

PROJETO DE UMA MÁQUINA ALIMENTADORA DE TARUGOS

Eduardo de Souza Costa ⁽¹⁾⁽²⁾ (costa.ondas2@gmail.com)
Paulo Fernando Figueiredo Maciel ⁽¹⁾⁽³⁾ (paulo.figueiredo@ifam.edu.br)
Michaela Socorro Bruce Fialho ⁽¹⁾⁽³⁾ (michaela.fialho@ifam.edu.br)

⁽¹⁾ Instituto Federal de Educação Ciências e Tecnologia do Amazonas (IFAM); Departamento Acadêmico de Processos Industriais.

⁽²⁾ Aluno do Curso de Bacharelado Presencial em Engenharia Mecânica do IFAM Campus Manaus Centro

⁽³⁾ Professor do Curso de Bacharelado Presencial em Engenharia Mecânica do IFAM Campus Manaus Centro

RESUMO: *O presente trabalho apresenta o projeto de uma Máquina Alimentadora Automática de Tarugos de Alumínio, destinada a suprir as demandas da indústria de extrusão de perfis de alumínio. O objetivo é proporcionar uma solução automatizada e confiável para o abastecimento de tarugos de alumínio, visando a melhoria da produtividade e competitividade das empresas do setor de forma sustentável. A metodologia é dividida em três etapas principais: projeto mecânico, projeto elétrico e programação ladder. Na fase de projeto mecânico, foram dimensionados os elementos físicos da máquina, garantindo sua robustez e eficiência operacional. No projeto elétrico, são dimensionados e selecionados os componentes elétricos necessários, levando em consideração normas de segurança e requisitos de desempenho. Por fim, na etapa de programação ladder, é desenvolvido o software de controle da máquina, responsável por coordenar suas operações. Os métodos descritos possibilitam fabricar uma máquina capaz de atender aos requisitos do projeto de forma eficiente e sustentável.*

PALAVRAS-CHAVE: PROJETO, MÁQUINA, TARUGOS, ALIMENTADORA, ALUMÍNIO.

DESIGN OF A BILLET FEEDING MACHINE

ABSTRACT: *This work presents the development of a project for an Automatic Aluminum Billet Feeding Machine, designed to meet the demands of the aluminum profile extrusion industry. The objective is to provide an automated and reliable solution for the supply of aluminum billets, aiming to improve the productivity and competitiveness of companies in the sector in a sustainable manner. The methodology is divided into three main stages: mechanical design, electrical design, and ladder programming. In the mechanical design phase, the physical elements of the machine are dimensioned, ensuring its robustness and operational efficiency. In the electrical design phase, the necessary electrical components are dimensioned and selected, taking into account safety standards and performance requirements. Finally, in the ladder programming phase, the machine control software is developed, responsible for coordinating its operations. The described methods enable the design of a machine capable of meeting the project requirements efficiently and sustainably.*

KEYWORDS: DESIGN, MACHINE, BILLET, FEEDER, ALUMINUM.

1. INTRODUÇÃO

A automação pode ser definida como "a tecnologia pela qual um processo ou procedimento é realizado sem assistência humana. Embora os humanos possam estar presentes como observadores ou até mesmo participantes, o próprio processo opera sob sua própria autodireção. A automação é implementada por meio de um sistema de controle que executa um programa de instruções" (GROOVER, 2010).

Automação industrial é um recurso vital para aprimorar os processos fabris. Ao automatizar as máquinas, é possível criar indicadores que facilitam a gestão, aceleram operações e eliminam movimentos manuais desnecessários. Essa abordagem não apenas reduz tarefas que não agregam valor aos produtos, mas também otimiza a eficiência geral do processo. Além disso, a automação descentraliza responsabilidades, proporcionando aos colaboradores maior autonomia e permitindo que se concentrem em atividades de maior relevância. Como resultado, a empresa pode alcançar uma gestão mais eficaz e uma produção mais ágil e competitiva (Roser, 2016).

1.1 Objetivos

- Projetar e desenvolver os componentes eletromecânicos da máquina alimentadora automática, considerando a simplicidade, robustez e eficiência operacional.
- Integrar mecanismos automatizados de manipulação para o transporte eficiente dos tarugos da máquina alimentadora para a serra, assegurando um fluxo contínuo e otimizado.
- Analisar a viabilidade econômica do projeto, considerando o custo dos componentes mecânicos, elétricos e a mão de obra necessária para montar a máquina.

