**universidade do vale do Itajaí**

**Escola politécnica**

**projeto de produto**

**curso de ENGENHARIA MECÂNICA**

CRISTIANO AGLICERIO PEREIRA

ELVIS LUIS CORREA RONCELLI

FABIO IVO PEREIRA DE OLIVEIRA JUNIOR

GUSTAVO BUENO

JORGE FILIPE MORAES PRASS

FORNO COMPRESSOR para reciclagem de plástico

sistema de controle de temperatura e eficiência

Itajaí

2024

**universidade do vale do Itajaí**

**Escola politécnica**

**projeto de produto**

**curso de ENGENHARIA MECÂNICA**

FORNO COMPRESSOR para reciclagem de plástico

sistema de controle de temperatura e eficiência

Relatório apresentado como requisito parcial para a obtenção da M3 da disciplina de Projeto de Produto do curso de Engenharia Mecânica pela Universidade do Vale do Itajaí da Escola

Politécnica.

Prof. Fabricio Paris

Itajaí

2024

Resumo

PEREIRA, Cristiano Aglicerio; CORREA RONCELLI, Elvis Luis; PEREIRA DE OLIVEIRA JUNIOR, Fabio Ivo; BUENO, Gustavo; MORAES PRASS, Jorge Filipe. FORNO COMPRESSOR: PROJETO DE PRODUTO PARA INDUSTRIA DE RECICLAGEM DE PLÁSTICO. Itajaí, 2024. 57f. Trabalho Técnico-científico de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Escola Politécnica, Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2024.

A crescente preocupação com a sustentabilidade e a gestão eficiente de resíduos plásticos impulsionou o desenvolvimento de novas tecnologias para reciclagem. Este trabalho apresenta o projeto de um forno compressor, destinado à indústria de reciclagem de plástico, utilizando a Metodologia de Desenvolvimento Integrado de Produto (PRODIP). A PRODIP é uma abordagem sistemática que integra diferentes etapas do desenvolvimento de produtos, desde a concepção inicial até a implementação final, harmonizando demandas técnicas, ambientais, econômicas e sociais. O projeto envolve a avaliação das funções globais e parciais do produto, com a construção de uma matriz morfológica para explorar diversas possibilidades de design. A partir desta matriz, foram determinadas cinco concepções principais, considerando combinações de mecanismos que atendem às especificações do projeto. O estudo inclui a análise de materiais disponíveis no mercado e a divisão do projeto em subgrupos para facilitar a seleção e dimensionamento dos componentes. O objetivo é criar um equipamento eficiente e seguro, que contribua para a sustentabilidade e inovação tecnológica no manejo de resíduos plásticos.

Palavras-chave: Reciclagem de Plástico, Forno Compressor, Desenvolvimento de Produto, Sustentabilidade, PRODIP.

Abstract

The increasing concern with sustainability and efficient management of plastic waste has driven the development of new recycling technologies. This work presents the design of a plastic compression oven, intended for the recycling industry, using the Integrated Product Development Methodology (PRODIP). PRODIP is a systematic approach that integrates different stages of product development, from initial conception to final implementation, harmonizing technical, environmental, economic, and social demands. The project involves evaluating the global and partial functions of the product, constructing a morphological matrix to explore various design possibilities. From this matrix, five main concepts were determined, considering combinations of mechanisms that meet the project's specifications. The study includes analyzing available materials in the market and dividing the project into subgroups to facilitate the selection and sizing of components. The goal is to create efficient and safe equipment that contributes to sustainability and technological innovation in plastic waste management.

Keywords: Plastic Recycling, Compression Oven, Product Development, Sustainability, PRODIP.

