as etapas do processo de dimensionamento e seleção para patins lineares, conforme a norma regulamentadora DIN 637 (Normas de segurança para dimensionamento e operação de guias e trilhos perfilados com corpos rolantes recirculantes):

SELEÇÃO DE UMA GUIA LINEAR DE ACORDO COM DIN 637

Figura 5 - Fluxograma para a seleção de uma guia linear



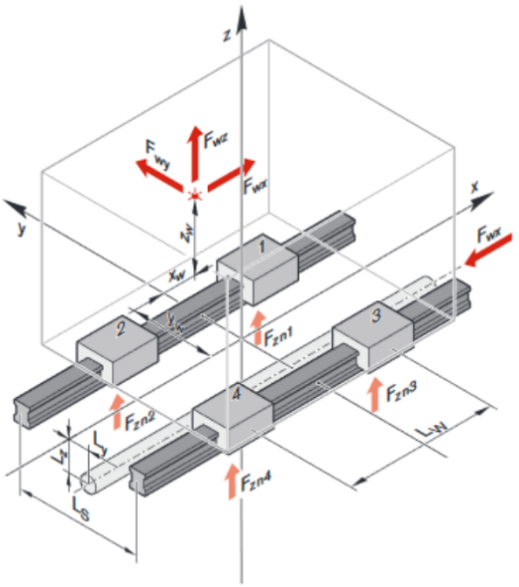
Fonte: Elaborado pelo Autor

Conforme demonstra as figuras abaixo, para o cálculo da força resultante atuante sobre cada patins, considerando as coordenadas do centro de gravidade do conjunto de manipulação (Robô + carga de manipulação + Plate + itens embarcados), temos o seguinte equacionamento:

Tipo de aplicação: 2 guias lineares / 4 patins lineares

Carregamentos da direção “Z” (Sentido positivo e negativo do eixo).

Figura 6 - Demonstração das duas guias lineares e os quatro patins lineares



Fonte: Catálogo Bosch Rexroth

Figura 7 - Equações para o carregamento na direção “Z”

i	Formula
1	$F_{zn1} = \frac{\sum_{j=1}^{k} F_{wz,j}}{4} + \frac{\sum_{j=1}^{k}\left(F_{wz,j}\cdot y_{w,j}\right) - \sum_{j=1}^{k}\left(F_{wy,j}\cdot z_{w,j}\right)}{2\cdot L_S} + \frac{\sum_{j=1}^{k}\left(F_{wz,j}\cdot x_{w,j}\right) - \sum_{j=1}^{k}\left(F_{wx,j}\cdot\left(z_{w,j}-L_z\right)\right)}{2\cdot L_W}$
2	$F_{zn2} = \frac{\sum_{j=1}^{k} F_{wz,j}}{4} + \frac{\sum_{j=1}^{k}\left(F_{wz,j}\cdot y_{w,j}\right) - \sum_{j=1}^{k}\left(F_{wy,j}\cdot z_{w,j}\right)}{2\cdot L_S} + \frac{\sum_{j=1}^{k}\left(F_{wx,j}\cdot\left(z_{w,j}-L_z\right)\right) - \sum_{j=1}^{k}\left(F_{wz,j}\cdot x_{w,j}\right)}{2\cdot L_W}$
3	$F_{zn3} = \frac{\sum_{j=1}^{k} F_{wz,j}}{4} + \frac{\sum_{j=1}^{k}\left(F_{wy,j}\cdot z_{w,j}\right) - \sum_{j=1}^{k}\left(F_{wz,j}\cdot y_{w,j}\right)}{2\cdot L_S} + \frac{\sum_{j=1}^{k}\left(F_{wz,j}\cdot x_{w,j}\right) - \sum_{j=1}^{k}\left(F_{wx,j}\cdot\left(z_{w,j}-L_z\right)\right)}{2\cdot L_W}$
4	$F_{zn4} = \frac{\sum_{j=1}^{k} F_{wz,j}}{4} + \frac{\sum_{j=1}^{k}\left(F_{wy,j}\cdot z_{w,j}\right) - \sum_{j=1}^{k}\left(F_{wz,j}\cdot y_{w,j}\right)}{2\cdot L_S} + \frac{\sum_{j=1}^{k}\left(F_{wx,j}\cdot\left(z_{w,j}-L_z\right)\right) - \sum_{j=1}^{k}\left(F_{wz,j}\cdot x_{w,j}\right)}{2\cdot L_W}$

Fonte: Catálogo Bosch Rexroth

8. DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS PARA TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA

Seleção do tipo de elemento mecânico que irá executar a conversão do movimento de rotação da saída do servo / redutor para o movimento linear, provocando o deslocamento longitudinal do robô fixado ao *Plate*. O elemento selecionado deve proporcionar estabilidade durante a transmissão de potência, precisão para controle e monitoramento de posição, por meio do encoder acoplado ao servo, e baixo custo comercial para instalação e futuras manutenções.

9. DIMENSIONAMENTO DO MÓDULO DA CREMALHEIRA / PINHÃO

9.1. Determinar a velocidade linear máxima desejada para o projeto;

9.2. Determinar a aceleração do sistema;

9.3. Executar estudo das forças envolvidas no sistema de transmissão;

9.3.1. Força tangencial horizontal real;

$FthR = m * a + FAT,\ onde$:

$FthR = Força\ tangencial\ horizontal\ real\ (N)$;

$m = Massa\ a\ ser\ movida\ (Kg)$;

$a = Aceleração\ linear\ (m/s^2)$;

$FAT = Força\ de\ atrito\ (N) = \mu * N$;

$\mu = Coeficiente\ de\ atrito$;

$N = Força\ normal\ = Força\ peso = m * g\ (N)$;

$g = Aceleração\ da\ gravidade\ (m/s^2)$.

9.3.2. Seleção do fator de Segurança (K): Valor tabelado, relacionado ao tempo de funcionamento do equipamento e ao tipo de carga movimentada.

9.3.3. Força tangencial horizontal corrigida;

$FthC = FthR * K,\ onde$:

$FthC = Força\ tangencial\ horizontal\ corrigida\ (N)$;

$K = Coeficiente\ de\ segurança\ selecionado\ na\ tabela.$

9.3.4. Seleção do módulo (Diagrama): Definição do tipo e módulo da cremalheira necessária, em função dos materiais e tratamentos térmicos disponíveis.

10. DIMENSIONAMENTO DO SERVO ACIONAMENTO

Para o dimensionamento do servo acionamento, é necessário compreender os requisitos de movimentação do sistema e as características dinâmicas no processo de manipulação, e deslocamento do Track. Desta forma, empresas fabricantes de servo motores (Mitsubishi, Yaskawa, ABB), desenvolveram critérios baseados nas características de processo onde o servo será aplicado. Seguem abaixo as etapas do processo de seleção:

- Determinar o perfil de movimento de carga;
- Calcular a inércia dos componentes
- Verificar uso de redutores e outros componentes mecânicos;
- Calcular a potência inicial necessária;
- Selecionar o motor e drive mais adequados.

11. DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO COMPLETO

Modelagem conceitual da unidade linear robotizada, utilizando o *software* CATIA V5 em seus respectivos ambientes de desenvolvimento:

Parta Design: Para o desenvolvimento de peças individuais;

Assembly Design: Utilizado para a geração de conjuntos soldados ou subconjuntos de pré-montagem, reunindo e organizando todos os elementos desenvolvidos para uma visualização completa da unidade linear robotizada.

12. REFINAMENTO DE PROJETO

O refinamento de projeto se baseia na remodelagem do modelo matemático predefinido na etapa anterior, viabilizando o processo de fabricação de itens usinados (considerando as operações de usinagem e fornecimento de matéria-prima) e aquisição de itens comerciais. Portanto, nesta etapa do projeto é necessário o uso do software CAD CATIA V5, para parametrização dos componentes mecânicos, montagem e fixação de itens normalizados, verificando a devida condição da análise de forças para evitar possíveis super

dimensionamentos e posicionamento de itens comerciais (redutor, servo motor, patins / guia linear,...).

Através do refinamento de projeto, é possível detectar possíveis interferências e pontos críticos de contato entre todos os elementos da montagem, identificando colisões e prevendo possíveis erros de dimensionamento e *layout*.

13. SIMULAÇÃO DINÂMICA

A simulação dinâmica é a etapa final onde são simulados todos os possíveis deslocamentos do *Track* em função dos tempos de produção. Esta etapa é executada no *software* CATIA V5, no ambiente de simulação DMU KINEMATICS. Este ambiente permite a análise cinemática adicionando juntas ao conjunto de montagem gerando restrições físicas reais, possibilitando a visualização de funcionamento do equipamento em condições reais de simulação.

REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Automação x Automatização

Em um contexto industrial, pode-se definir automação como a tecnologia que se ocupa da utilização de sistemas mecânicos, eletroeletrônicos e computacionais na operação e controle da produção. Diversos exemplos de automação de sistemas de produção podem ser observados nas linhas de produção industrial, nas máquinas de montagem mecanizadas, nos sistemas de controle de produção industrial realimentados, nas máquinas-ferramentas dotadas de comandos numéricos e nos robôs de uso industrial (FERNANDO M BAYER, 2010).

O conceito de automação é constantemente confundido com o de automatização. O conceito de automatização está ligado à realização de movimentos automáticos, repetitivos e mecânicos, portanto, sinônimo de mecanização, e mecanismo implica ação cega, sem correção. Já a automação, possui um conceito de conjunto de técnicas por meio das quais se constroem sistemas ativos capazes de atuar com uma eficiência ótima pelo uso de informações recebidas do meio sobre o qual atuam. Com base nas informações

recebidas, o sistema calcula a ação corretiva mais apropriada, ou seja, um sistema de automação comporta-se como um operador humano, utilizando informações sensoriais. Ele pensa e executa a ação mais apropriada (ROSÁRIO, 2009).

Robótica

A palavra robô tem a origem atribuída ao escritor tcheco Karel Capek, o qual utilizou em seus livros o termo tcheco robota (que significa trabalhador escravo). Esse termo, traduzido para o inglês tornou-se robot, e teve o seu uso popularizado pelo escritor Issac Asimov com seu livro “Eu, Robô”, de 1950, data em que pela primeira vez foi utilizado o termo robótica para denominar ciência que estuda os sistemas robóticos (FERNANDO M BAYER, MÁRIO ECKHARDT & RENATO MACHADO, 2010).

O uso de robôs para desempenhar tarefas no chão de fábrica é chamado de robótica industrial, que representa uma importante carreira em tecnologia. É dessa forma que as empresas vêm conseguindo aplicar a automação estrategicamente. Como um reflexo da evolução tecnológica, a indústria consegue otimizar processos, reduzir desperdícios e riscos de falha, além de estruturar o funcionamento ininterrupto com muito mais facilidade (JÉSSICA LIMA, 2019).

Indústria 4.0

A Indústria 4.0 tem como principal objetivo a integração de tecnologias da informação e comunicação, visando alcançar novos patamares de produtividade, flexibilidade, qualidade e gerenciamento de produção possibilitando a geração de novas estratégias e modelos de negócios para a indústria, sendo, portanto, considerada a Quarta Revolução Industrial (JOSÉ SACOMANO… et al, 2018)

Aumento da competitividade oriundo da automação

A implantação de sistemas automatizados pode contribuir no aumento da competitividade de uma empresa. O aumento da competitividade é resultado da redução de custos com mão de obra, aumento da qualidade, redução de estoques, redução de produtos perdidos durante o processo produtivo, menor

tempo para fabricação do produto, otimização no processo de modificação dos produtos e respostas ágeis às solicitações de mercado. Sistemas automatizados tendem a otimizar processos e os resultados podem ser percebidos a curto, médio e longo prazo. (JUNIOR E CHAGAS, 2003).

Segundo a pesquisa realizada pela GS1 Brasil (2017), é perceptível a necessidade e os benefícios que a automação pode proporcionar, porém ainda enfrenta algumas barreiras, em que muitas das vezes se faz necessário um alto nível de mudança para atingir um maior nível de automação. A ideia de automação de processos visando bons resultados deve ser bem avaliada devido aos problemas que podem ser encontrados para sua futura implementação. A partir do levantamento de todos os riscos a decisão de implementar ou não uma solução baseada em automação se torna mais fácil para a empresa.

Crescimento da automação no Mundo

Segundo a Associação Alemã de Fabricantes de Máquinas e Instalações Industriais, o setor de automação teve um crescimento nas vendas do setor aumentaram em 13% no último ano. Nos primeiros quatro meses de 2022, os pedidos recebidos aumentaram 38%, também em relação ao ano anterior, na Alemanha. O investimento em robótica possibilitará à indústria a criação de produtos mais sofisticados, também na geração de emprego para profissionais qualificados nessa área. As indústrias automotiva, elétrica, eletrônica e metálica são as que mais investem no uso de robôs em seus parques industriais (VDMA, 2022).

O primeiro ano da pandemia da Covid-19 foi desafiador em todo mundo, mas, segundo o relatório, o ano de 2021 foi o terceiro melhor para a indústria robótica desde 2018, com um aumento de 10% em novas unidades instaladas (Pesquisa “2021 World Robot Report”, da Federação Internacional de Robótica, 2021).

Visão geral do mercado brasileiro

Segundo o Mapa do Ecossistema Brasileiro de Bots, a ascensão do mercado brasileiro de robótica também acontece em ritmo acelerado. O número de robôs no país aumentou 68% em um ano, passando de 60 mil em 2019 para

101 mil em 2020. Do total, 24 mil já estão em operação, e trocam cerca de 92 mil mensagens por mês com humanos, via sistema chatbot.

No Brasil, a robótica ainda é principiante nos parques industriais, o uso de robôs teve aumento de 3% desde 2015. A chegada da Internet 5G pode ajudar a acelerar o uso de tecnologias de automação, segundo especialistas da área (Federação Internacional de Robótica, 2021).

RESULTADOS

1. LEVANTAMENTO DE DADOS DE PRODUÇÃO

- Tipo de indústria para a oferta da solução automatizada: Indústria de usinagem;
- Aplicação da solução: Manipulação de peças;
- Descrição breve do processo: Posicionar peças dentro de 02 centros de usinagem;
- Quantidade de equipamentos de usinagem: 2;
- Modelo de equipamentos existentes: HELLER H 6000, HELLER H 8000;
- Tempo para usinagem de uma peça: 50 (s);
- Tempo para coleta de peça: 10 (s);
- Tempo para posicionamento de peça: 10 (s).
- Peso real da peça: 50 Kg.