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Tarugos

De acordo com Hatch (1984) em sua obra "Aluminum: Properties and Physical Metallurgy", o termo tarugo é utilizado para descrever um bloco ou cilindro de alumínio produzido por meio do processo de lingotamento. Esses tarugos são comumente encontrados com seções transversais

quadradas ou redondas e são fundamentais como matéria-prima para diversos processos de fabricação, como a extrusão de perfis de alumínio.

O tarugo é um componente vital nas indústrias mecânica e automotiva, sendo fabricado a partir de materiais metálicos conhecidos por sua durabilidade. Sua resistência pode ser aprimorada com a adição de outros metais, resultando em uma longa vida útil.

O alumínio, entre outros materiais, é frequentemente utilizado na fabricação de tarugos. Classificado como não ferroso, o alumínio exibe excelente resistência à corrosão em comparação com o ferro. Essa característica permite sua aplicação em ambientes internos e externos, sem comprometer seu desempenho mesmo em condições climáticas adversas (ASM International, 2020).

2.2 Momento de Inércia

O momento de inércia, também conhecido como inércia rotacional, é uma medida da resistência de um corpo à variação do seu movimento rotacional em torno de um eixo. Esse conceito é fundamental na dinâmica de sistemas mecânicos, sendo crucial para o projeto de máquinas e estruturas rotativas. A expressão matemática geral para o momento de inércia (I) de um corpo rígido em relação a um eixo é definida pela Equação 1:

$$I = \int_V r^2 \rho(r) dV \quad (1)$$

Onde: r = é a distância de um elemento de massa dm ao eixo de rotação; $\rho(r)$ = densidade do material em função da posição; dV = elemento infinitesimal de volume.

Para tubos de aço quadrados, a expressão do momento de inércia em relação a um eixo passando pelo centro da seção transversal e perpendicular a um dos lados é dada pela Equação 2:

$$I = \frac{1}{12} (a^4 - b^4) \quad (2)$$

Onde: a = é o comprimento do lado externo do tubo; b = é o comprimento do lado interno do tubo.

Estudos recentes têm investigado o impacto de diferentes espessuras de parede e materiais utilizados em tubos de aço quadrados. De acordo com Lima et al. (2021), a variação na espessura da parede influencia significativamente o momento de inércia, afetando a rigidez e resistência à torção dos componentes estruturais em aplicações industriais.

Além disso, a pesquisa de Almeida e Nunes (2023) destacou a importância da otimização do design de tubos de aço quadrados para melhorar o desempenho mecânico e reduzir o peso. Utilizando técnicas de simulação por elementos finitos (FEM), os autores conseguiram desenvolver perfis que maximizam o momento de inércia, mantendo a integridade estrutural e minimizando o material necessário.

3. METODOLOGIA

3.1 Projeto Mecânico

A máquina alimentadora deve possuir algumas características que são listadas no Quadro 1. Foi por meio desse quadro que se iniciou o dimensionamento dos componentes mecânicos e estruturais da máquina.

QUADRO 1. Especificação da alimentadora.

Descrição	Objetivo
Carga Máxima	10413 kg
Comprimento máximo dos tarugos	5m
Comprimento mínimo dos tarugos	2m
Velocidade máxima	35 m/min
Diâmetro máximo dos tarugos	13 pol
Diâmetro mínimo dos tarugos	7 pol

Fonte: Autoria própria (2024).

QUADRO 2. Propriedades do tarugo de alumínio.

Diâmetro (polegadas)	Diâmetro (milímetros)	Peso (kg/m)
7	177,80	67,038
8	203,20	87,559

9	228,60	110,817
10	254,00	136,811
13	330,20	231,211

Fonte: Shock Metais (2024).

3.1.1 Projeto da mesa

Os tarugos ficam sobre a bancada em contato direto com 4 tubos quadrados, sendo a carga máxima 10413 kg, cada tubo deve suportar 25537 N. Para uma viga simples apoiada o momento fletor máximo (M_{max}) é dado pela Equação 3:

$$M_{max} = \frac{wL^2}{8} \quad (3)$$

Onde w = carga distribuída por unidade de comprimento; L = comprimento da viga. Utilizando $L = 3$ foi calculado $M_{max} = 9576 \text{ N.m}$

Verificou-se que um tubo 100 mm x 100 mm x 6 mm atende aos requisitos sendo o momento de inércia (I) do tubo calculado pela Equação 4:

$$I = \frac{1}{12} (100^4 - 88^4) = 3,33 \times 10^6 \text{ mm}^4 \quad (4)$$

Com isso foi usado a equação do momento de inércia para tubos quadrados e a relação com momento fletor para encontrar a tensão admissível (σ) do tubo dado pela Equação 5:

$$\sigma = \frac{M_{max}c}{I} = \frac{9576 \times 10^6 \times 50}{3,33 \times 10^6} = 143,7 \text{ MPa} \quad (5)$$

Os tubos usados são de acordo com a norma ABNT NBR 6018:2014 classe D que define o limite mínimo de escoamento como sendo 340 MPa. Logo, calcula-se um coeficiente de segurança de 2,36.