Lista de ILUSTRAÇÕes

[Figura 1 - Concepção da função global de fundir o plástico. 24](#_Toc170162068)

[Figura 2 - Concepção da função global de comprimir o plástico. 24](#_Toc170162069)

[Figura 3 - Concepção da função parcial de oferecer segurança ao operador. 25](#_Toc170162071)

[Figura 4 - Concepção da função parcial de acionar o sistema. 25](#_Toc170162073)

[Figura 5 - Exemplo de uma placa de plástico reciclado. 30](#_Toc170162075)

[Figura 6 - Tensão de von mises. 33](#_Toc170162087)

[Figura 7 - Coeficiente de segurança. 33](#_Toc170162090)

[Figura 8 - Lã de vidro aluminizada 36](#_Toc170162093)

[Figura 9 - Resistência elétrica 4000w 38](#_Toc170162094)

[Figura 10 - Termostato. 39](#_Toc170162095)

[Figura 11 - Cálculo físico do software CAD (forno). 40](#_Toc170162096)

[Figura 12 - Cálculo físico do software CAD (caixa modular). 41](#_Toc170162098)

[Figura 13 - Tensão de Von Mises (Base estrutural). 42](#_Toc170162105)

[Figura 14 - Coeficiente de segurança (Base estrutural). 42](#_Toc170162108)

[Figura 15 - Curso mínimo necessário para o atuador. 44](#_Toc170162113)

[Figura 16 - Esquema pneumático (repouso) 46](#_Toc170162116)

[Figura 17 - Esquema pneumático (Avanço) 47](#_Toc170162119)

[Figura 18 - Painel de controle penumático. 47](#_Toc170162122)

[Figura 19 - Esquema de ativação. 49](#_Toc170162125)

[Figura 20 - Arduino UNO e Placa de Ensaio 52](#_Toc170162128)

[Figura 21 - Estado “Desligado” 52](#_Toc170162129)

[Figura 22 - Estado “Ligado” 53](#_Toc170162131)

[Figura 23 - Status “Iniciando” 54](#_Toc170162132)

[Figura 24 - Iniciando contagem 55](#_Toc170162134)

[Figura 25 - Finalização 55](#_Toc170162135)

Lista de EQUAÇÕES

[Equação 1 – CS da operação de trabalho do cilindro 31](#_Toc170162180)

[Equação 2 – Consumo de Ar Comprimido 32](#_Toc170162181)

[Equação 3 - cálculo de condução térmica. 34](#_Toc170162182)

[Equação 4 - cálculo de convecção térmica. 35](#_Toc170162183)

[Equação 5 – Igualando as equações 35](#_Toc170162184)

[Equação 6 - Cálculo simplificado do coeficiente de convecção. 36](#_Toc170162185)

[Equação 7 – Substituindo valores 36](#_Toc170162186)

[Equação 8 - Para resistência térmica utilizando a condução: 37](#_Toc170162187)

[Equação 9 - Para a resistência térmica utilizando a convecção: 37](#_Toc170162188)

[Equação 10 - calor do sistema utilizando resistência térmica. 37](#_Toc170162189)

[Equação 11 – Igualando a equação 5 38](#_Toc170162190)

[Equação 12 – Peso total do Plástico 41](#_Toc170162191)

[Equação 13 – Cálculo Coeficiente de segurança do atuador 43](#_Toc170162192)

[Equação 14 – Consumo de ar em pcm 44](#_Toc170162193)

Lista de Abreviaturas e Siglas

A36 Aço ASTM A36

ABNT Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM American Society for Testing and Materials

CAD Computer-Aided Design

CE Concepção

CNC Computer Numerical Control

ISO International Organization for Standardization

KW/h Quilo Watts por hora

MPa Mega Pascal

PRODIP Metodologia de Desenvolvimento Integrado de Produto

S1, S2, S3, S4 Semanas 1, 2, 3, 4

UNIVALI Universidade do Vale do Itajaí

**SUMÁRIO**

[1. Introdução 9](#_Toc170165971)

[1.1 Problematização 10](#_Toc170165972)

[1.2 Objetivos 11](#_Toc170165973)

[1.2.1 Objetivo Geral 11](#_Toc170165974)

[1.2.2 Objetivos Específicos 11](#_Toc170165975)

[1.3 Justificativa 12](#_Toc170165976)

[2. Metodologia 14](#_Toc170165977)

[2.1 Pesquisa Informacional 15](#_Toc170165978)

[2.1.1 Necessidades de Usuário 15](#_Toc170165979)