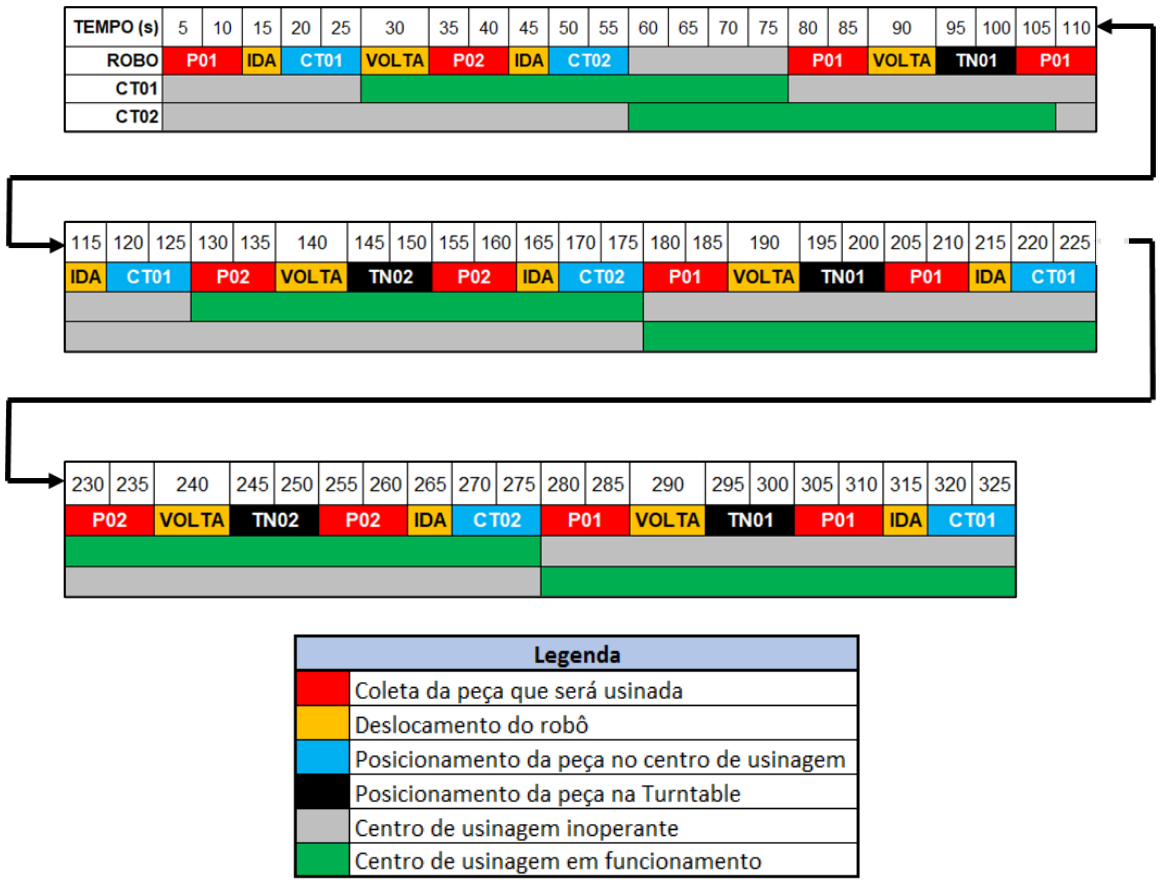
2. DEFINIÇÃO DO *LAYOUT* DA CÉLULA

A unidade linear robotizada proposta neste projeto é composta pelos seguintes equipamentos: 02 *turntables* (plataformas giratórias), 01 *track* (unidade linear robotizada), conforme a figura 8 abaixo:

3. CINEMÁTICA

Para a definição do tempo de percurso, foi realizado um estudo considerando as condições iniciais de movimentação do sistema, por meio de um diagrama temporal, conforme ilustrado abaixo:

Figura 9 - Diagrama temporal



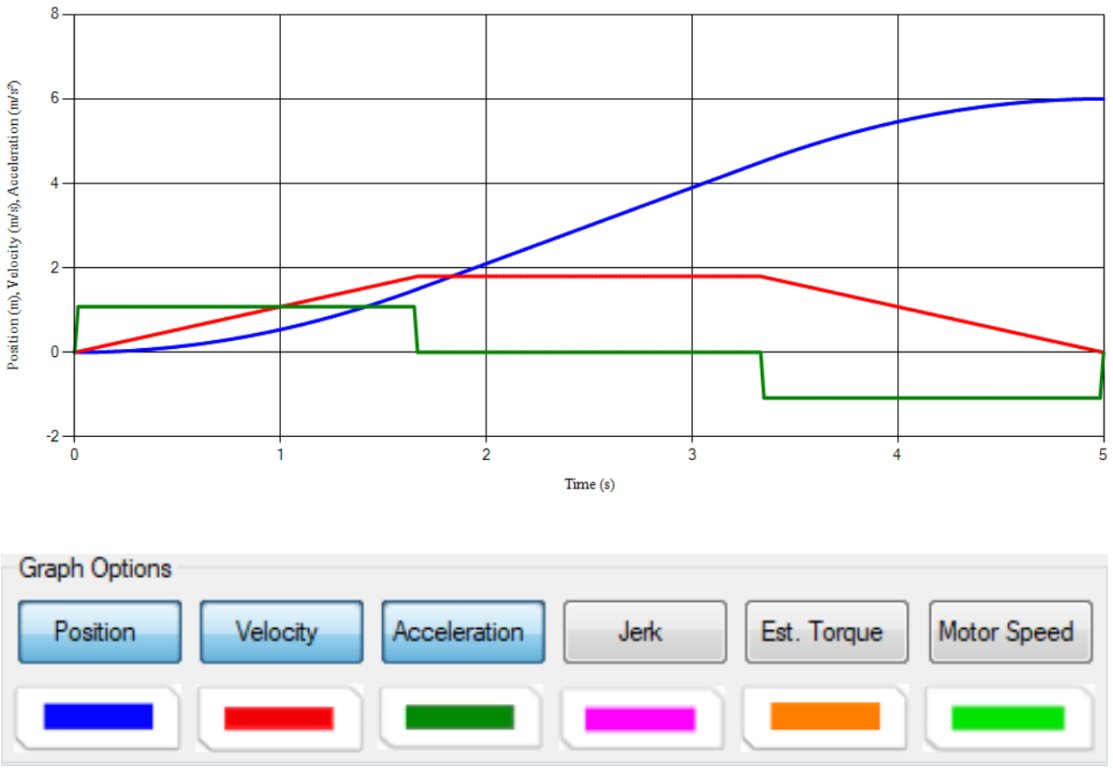
Legenda	
	Coleta da peça que será usinada
	Deslocamento do robô
	Posicionamento da peça no centro de usinagem
	Posicionamento da peça na Turntable
	Centro de usinagem inoperante
	Centro de usinagem em funcionamento

Fonte: Elaborado pelo Autor

Dados de entrada:

- Tempo de percurso: 5 Segundos;
- Distância percorrida: 6m
- Velocidade máxima: 1,8 m/s
- Tempo de aceleração de desaceleração: 1,66667 s

Figura 10 - Rampa de aceleração tipo trapezoidal



Fonte: Sigma Select Yaskawa

4. SELEÇÃO DO ROBÔ PARA APLICAÇÃO

O cálculo de capacidade de carga nominal ou *payload* (PL), como é chamado, se faz necessário para que o robô suporte as forças que regem toda a estrutura. Com a análise física das peças durante a visita técnica, foi constatado o peso unitário de 50 Kg. Um valor de constante de segurança 2 foi definido para aumentar a versatilidade do equipamento, possibilitando aplicações com outras diferentes cargas. Com o valor da massa da peça que será deslocada e o fator de segurança, é possível calcular a capacidade que o robô terá para suportar o peso dos corpos durante as atividades a partir da fórmula:

$$PL = m * FS, \ onde:$$

$$PL = capacidade\ nominal\ de\ carga\ ou\ payload - Kg\ (quilogramas);$$

$$m = massa - Kg\ (quilograma);$$

$$FS = fator\ de\ segurança.$$

$$\therefore PL = 50 \cdot 2;$$

$$PL = 100\ Kg.$$

Baseado no espaço disponível no chão de fábrica, foi definido uma distância mínima entre o *track Motion* e o centro de usinagem de 2 metros.

Tabela 1 - Dados técnicos robô selecionado Yaskawa

	DADOS TÉCNICOS - YASKAWA MOTOMAN MPL Series MPL 160 - 100II	
	Raio Alcance	2150 mm
	Payload	115 Kg
	Peso	950 Kg
	Posição de Montagem	PISO
	Repetibilidade	± 0.2 mm
	Número de Eixos	5

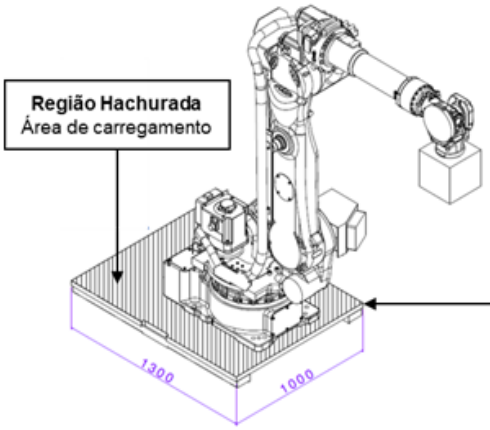
Fonte: Catálogo Bosch Rexroth

5. DEFINIÇÃO DO *PLATE* DE FIXAÇÃO DO ROBÔ

Desenvolvimento conceitual

Para determinar as dimensões do *Plate*, foram consideradas as dimensões da base do robô e dos componentes embarcados, de modo que fiquem fixados e organizados com espaço para facilitar as manutenções e para atender futuros *upgrades*. Escolhemos o aço 1020, pela sua excelente relação custo benefício, boa usinabilidade, pelas ótimas propriedades de resistência, ductilidade e soldabilidade. (Peso do *Plate* = 424 Kg). A figura abaixo demonstra a estrutura do *plate* e as suas características:

Figura 11 - Demonstração do *plate*



CARGAS SOLICITADAS

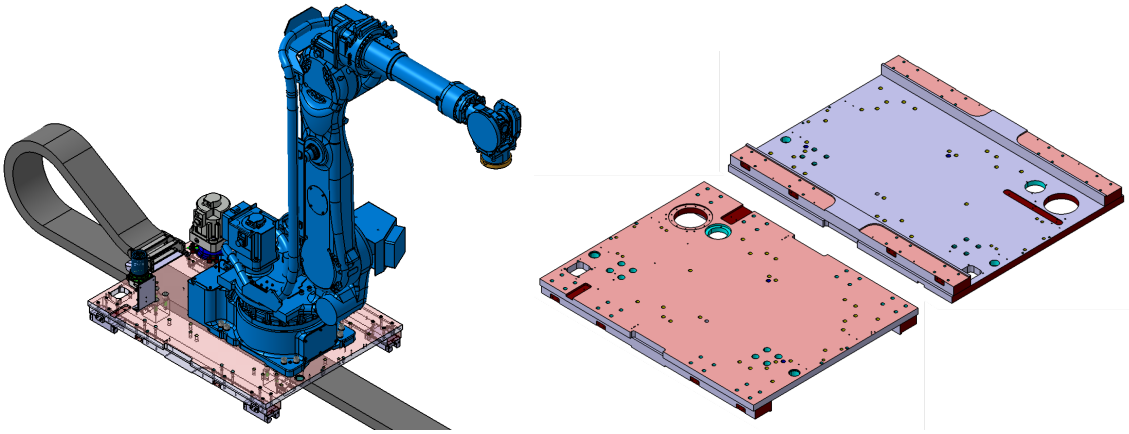
DESCRIÇÃO	MASSA (Kg)
Robô Yaskawa MPL 100	950
Payload	115
Servo Motor	20
Caixa de Redução	20
Normalizados	5
Acessórios embarcados	30
TOTAL	**1140**

Fonte: Elaborado pelo Autor

Refinamento do modelo conceitual

Acréscimo de furações para fixação dos elementos embarcados, e usinagens; viabilizando a fabricação e condicionando de forma eficiente o processo de montagem.

Figura 12 - Demonstração do refinamento do modelo conceitual

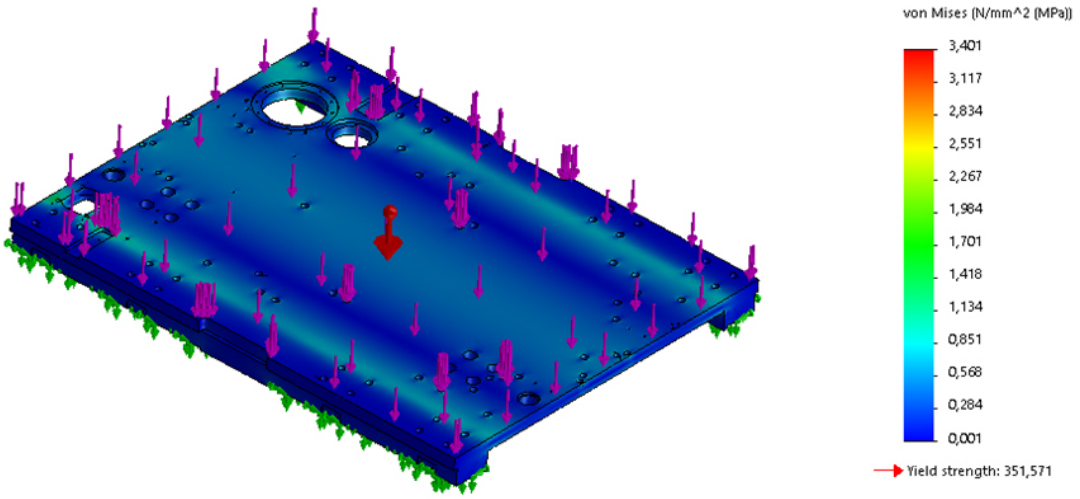


Fonte: Elaborado pelo autor

ANÁLISE DE ELEMENTOS FINITOS

Resultados de tensão (Von Mises)