3.1.2 Dimensionamento dos mancais do mecanismo de pick up

Dois conjuntos do mecanismo de pick up ficaram responsáveis por recolher o tarugo da mesa para a esteira. O mecanismo tem caráter rotativo e possui 4 mancais por conjunto. Sabendo que cada tarugo tem um peso máximo de 11341 N, distribuído para 2 cada pick up deve suportar 5670 N.

Utilizando a dimensão aproximada de 20 mm X 600 mm X 340 mm da peça pick up em aço, é calculado a massa de 32 Kg que equivale a uma carga de 314 N. Com isso pode-se calcular a carga dinâmica equivalente (P) através da Equação 6:

$$P = X.Fr + Y.Fa \quad (6)$$

Onde: X = fator radial; Y = fator axial; Fr = carga radial; Fa = carga axial. Assumindo que a carga axial seja desprezível, $Fr \gg Fa$, e $X = 1$ temos $P = 5670$ N.

Somando temos uma carga total radial de 5984 N, aproximadamente 6 kN. Utilizando 5 para o fator de segurança de carga dinâmica ($Sreq$) disponível no Catálogo Geral de Rolamentos (2015) da SKF, chegasse a um valor de capacidade de carga dinâmica (C) de 30 kN. Logo o mancal de rolamento escolhido no catálogo da SKF foi o FYJ 40 TF com $C = 30,7$ kN.

A vida nominal em milhões de revoluções (L_{10}) para mancais de esferas de acordo com a ISO 281 é dada pela Equação 7:

$$L_{10} = \left(\frac{C}{P}\right)^p \quad (7)$$

Onde: p = expoente da fórmula de vida nominal, que segundo a ISO 281 é 3 para rolamentos de esfera.

Pela Equação 7 foi possível calcular uma vida de 156 milhões de revoluções. A uma velocidade de 20 rpm o que equivale a 14 anos de operação.

3.1.3 Dimensionamento da chaveta para os eixos do mecanismo de pick up

Assumindo um raio de 200 mm, diâmetro do eixo (d) igual a 40 mm e uma carga de 6 kN temos que o torque (T) equivale a 1200 N.m. Com isso é possível encontrar a força de cisalhamento (F) igual a 60 kN atuando na chaveta através da Equação 8:

$$F = \frac{2T}{d} \quad (8)$$

A tensão de cisalhamento (τ_{xy}) em uma chaveta é dada pela Equação 9:

$$\tau_{xy} = \frac{F}{A_{cis}} \quad (9)$$

Onde: A_{cis} = área de cisalhamento.

Assumindo que o material da chaveta é o Aço 1045 com limite de escoamento de 450 MPa, largura de 12 mm dado pela DIN 6885 e utilizando um fator de segurança de 5, é possível calcular e chegar ao valor de 83 mm para o comprimento da chaveta. Logo, a chaveta utilizada será a 12 mm x 8 mm x 85 mm JAN.

3.1.4 Cálculo da potência do motor do mecanismo de pick up

O cálculo da potência (P) foi feito utilizando a Equação 10:

$$P = M \cdot \omega \quad (10)$$

Onde: M = momento fletor; ω = velocidade angular.

Que pode ser convertida em velocidade rotacional rpm conforme a Equação 11:

$$P = M \frac{\pi n}{30} \quad (11)$$

Onde: n = velocidade de rotação em rotações por minuto; π = constante matemática.

Utilizando 1200 N.m para o momento fletor e 17 rpm, calcula-se 2136 KW ou 2,9 CV. Logo foi escolhido o motor 3 CV NOVA-M732420A00 de 3480 rpm.

3.1.5 Dimensionamento do motor e bomba hidráulica

Sendo o torque necessário para elevar o tarugo igual a 1200 N.m, o motor hidráulico escolhido no catálogo Hybel Bombas e Motores Óleo Hidráulico (2017) foi o H-OMV 500 com torque máximo contínuo de 1460 N.m e deslocamento volumétrico de 499,6 cm³/rot.