[2.1.2 Requisitos de Usuário 15](#_Toc170165980)

[2.1.3 Requisitos de Projeto 16](#_Toc170165981)

[2.1.4 Especificações de Projeto 17](#_Toc170165982)

[2.1.5 Normas Técnicas 19](#_Toc170165983)

[2.1.6 Interfaces Tangíveis 21](#_Toc170165984)

[2.1.6 Patentes 22](#_Toc170165985)

[3. PROJETO CONCEITUAL 23](#_Toc170165986)

[3.1 funções globais e parciais. 23](#_Toc170165987)

[3.2 Matriz morfológica 26](#_Toc170165988)

[6. Protótipo tangível 51](#_Toc170165989)

[7. ConsIderações FINAiS 56](#_Toc170165990)

[8. REFERências 57](#_Toc170165991)

1. Introdução

No cenário atual, marcado por rápidas transformações tecnológicas e crescente conscientização ambiental, a problemática dos resíduos plásticos ganha contornos cada vez mais complexos e urgentes. A produção e o consumo massivos de plástico têm levado a consequências ambientais severas, afetando ecossistemas, biodiversidade e saúde humana. Essa situação é exacerbada pela ineficiência dos sistemas de reciclagem e gestão de resíduos existentes, que lutam para lidar com a magnitude do problema. A acumulação de plástico nos oceanos, solos e até na cadeia alimentar revela a necessidade premente de repensar as práticas de produção, consumo e descarte desse material.

O plástico, devido à sua durabilidade e baixo custo, tornou-se omnipresente em quase todos os aspectos da vida moderna, desde embalagens até componentes de alta tecnologia. Embora essa ubiquidade tenha trazido conveniências inegáveis, também gerou um dos desafios ambientais mais formidáveis da atualidade: como gerenciar e mitigar o impacto ambiental dos resíduos plásticos? Este desafio é amplificado pela diversidade de tipos de plástico, que variam em composição, cor, densidade e capacidade de reciclagem, tornando a gestão de resíduos um processo complexo e custoso.

Além disso, a questão dos resíduos plásticos não é apenas uma crise ambiental, mas também um problema social e econômico. A gestão ineficaz dos resíduos plásticos afeta comunidades vulneráveis ao redor do mundo, muitas vezes aquelas menos responsáveis pela produção de resíduos. A poluição plástica também tem implicações econômicas significativas, afetando o turismo, a pesca e outros setores econômicos dependentes de ecossistemas marinhos e terrestres saudáveis.

Neste contexto, a busca por soluções inovadoras e sustentáveis se torna imperativa. A tecnologia, que muitas vezes contribuiu para o aumento da produção de plástico, agora tem o potencial de oferecer soluções para mitigar seus impactos. A inovação pode vir de diversas frentes, desde o desenvolvimento de materiais biodegradáveis e alternativas ao plástico até a melhoria dos processos de reciclagem e sistemas de gestão de resíduos.

Diante da complexidade e urgência do problema dos resíduos plásticos, este trabalho visa explorar o papel da inovação tecnológica na transformação dos sistemas de gestão de resíduos. Através de uma análise detalhada dos desafios atuais e dos potenciais de soluções tecnológicas, buscamos compreender como a inovação pode contribuir para uma gestão de resíduos mais eficiente e sustentável. Neste contexto, propomos a investigação de uma solução específica: uma máquina de compressão de plástico, que promete não apenas reduzir o volume de resíduos plásticos, mas também transformá-los em produtos úteis, contribuindo assim para a economia circular e a sustentabilidade ambiental. Este dispositivo, ao final do estudo, será detalhado em termos de sua funcionalidade, viabilidade e potencial impacto na revolução da gestão de resíduos plásticos.

* 1. Problematização

A gestão de resíduos plásticos representa um dos desafios ambientais mais significativos do século XXI. A produção e descarte massivos de plásticos, combinados com uma reciclagem ineficaz, resultam em danos severos aos ecossistemas terrestres e marinhos, afetando a biodiversidade e a saúde humana. A complexidade do problema reside na heterogeneidade dos materiais plásticos, que dificulta sua reciclagem e reutilização efetivas. Além disso, os sistemas de gestão de resíduos existentes muitas vezes falham em incorporar processos que poderiam transformar esses resíduos em recursos valiosos, perpetuando o ciclo de produção e descarte insustentável.