Figura 13 - Demonstração dos resultados de tensão do Critério de Von Mises



Fonte: Elaborado pelo autor

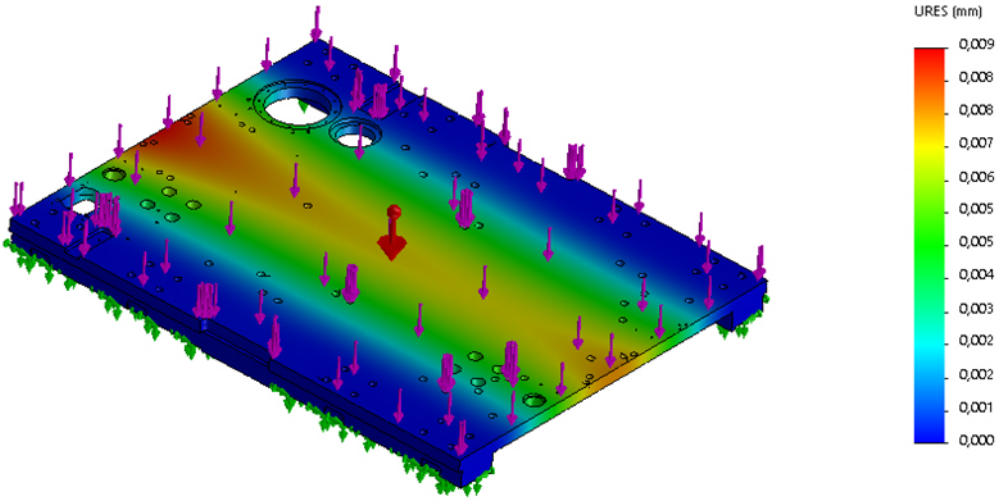
Força aplicada: 1140 Kg = 11400 N;

Ponto de tensão máxima: 3,401 N/mm²;

Limite de escoamento do material: 351,7 N/mm²;

Resultados de deslocamento

Figura 14 - Demonstração dos resultados de deslocamento de Ures



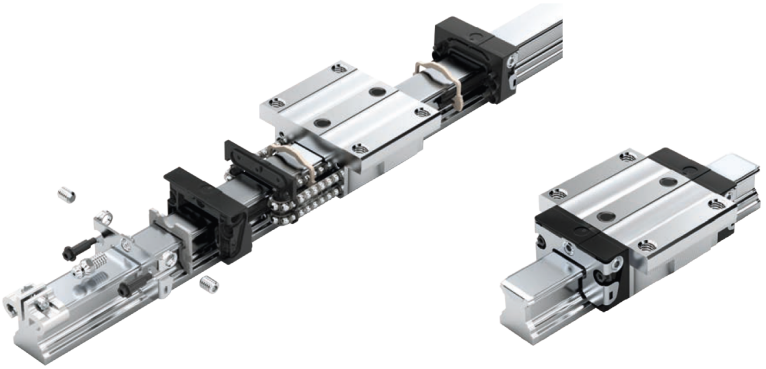
Fonte: Elaborado pelo autor

Força aplicada: 1140 Kg = 11400 N;
Tipo de deformação encontrada: Deformação elástica;
Ponto com maior deslocamento: 0.009 mm;

6. DEFINIÇÃO DA TECNOLOGIA PARA MOVIMENTAÇÃO LINEAR

O patins linear de esferas foi definido como tecnologia para movimentação linear, devido à sua excelente capacidade de distribuição de forças em diferentes direções e sentidos, mantendo o sistema livre de grandes vibrações e reduzindo o coeficiente de atrito, impactando diretamente na força para o deslocamento da carga que será movida. Esse tipo de elemento possui flanges para fixação, facilitando a montagem e possíveis ajustes mecânicos.

Figura 15 - Demonstração da guia linear



Fonte: Catálogo da Bosch Rexroth

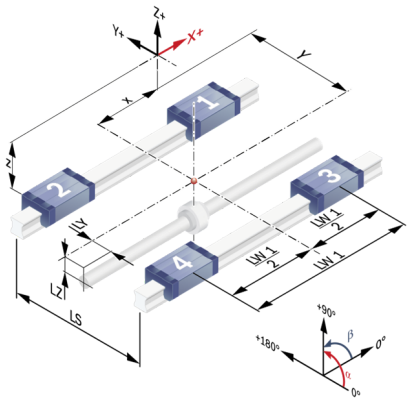
7. DEFINIÇÃO DE LAYOUT (PLATE) E SELEÇÃO DE PATINS LINEAR

Tabela 2 - Tabela de sistema de coordenadas

SISTEMA DE COORDENADAS		
ID Angle	**Eixo de rotação**	**Valor do ângulo**
α	Rot. em torno do eixo Y	0 [°]
β	Rot. em torno do eixo X	0 [°]

Fonte: Elaborado pelo Autor

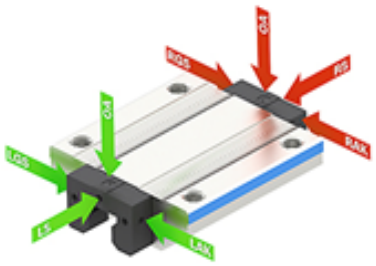
Figura 16 - Carregamento equivalente dinâmico



Fonte: *Software* LMD Rexroth

RESULTADOS DAS CARGAS ATUANTES SOBRE CADA PATINS

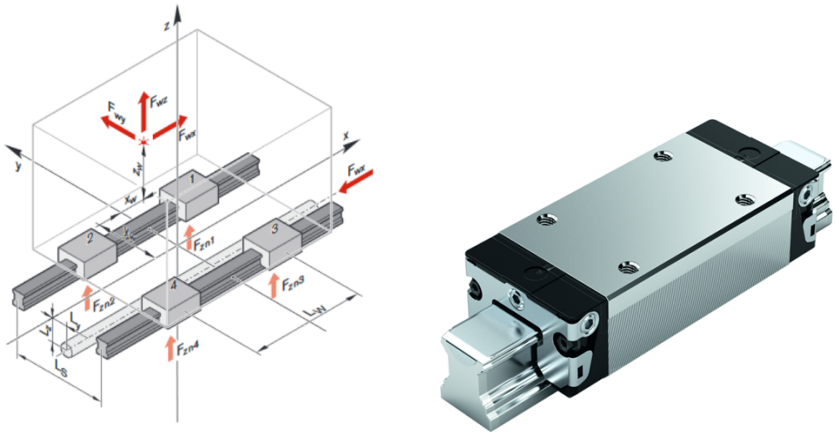
Figura 17 - Análise técnica dos patins



Fonte: Catálogo da Bosch Rexroth

FW 1: 1042.37 N **FW 2:** 849.13 N **FW 3:** 1039.13 N **FW 4:** 852.38 N

Figura 17 - Análise técnica dos patins



Fonte: Catálogo da Bosch Rexroth

Tabela 3 - Parâmetros calculados dos patins

Parâmentros calculados	Nomeclatura	Valor	Unidade
Capacidade de carregamento dinâmico	C	111000	[N]
Capacidade de carregamento estático	C0	190000	[N]
Momento dinâmico admissível	Mt	3010	[Nm]
Momento dinâmico admissível	ML	2730	[Nm]
Força de pré-carregamento	Fv	0	[N]
Velocidade máxima permitida	Vmax,per	5	[m/s]
Aceleração máxima permitida	amax,per	50	[m/s2]
Diferença de altura	ΔZ	36.5	[mm]
Força de atrito	Fat	0.003	[N]
Fator de operação selecionado	fw	1.00	[-]
Redução da capacidade de carga devido à pequena distância RB	fLW	1.00	[-]
Redução em curso curto	fs	1.00	[-]