O deslocamento volumétrico da bomba hidráulica (D_p) foi dado pela Equação 12:

$$D_p = \frac{D_m \times N_m}{N_e} \quad (12)$$

Em que: D_m = deslocamento volumétrico do motor hidráulico; N_m = velocidade rotacional do motor hidráulico; N_e = velocidade rotacional do motor elétrico.

Com isso foi encontrado que o deslocamento volumétrico da bomba hidráulica D_p deve ser de 2,44 cm³/rot. Logo, a bomba hidráulica escolhida foi a S03 25 com D_p igual a 2,5 cm³/rot no catálogo Hybel Bombas e Motores Óleo Hidráulico (2017).

3.1.6 Projeto da esteira

O projeto da esteira envolve a construção de uma estrutura robusta para a movimentação dos tarugos de alumínio até a serra. A esteira, com aproximadamente 7 metros de comprimento, será integrada a uma mesa de tarugos, ambas feitas de tubos quadrados de aço e soldadas para garantir a estabilidade e durabilidade necessárias. A montagem da esteira requer a integração dos sistemas mecânico e hidráulico para assegurar o funcionamento contínuo e seguro da linha de extrusão de perfis de alumínio.

3.1.6.1 Dimensionamento do eixo do rolete da esteira transportadora

A esteira transportadora é composta por roletes que sustentam o tarugo, dois mancais são necessários para sustentar o tarugo de modo que seu movimento seja linear.

Assumindo uma distância de 500 mm entre os roletes e sabendo que 5 m de tarugo equivale a um peso de 11341 N, foi calculado que cada eixo deve suportar uma carga radial de 1134 N.

O momento fletor máximo (M) do eixo é dado pela Equação 13:

$$M = \frac{F \cdot L}{4} \quad (13)$$

Onde: F = carga radial; L = comprimento do eixo; A tensão de flexão (σ) é dada pela Equação 14:

$$\sigma = \frac{M \cdot c}{I} \quad (14)$$

Em que: c = raio do eixo; I = momento de inércia da seção circular do eixo.

Sabendo que o limite de escoamento do Aço 1045 é de 450 MPa e utilizando 5 para o fator de segurança, calcula-se que a tensão de flexão σ seja 90 MPa. Juntando a Equação 13 na Equação 14 e resolvendo para o diâmetro foi encontrado que o diâmetro do eixo deve ser de 19,92 mm.

3.1.6.2 Dimensionamento dos rolamentos da esteira transportadora

Dada a carga radial do eixo, conclui-se que cada mancal de rolamento deve suportar individualmente 567 N e ter diâmetro interno de 20 mm. Utilizando 5 como fator de segurança (S_{req}) no Catálogo Geral de Rolamentos (2015) da SKF e considerando a carga axial desprezível, cada rolamento deve ter carga dinâmica teórica $C = 2,83$ kN. Logo, o mancal de rolamento escolhido no catálogo da SKF foi o 6204 com $C = 13,50$ kN.

3.1.6.3 Cálculo da potência de acionamento da esteira

Primeiro é necessário definir a potência (P) necessária para mover o tarugo sobre a esteira, a potência é definida pela Equação 15:

$$P = \frac{W}{t} \quad (15)$$

Onde: t = tempo; O trabalho (W) é dada pela Equação 16:

$$W = \mu mgd \quad (16)$$

Em que: μ = coeficiente de atrito; m = massa do tarugo; g = aceleração gravitacional; d = distância percorrida pelo tarugo.

Logo, a potência se dá pela Equação 17:

$$P = \mu mgv \quad (17)$$

Onde: v = velocidade de avanço do tarugo na esteira.

Para calcular a potência P é necessário saber o valor do coeficiente de atrito μ , no caso especial da esteira, é o coeficiente do contato entre o tarugo e o rolete, foi adotado $\mu = 0.61$ para contato de alumínio com aço médio carbono da tabela de comparação de coeficientes de atrito Sulcromo (2024).

Assumindo 1156 kg para a massa do tarugo, e a velocidade de 0,58 m/s, obtém-se 4012 W de potência necessária para mover o tarugo. Considerando o comprimento da esteira de 7 m, e sabendo que a distância entre os roletes é de 500 mm, calcula-se 14 uniões por corrente ao longo da esteira sendo uma união para ligar a esteira ao motor. Com a eficiência de 98% por união, a potência necessária para acionar a esteira é 5323 W, ou 7,2 CV. Logo, o motor utilizado para acionamento da esteira será o motor 7,5 CV NOVA-M753220A00.