Neste contexto, a máquina de compressão de plástico, desenvolvida pela iniciativa *Precious Plastic*, surge como uma inovação promissora, com o potencial de mitigar parte desses desafios. A problematização central deste trabalho gira em torno da capacidade dessa tecnologia de transformar resíduos plásticos em produtos úteis, contribuindo para a economia circular e reduzindo o impacto ambiental associado ao descarte de plásticos. Contudo, a implementação e eficácia dessa solução tecnológica enfrentam diversos obstáculos, desde questões técnicas relacionadas ao design e operação da máquina até desafios econômicos e sociais que influenciam sua adoção em larga escala.

A máquina de compressão de plástico propõe uma solução para compactar e moldar resíduos plásticos em novos produtos. No entanto, a eficácia dessa transformação depende de múltiplos fatores, como a qualidade e tipo dos plásticos inseridos, as configurações de temperatura e pressão, e o design dos moldes utilizados. A variabilidade desses fatores introduz complexidade no processo, potencialmente limitando a aplicabilidade da máquina a certos tipos de plástico ou formas de produto.

Além dos desafios técnicos, a adoção da máquina de compressão enfrenta barreiras econômicas e sociais. O custo inicial de aquisição e manutenção pode ser proibitivo para pequenas organizações ou comunidades com recursos limitados. Adicionalmente, a falta de conscientização e educação sobre gestão sustentável de resíduos pode limitar a participação comunitária e a coleta de materiais adequados para reciclagem.

Apesar desses desafios, o potencial de impacto da máquina de compressão de plástico é significativo. Ao transformar resíduos plásticos em produtos úteis, essa tecnologia não apenas contribui para a redução do volume de plástico descartado no ambiente, mas também promove a valorização de resíduos como recursos, alinhando-se aos princípios da economia circular. A investigação detalhada dessa solução tecnológica, considerando seus desafios e potenciais, é essencial para compreender sua viabilidade e eficácia como ferramenta na revolução da gestão de resíduos plásticos.

A problemática central deste trabalho, portanto, reside na questão de como a máquina de compressão de plástico pode superar os desafios técnicos, econômicos e sociais para se estabelecer como uma solução eficaz e sustentável na gestão de resíduos plásticos. A análise detalhada dessa tecnologia e seu contexto de aplicação é crucial para avaliar sua capacidade de contribuir para a mitigação do problema global dos resíduos plásticos, oferecendo um caminho inovador rumo à sustentabilidade ambiental.

* 1. Objetivos
     1. Objetivo Geral

Desenvolver uma solução eficaz para a reciclagem de plástico, visando a sustentabilidade ambiental.

* + 1. Objetivos Específicos

a) Levantar requisitos de usuário e projeto;

b) Desenvolver o projeto conceitual;

c) Desenvolver o protótipo tangível;

d) Realizar o projeto preliminar;

e) Validar por análise de simulação virtual;

f) Detalhar o projeto.

* 1. Justificativa

Este trabalho justifica-se pela crescente necessidade de enfrentar a crise ambiental gerada pelo acúmulo de resíduos plásticos, que representa um dos maiores desafios contemporâneos para a sustentabilidade global. A produção e descarte massivos de plásticos, aliados a sistemas de reciclagem ineficientes, têm conduzido a consequências devastadoras para os ecossistemas terrestres e marinhos, afetando diretamente a biodiversidade e a saúde humana. Diante deste cenário, a inovação tecnológica surge como uma ferramenta vital para transformar a gestão de resíduos plásticos, tornando-a mais eficiente e sustentável.