Fonte: Elaborado pelo Autor

Patins linear selecionado:

Fabricante: Rexroth

Modelo: R1623 493 20

8. DEFINIÇÃO DOS ELEMENTOS PARA A TRANSMISSÃO DE POTÊNCIA

Analisando os elementos para a transmissão de potência disponíveis no mercado, o modelo selecionado para esta aplicação em estudo será a cremalheira de precisão com dentes helicoidais. O *Track Motion* foi projetado em conjuntos segmentados para futuras extensões em seu comprimento, possibilitando a ampliação de seu deslocamento longitudinal. Tendo-se em vista essa premissa de desenvolvimento, a cremalheira poderá ser fornecida em segmentos de comprimento comercialmente normalizados facilitando a montagem do equipamento e suas futuras manutenções. A cremalheira de precisão com dente helicoidal possibilita a movimentação de grandes cargas com precisão de movimentação. Segundo a norma DIN 3962, cremalheiras de classe 5 apresentam tolerância entre +/-0,02mm e +/-0,025mm em um comprimento de 1 metro, devido ao grau de acabamento de seus dentes e qualidade de material para fabricação.

Figura 18 - Cremalheira Wittenstein

Fonte: Wittenstein

9. DIMENSIONAMENTO DO MÓDULO DA CREMALHEIRA / PINHÃO

$$FthR = m * a + FAT$$

$$FthR = 2000 * 1,08 + (0,003 * 4) * 20000$$

$$FthR = 2400\ N$$

$$FthC = FthR * K$$

Tabela para a seleção do fator de segurança “K”, em função do tempo de operação do equipamento e tipo de carga a ser manipulada.

Tabela 4 - Tabela para seleção do fator de segurança “K”

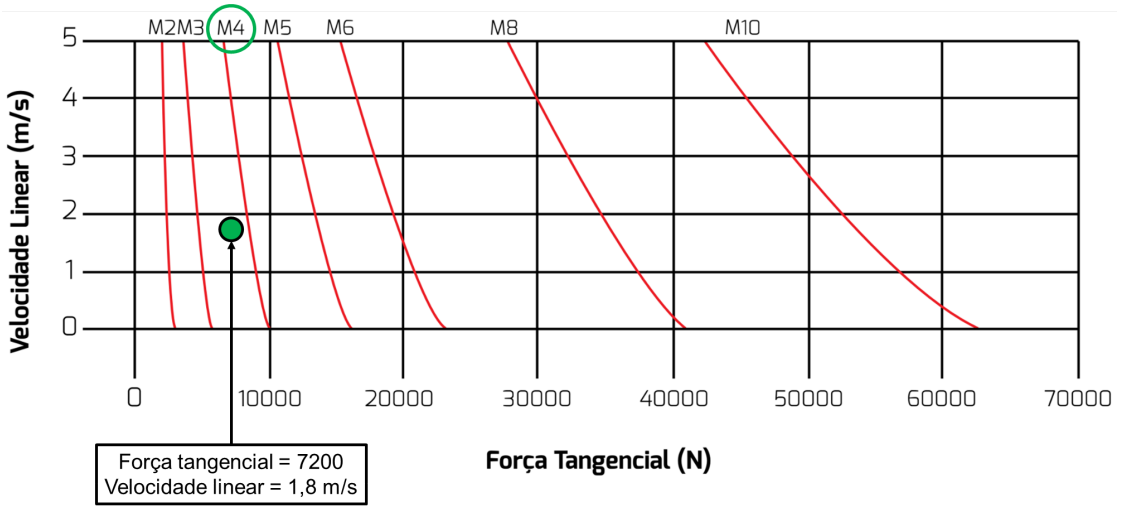
TEMPO DE TRABALHO	TIPO DE CARGA		
	Uniforme	Moderada	Severa
Ocasional (½ hora)	1,5	1,8	2,3
Intermediária (3 horas)	1,8	2	2,5
8 a 10 horas	2	2,25	2,8
24 horas	2	2,5	3

Fonte: Elaborado pelo Autor

$$FthC = 2400 * 3 = 7200\ N$$

Tabela para a seleção do módulo em função da velocidade e da força tangencial para o aço SAE 1045 com os dentes temperados por indução HRC>=52

Figura 19 - Tabela para cremalheira de dente helicoidal



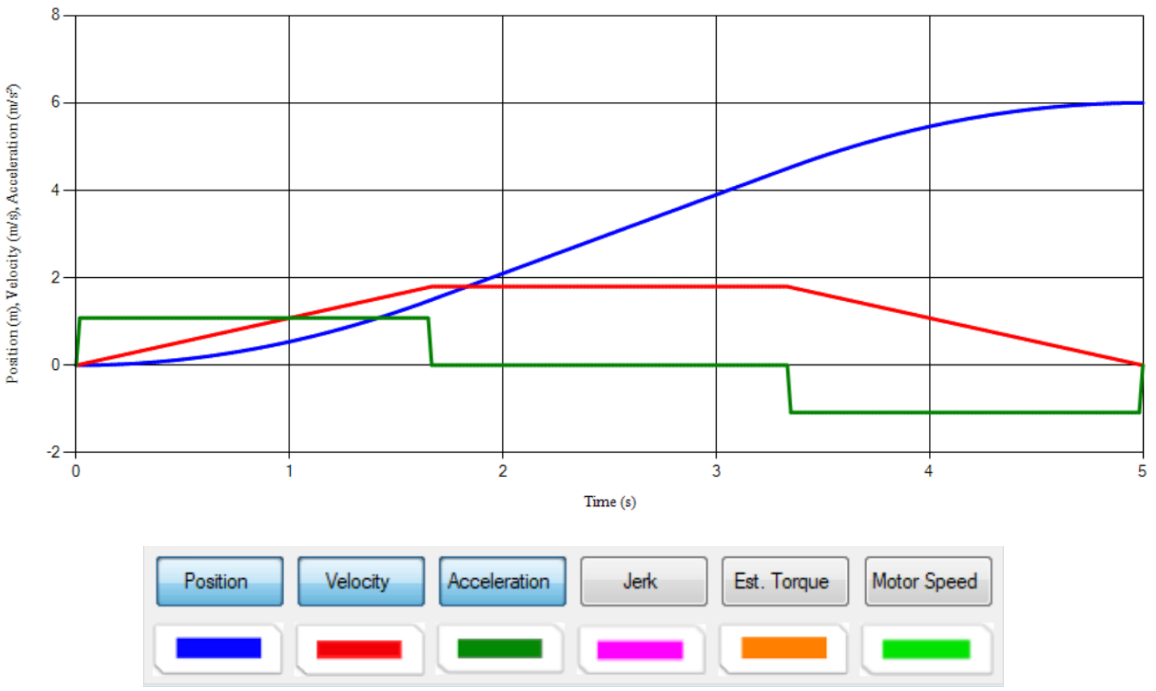
Fonte: Elaborado pelo autor

- Módulo selecionado: **M4**
- Número de dentes (Z): **20**

10. DIMENSIONAMENTO DO SERVOACIONAMENTO

Perfil de movimento de carga:

Figura 20 - Demonstração da rampa de Aceleração



Fonte: Sigma Select Yakawa

Dados de desempenho do redutor selecionado:

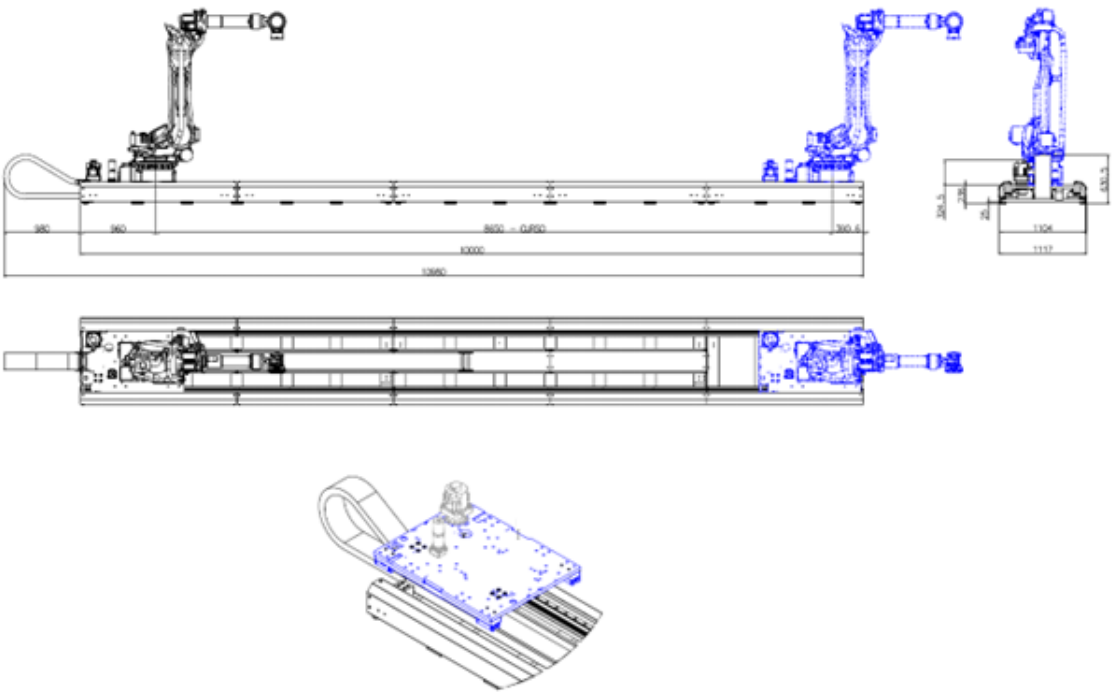
- Tipo de redução: Cicloidal;
- Torque Max: 720 N.m;
- Velocidade máxima de entrada: 5000 RPM;
- Momento de inércia: 8,71 Kg.cm²
- Redução: 1 : 10
- Número de estágios: 1

Dados de desempenho do Servo motor Selecionado:

- Tensão de entrada: 200VAC
- Torque máximo: 45,1 N.m
- Torque Nominal: 18.6 N.m
- Velocidade Máxima: 3000 RPM
- Inércia refletida: 0.00224 Kg.m²