A eficiência de um mecanismo que utiliza correntes para transmissão de potência é normalmente estimado em ~98% para cada par da conexão de rodas dentadas. Mas a eficiência é muito dependente da quantidade de dentes em contato com a corrente e a tensão na corrente. Isso faz com que seja muito complexo a criação de um modelo matemático teórico para o cálculo de perda de potência por corrente. A melhor forma de verificar a perda de potência é medindo a potência de entrada e de saída do mecanismo (SEW-Eurodrive, 2020b).

3.1.6.4 Dimensionamento da corrente de transmissão dos roletes

Primeiro é necessário definir o fator de serviço (K_s), para uma esteira com variação de carga e acionada por motor elétrico, o fator K_s é 1,3. A corrente selecionada deve atender a Equação 18:

$$P_e = K_s \cdot P_r \quad (18)$$

Onde P_e é a potência efetiva e P_r é a potência requerida, para $P_r = 5323$ W, tem-se $P_e = 6920$ W (9,28 CV). Para determinar a norma da corrente, resta saber a velocidade rotacional da menor roda dentada (n_r) que pode ser deduzida pela Equação 19:

$$n_r = \frac{60 \cdot v_s}{d_r \pi} \quad (19)$$

Assumindo o diâmetro da roda dentada do rolete (d_r) igual a 140 mm, e sendo 0,58 m/s a velocidade de avanço do tarugo (v_s) calcula-se $n_r = 80$ rpm.

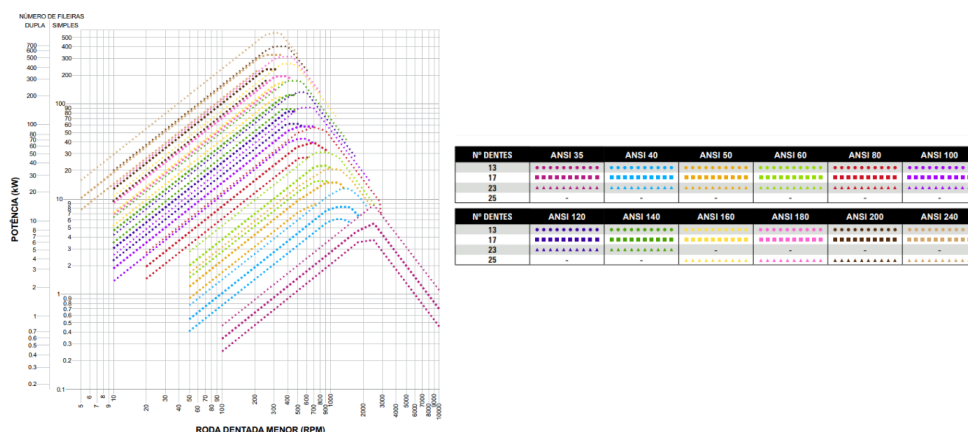
Para esses dados a norma selecionada foi a ANSI 80 com 23 dentes, no entanto para atender aos 9,28 CV foi necessário escolher uma corrente dupla com fator de correção (f_c) de 1,7. Calculando temos que a potência máxima (P_{max}), pela Equação 20:

$$P_{max} = f_c \cdot P \quad (20)$$

Onde: P = potência máxima admissível.

Para a ANSI 80 com 23 dentes a potência máxima admissível é de 7,45 CV, aplicando o fator de correção chegamos a 12,66 CV que é maior que 9,28 CV. Logo a corrente dupla ANSI 80 atende aos requisitos do projeto.

FIGURA 2. Gráfico de seleção rápida da Combat Correntes.



Fonte: Combat Correntes (2024).

3.2 Projeto elétrico

Para detectar a presença do tarugo na esteira será usado sensores capacitivos, a razão para não serem usados sensores indutivos é para facilitar a adaptação do projeto para tarugos de outros materiais não metálicos na eventual necessidade.

É necessário 2 sensores para detectar o alinhamento do tarugo com a esteira e 1 sensor para detectar que o tarugo deixou a esteira. No total 3 sensores capacitivos 18 mm genérico 12v/24v.

Um CLP será usado para receber os sinais dos sensores, do painel de controle e enviar os sinais para acionar os motores da esteira e do mecanismo de pick up. O CLP utilizado é o DVP14SS211T com 8 entradas e 6 saídas.

São usados 2 motores de 3 CV para o mecanismo do pick up e um 1 motor de 7,5 CV para a esteira, os motores utilizados são o Motor 3 CV NOVA-M732420A00 e o Motor 7,5 CV NOVA-M753220A00.

Os contatores foram selecionados no catálogo da WEG conforme a potência de cada motor. Foi selecionado o CWC09 para 3 CV e o CWC025 para 7,5 CV.

FIGURA 3. Contatores da linha CWC0.

Linha CW07		Linha CWC0				
						
Modelos	CW07	CWC07	CWC09	CWC012	CWC016	CWC025
Potência nominal de emprego em AC-3 ⁰						
220/230 V CA (kW / cv)	1,5 / 2	1,5 / 2	2,2 / 3	3 / 4	3,7 / 5	5,5 / 7,5
380 V CA (kW / cv)	3 / 4	3 / 4	3,7 / 5	5,5 / 7,5	7,5 / 10	11 / 15
400/415 V CA (kW / cv)	3 / 4	3 / 4	3,7 / 5	5,5 / 7,5	7,5 / 10	11 / 15
440 V CA (kW / cv)	-	3,7 / 5	4,5 / 6	5,5 / 7,5	7,5 / 10	11 / 15
500 V CA (kW / cv)	-	3,7 / 5	4,5 / 6	5,5 / 7,5	7,5 / 10	11 / 15
660/690 V CA (kW / cv)	-	3 / 4	3,7 / 5	5,5 / 7,5	7,5 / 10	11 / 15

Fonte: Catálogo geral contatores e relés de sobrecarga WEG (2024).

Tem-se 2 motores de 3 CV e 1 motor de 7,5 CV. Sendo assim os disjuntores escolhidos foram o MPW40-3-U010 e o MPW40-3-U020 no catálogo da WEG.

Para determinar os relés térmicos dos motores, foi feito um cruzamento de dados primeiro no catálogo de Motores Blindados IP56 Trifásico da NOVA (2021) para obter a corrente nominal de 7,53 A e 18,6 A para os motores de 3 CV e 7,5 CV respectivamente.

Com esses dados foi possível selecionar a faixa de corrente no catálogo RW- Relés de Sobrecarga Térmicos (2024) da WEG. Os relés selecionados foram o RW17-1D3-U010 e RW17-2D3-U023.

3.3 Programação ladder

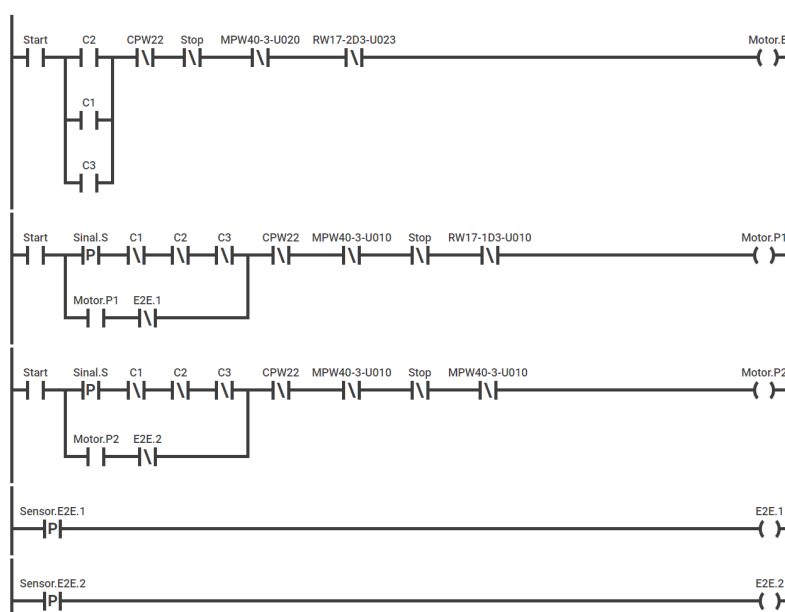
O motor da esteira Motor.E é acionado se algum dos sensores capacitivos C1 C2 ou C3 estiver detectando um tarugo sobre a esteira.

Quando um tarugo for solicitado pela serra no processo, o Sinal.S é gerado como um pulso curto que ligará os motores do mecanismo de pick up Motor.P1 e Motor.P2. Os motores só ligam caso não haja tarugos sobre a esteira e permanecerão ligados até que seja completa uma revolução.

O clp detecta uma revolução completa por meio do sensor E2E de proximidade que pode ser configurado para gerar um único pulso.

O botão Stop, disjuntor motor MPW40, relé térmico RW17 e relé emergencial CPW22 estão em série com os motores da esteira e pick up, qualquer um que seja acionado desligará o motor do circuito.

FIGURA 4. Programa em ladder da alimentadora.



Fonte: Autoria própria (2024).