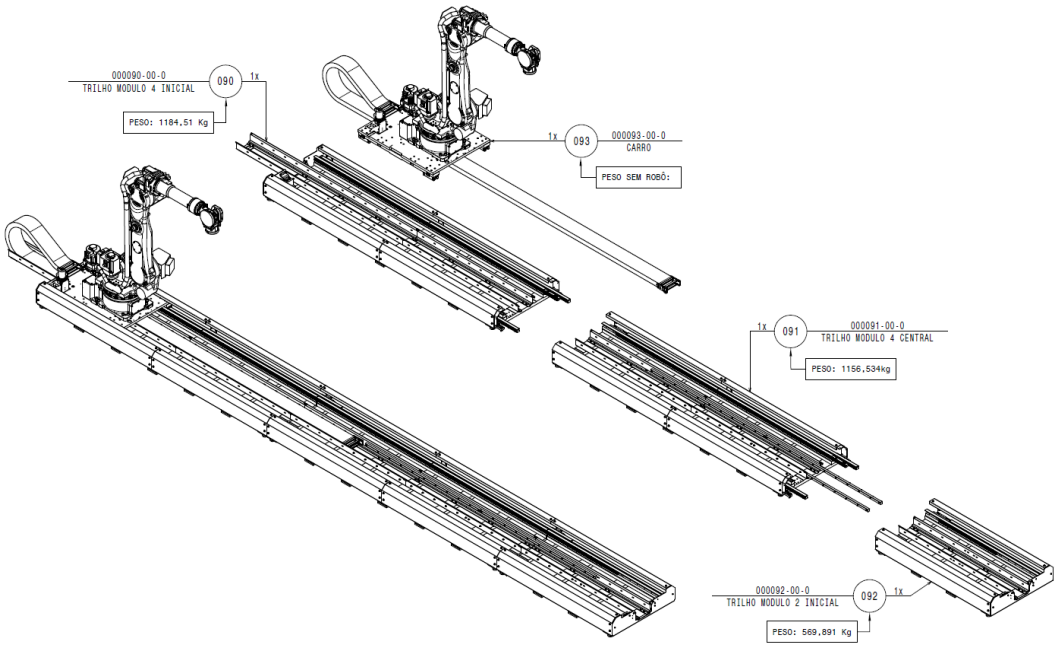
11. DESENVOLVIMENTO DO MODELO MATEMÁTICO COMPLETO

Figura 21 - Demonstração do desenvolvimento do modelo matemático completo



Fonte: Elaborado pelo autor

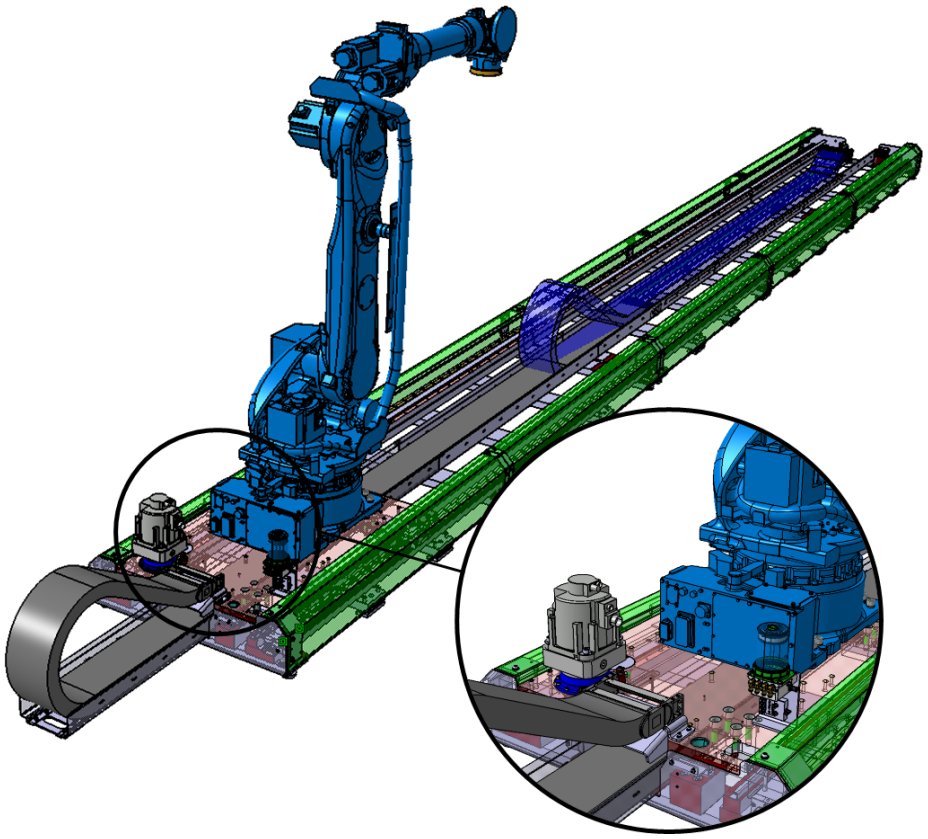
Figura 22 - Demonstração dos resultados do modelo matemático



Fonte: Elaborado pelo autor

12. REFINAMENTO DE PROJETO

Figura 23 - Demonstração do refinamento do projeto



Fonte: Elaborado pelo Autor

CONCLUSÃO

Por meio de uma visita técnica a um ambiente fabril, foi possível identificar a necessidade da implantação de um equipamento para a manipulação de peças, a fim de auxiliar no seu deslocamento entre os centros de usinagens presentes no setor. Através da coleta de dados provenientes do ambiente de produção da empresa em questão, tornou-se possível o desenvolvimento de um equipamento denominado Unidade Linear Robotizada (comercialmente denominada *Track Motion*). Tendo-se como embasamento todo o conhecimento adquirido ao longo do curso de Engenharia de Controle e Automação, o qual é oriundo de conceitos fundamentais da engenharia, foi possível o dimensionamento dos principais elementos mecânicos que competem à projeção de peças e conjuntos constituintes da Unidade Linear Robotizada, os quais foram adequadamente validados de forma analítica e simulados em softwares de engenharia.

A idealização, desenvolvimento e projeção da Unidade Linear Robotizada demonstrou que ela possui acentuada relevância no segmento da automação industrial. Apesar das dificuldades encontradas, podem ser observados benefícios claros, como otimização do tempo de processos, remanejamento da mão-de-obra para setores específicos, os quais veem de encontro com os objetivos da indústria 4.0.

No que se refere a melhorias no projeto, podemos citar o uso de diferentes modelos de braços robóticos para diversificar o uso da Unidade Linear Robotizada no ambiente fabril, ampliando sua área de atuação, para atender outras necessidades, além do setor de usinagem.

Neste trabalho, foram utilizados *softwares* de engenharia; como o CATIA V5, para a modelagem das peças e montagem dos conjuntos; o Solidworks, para a definição das condições de contorno e análise de elementos finitos; o LMD Rexroth, para o cálculo e seleção de patins lineares; e o Sigma *Select*, para o dimensionamento e seleção do sistema para servo acionamento.

REFERÊNCIAS

Aumento no mercado de robótica e automação 2022. VDI, 2022. Disponível em: https://www.vdibrasil.com/aumento-no-mercado-de-robotica-e-automacao-em-2022/#:~:text=Os%20dados%20s%C3%A3o%20da%20pesquisa,10%25%20em%20novas%20unidades%20instaladas . Acesso em 17 out 2022.

BAYER, Fernando M. Automação de Sistemas. Santa Maria - RS. Jan 2010. Disponível em: http://professor.pucgoias.edu.br/SiteDocente/admin/arquivosUpload/18451/material/Apostila%202.pdf . Acesso em 17 out 2022.

Engenharia Elétrica: As contribuições da vida acadêmica no cotidiano do profissional. FG Pinheiro, APT Costa, MT Alves. 1. ed. 2021. Disponível em: https://web.archive.org/web/20210318124543id_/https://poisson.com.br/livros/individuais/Eng_Eletrica_Academica/Eng_Eletrica_Academica.pdf#page=16 . Acesso em 17 out 2022.

FURTADO, André Tosi; CARVALHO, Ruy de Quadros. Padrões de intensidade tecnológica da indústria brasileira: um estudo comparativo com os países centrais. **São Paulo em perspectiva**, v. 19, p. 70-84, 2005.

Motion Functions for robots. A dedicated range of solutions for improved motion. FANUC MultiArm, 2022. Disponível em: https://www.fanuc.eu/hr/en/robots/accessories/robot-motion . Acesso em: 03 out. 2022.

ROMANO, V.; DUTRA, M. Introdução à robótica industrial. **Robótica Industrial: Aplicação na Indústria de Manufatura e de Processo, São Paulo: Edgard Blücher**, p. 1-19, 2002.

ROSÁRIO, João M. Automação Industrial. São Paulo. Editora: Baraúna LTDA, 2009.

SACOMANO, José Benedito, GONÇALVES, Rodrigo Franco, DA SILVA, Márcia Terra, BONILLA, Silvia Helena, SÁTYRO, Walter Cardoso. Indústria 4.0. Conceitos e fundamentos. São Paulo. Edgard Blücher Ltda, 2018.

Sigma Track. Sigma Track - Deslizador integrado com núcleo de ferro e trilhos magnéticos. Yaskawa Brasil, 2019. Disponível em: https://catalogo.yaskawa.com.br/product/sigma-7-lineares/sigma-track . Acesso em: 25 set. 2022.

Sistemas de Lubrificação Automática. O lubrificante certo, na quantidade certa, no momento certo, no ponto de lubrificação certo. SKF, 2022. Disponível em: https://www.skf.com/br/products/lubrication-management/automatic-lubrication-systems . Acesso em: 01 out. 2022.

SUZIGAN, Wilson. A indústria brasileira após uma década de estagnação: questões para política industrial. **Economia e sociedade**, v. 1, n. 1, p. 89-109, 1992.

The Industrial Robot: How does it work?. KUKA AG, 2022. Disponível em: https://www.kuka.com/en-us/products/robotics-systems/good-to-know-industrial-robots. Acesso em: 15 set. 2022.

Track Motion. Abb, 2022. Disponível em: https://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/robot-positioners-track-motion . Acesso em: 02 out. 2022.

Visão Geral das nossas aplicações. Construção de máquinas e unidades. Wittenstein SE, 2022. Disponível em: https://www.wittenstein.com.br/conhecimento/aplicacoes/ . Acesso em 03 out. 2022.

Visão Geral de produtos de hidráulica industrial. Bosch Rexroth Ltda, 2014-2022. Disponível em: https://www.boschrexroth.com/pt/br/produtos/grupos-de-produtos/hidraulica-industrial/ . Acesso em: 02 out. 2022.