4. RESULTADO

Os métodos aplicados permitiram dimensionar os componentes mecânicos e elétricos que constituem a máquina alimentadora, o resumo dos componentes com a quantidade e valores está no Quadro 3 para o projeto mecânico e no Quadro 4 para o projeto elétrico. As cotações dos componentes foram levantadas no período de maio a junho de 2024.

QUADRO 3. Componentes do projeto mecânico

Descrição	Quantidade	Valor Unitário R\$
Tubo galvanizado 100 x 100 x 6 mm 6 metros	13	1860,00
Placa de aço 600 x 340 x 20 mm fresada	2	540,14
Barra de aço 400 x 200 x 50 mm	2	1442,43
Eixo Trefilado Redondo Ø40 x 500 mm Aço 1045	5	162,00
Chaveta 12 x 8 x 85 mm JAN	4	24,56
Anel elastico para eixo 40 mm com retenção	32	3,00
Mancal de rolamento FYJ 40 TF	8	342,08
Rolamento de esfera 6204	28	21,00
Eixo Trefilado Redondo Ø20 mm x 500 mm Aço 1045	14	49,00
Motor hidráulico H-MOV 500 Hybel	2	4550,00
Bomba hidráulica S03 25 Hybel	2	1000,00
Eixo Trefilado Aço 1045 Ø80 mm X 500 mm	1	804,00
Chapa de aluminio 60 cm x 70 cm x 1,5 cm	2	210,00
Cantoneira mão francesa reforçada preta 40 cm x 20 cm	4	31,44
Engrenagem dupla Asa 80 23 dentes	15	200,00
Corrente de Transmissão Dupla Asa 80 5 metros	8	1125,74

Fonte: Autoria própria (2024).

QUADRO 4. Componentes do projeto elétrico

Descrição	Quantidade	Valor Unitário R\$
CLP DVP14SS211T	1	639,00
Motor 3 CV NOVA-M732420A00	2	1329,90
Motor 7,5 CV NOVA-M753220A00	1	2463,00

Sensor capacitivo 18 mm 12v/24v	3	64,80
Contactor CWC09	2	141,45
Contactor CWC025	1	156,00
MPW40-3-U010	2	309,00
MPW40-3-U020	1	389,00
RW17-1D3-U010	2	107,46
RW17-2D3-U023	1	137,25
Chave seccionadora rotativa 80 A Weg	1	407,35
Botão emergência TRP2-ES545	1	17,95
Botão de Impulso Plástico 22 mm	1	18,72
Botão duplo Liga/Desliga Margirius	1	36,48
CPW22 Weg	1	490,19
Sinaleira vermelha e verde 22 mm 220V	2	34,90
Canaleta 50 mm x 80 mm x 1 m	5	23,65
Terminal bloco 80 A 12 bornes	2	136,82
Terminal bloco 15 A	2	90,31
Trilho de aço para contatores 35 mm x 1 m	2	17,64
Cabo 6 mm vermelho 50 metros	1	269,90
Cabo 2,5 mm cinza 100 metros	1	201,00
Cabo 6 mm verde 50 metros	1	161,98

Fonte: Autoria própria (2024).

4.1 Análise de custos

A análise de custos do projeto considera o custo total da mão de obra, que inclui salários para dois técnicos em mecatrônica, um técnico em mecânica, e um engenheiro mecânico, totalizando R\$ 28.000,00. Além disso, os custos dos materiais necessários para o projeto foram incluídos, totalizando R\$ 67.651,13. Somando os custos de mão de obra e materiais, o custo total do projeto é de R\$ 95.651,13.

QUADRO 5. Custos do projeto

Componente	Total (R\$)
Projeto mecânico	57.615,70

Projeto elétrico	10.035,43
Mão de obra	28.000,00

Fonte: Autoria própria (2024).

QUADRO 6. Custos de mão de obra

Função	Horas trabalhadas	Custo por hora (R\$)	Custo total (R\$)
Técnico em mecatrônica	320	40,00	12.800,00
Técnico em mecânica	160	35,00	5.600,00
Engenheiro mecânico	160	60,00	9.600,00

Fonte: Autoria própria (2024).

4.2 Resultados esperados

A implementação da máquina alimentadora automática de tarugos de alumínio deve resultar em diversos benefícios para a indústria de extrusão de perfis de alumínio, incluindo:

- Aumento da eficiência e produtividade, devido à automação do processo de alimentação para a linha.
- Redução de intervenções manuais, minimizando erros e riscos de acidentes.
- Melhoria da competitividade das empresas, graças à otimização dos processos produtivos e redução de custos operacionais.

5. CONCLUSÕES

A implementação do projeto de uma máquina alimentadora automática para tarugos de alumínio mostrou-se tecnicamente viável e economicamente justificável. Ao longo deste estudo, foram delineados todos os aspectos críticos do projeto, desde o dimensionamento dos componentes mecânicos e estruturais, passando pela seleção de motores e bombas hidráulicas, até o planejamento elétrico e de controle da máquina.

Em resumo, este projeto não apenas atende aos requisitos técnicos e operacionais estabelecidos, como também demonstra a viabilidade de integrar soluções automatizadas em processos industriais, reforçando a importância da engenharia aplicada e do planejamento detalhado na obtenção de resultados eficientes e sustentáveis. A perspectiva é que, com a implantação desta máquina alimentadora, a indústria beneficiada alcance um novo patamar de desempenho e competitividade.

REFERÊNCIAS

Almeida, F., & Nunes, T. (2023). Optimization of square steel tube designs using finite element analysis. *International Journal of Mechanical Sciences*, 64(2), 345-356.

AMERICAN SOCIETY OF MECHANICAL ENGINEERS (ASME). ASME B29.100-2002 - Precision Power Transmission Roller Chains, Attachments, and Sprockets. Nova York: ASME, 2002.

ASM International. "Corrosion of Aluminum and Aluminum Alloys." ASM Handbook, Volume 2B: Properties and Selection of Aluminum Alloys. ASM Digital Library, 2020. Disponível em: ASM International.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). Tubos de aço soldados sem costura e com costura longitudinal - Requisitos. NBR 6018:2014. Rio de Janeiro: ABNT, 2014. 16 p.

Combat Correntes. (2022). Catálogo Técnico 2022. Disponível em: <https://www.scribd.com/document/603083341/Catalogo-Tecnico-2022-Combat-Correntes-1>. Acesso em: 21 de maio de 2024.

DEUTSCHES INSTITUT FÜR NORMUNG. DIN 6885 - Feather keys. Berlin, DIN, 1968.

GROOVER, Mikell P. Automação, Sistemas de Produção e Manufatura Integrada por Computador. 4ª ed. São Paulo: Prentice Hall, 2010.

HATCH, John E. Aluminum: Properties and Physical Metallurgy. Metals Park, OH: American Society for Metals, 1984.

Hybel. (2017). Bombas e Motores Óleo Hidráulico. Catálogo Técnico. Disponível em: <https://www.hybel.com.br/fotos/13062018090622000000446802.pdf>. Acesso em: 25 de maio de 2024.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION (ISO). ISO 281:2007 - Rolling bearings -- Dynamic load ratings and rating life. Geneva: ISO, 2007.

Lima, A., Souza, R., & Ferreira, M. (2021). Influence of wall thickness on the moment of inertia of square steel tubes. *Journal of Structural Engineering*, 47(3), 210-220.

NOVA Motores. (2021). Motores Blindados IP56 Trifásico. Catálogo Técnico. Disponível em: https://www.novamotores.com.br/_files/ugd/ffccab_8076df83896e4e4e87668970bd314e2a.pdf. Acesso em: 21 de maio de 2024.

ROSER, Christoph. *Faster, Better, Cheaper in the History of Manufacturing: From the Stone Age to Lean Manufacturing and Beyond*. Boca Raton: Productivity Press, 2016.

SEW-Eurodrive. Project planning for controlled and non-controlled drives - sample calculations. 2020b.

SKF. Catálogo Geral de Rolamentos. PUB BU/P1 10000/2 PT.BR. [S.l.]: SKF, 2015.

Sulcromo. Coeficientes de atrito - Tabela de comparação. Disponível em: <https://imgv2-2-f.scribdassets.com/img/document/144496149/original/78ca3248bc/1710946656?v=1>. Acesso em: 21 maio 2024

WEG. (2024). Minicontatores. Catálogo Técnico. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/hed/hd6/WEG-minicontatores-50009832-pt.pdf>. Acesso em: 21 de maio de 2024.

WEG. (2024). RW - Relés de Sobrecarga Térmicos. Catálogo Técnico. Disponível em: <https://static.weg.net/medias/downloadcenter/h3f/h86/WEG-reles-de-sobrecarga-termico-linha-rw-50042397-catalogo-portugues-br-dc.pdf>. Acesso em: 21 de maio de 2024.

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao Professor Paulo Fernando Figueiredo Maciel e a Professora Michaela Socorro, do IFAM Campus Manaus Centro, pela valiosa orientação e apoio em diversas áreas. Sua vasta experiência acadêmica e profissional foi essencial para o desenvolvimento deste projeto.