A relevância deste estudo também se fundamenta na necessidade de superar as limitações técnicas, econômicas e sociais que têm dificultado a implementação de soluções eficazes no manejo de resíduos plásticos. A máquina de compressão de plástico, objeto central deste trabalho, exemplifica uma inovação promissora capaz de converter resíduos plásticos em produtos úteis, contribuindo assim para a economia circular e reduzindo o impacto ambiental do descarte de plásticos. No entanto, a eficácia dessa tecnologia depende de uma compreensão aprofundada de seus desafios operacionais e de sua capacidade de adaptação às variadas realidades socioeconômicas.

Além disso, a justificativa deste trabalho se ancora na urgência de promover a conscientização e a educação sobre práticas sustentáveis de gestão de resíduos, visando incentivar a participação comunitária e a adesão a iniciativas de reciclagem. Ao detalhar a funcionalidade, viabilidade e potencial impacto da máquina de compressão de plástico, este estudo contribui não apenas para o avanço científico e tecnológico na área de gestão de resíduos, mas também para a mobilização social em torno da importância da reciclagem e da sustentabilidade ambiental.

Portanto, este trabalho é de suma importância para o desenvolvimento de estratégias inovadoras que possam efetivamente mitigar o problema dos resíduos plásticos. Ao explorar o potencial da máquina de compressão de plástico, busca-se oferecer uma solução concreta que alie eficiência tecnológica a benefícios ambientais e sociais, pavimentando o caminho para uma gestão de resíduos mais sustentável e responsável. Através deste estudo, aspira-se contribuir para um futuro no qual o descarte de plásticos deixe de ser uma ameaça ao meio ambiente, transformando-se em uma oportunidade para a inovação, a sustentabilidade e o bem-estar coletivo.

1. Metodologia

A metodologia adotada neste trabalho para o desenvolvimento do projeto da máquina de compressão de plástico é a Metodologia de Desenvolvimento Integrado de Produto (PRODIP). Esta abordagem sistemática é reconhecida por sua eficácia na integração de diferentes etapas do processo de desenvolvimento de produtos, desde a concepção inicial até a implementação final. A PRODIP destaca-se por sua capacidade de harmonizar as demandas técnicas, ambientais, econômicas e sociais, essenciais para o sucesso de projetos voltados para a sustentabilidade e inovação tecnológica no manejo de resíduos plásticos.

A escolha da PRODIP como metodologia para este projeto baseia-se em sua estrutura flexível e iterativa, que permite ajustes e melhorias contínuas ao longo do desenvolvimento do produto. Esta metodologia é dividida em fases distintas, mas interconectadas, que incluem a definição do problema, a pesquisa e análise de requisitos, a geração de conceitos, o desenvolvimento de protótipos, a avaliação e, por fim, a implementação. Cada uma dessas fases será cuidadosamente executada com o objetivo de otimizar a funcionalidade, eficiência e sustentabilidade da máquina de compressão de plástico.

Inicialmente, será realizada uma análise aprofundada do problema dos resíduos plásticos, identificando as necessidades específicas que a máquina de compressão deve atender. Esta etapa é crucial para assegurar que o produto final esteja alinhado com os objetivos de sustentabilidade ambiental e viabilidade econômica. Em seguida, procederemos com a pesquisa e especificação dos requisitos técnicos e materiais necessários, considerando as melhores práticas de design e engenharia sustentável.

A fase de geração de conceitos envolverá a elaboração de diferentes propostas de design, que serão avaliadas com base em critérios pré-estabelecidos, como eficiência na compressão de plásticos, facilidade de uso, custo-benefício e impacto ambiental. Após a seleção do conceito mais promissor, iniciaremos o desenvolvimento de protótipos, que serão submetidos a testes rigorosos para validar sua funcionalidade e eficácia.

A avaliação dos protótipos permitirá identificar potenciais melhorias e ajustes necessários, garantindo que a máquina de compressão atenda aos requisitos de desempenho e sustentabilidade. Por fim, a fase de implementação envolverá a produção em escala e a disseminação da tecnologia, acompanhadas de estratégias de capacitação e engajamento comunitário para promover a adoção da máquina de compressão de plástico.

Adotando a PRODIP, este projeto se compromete não apenas com o desenvolvimento de uma solução tecnológica inovadora, mas também com a promoção de práticas de gestão de resíduos mais sustentáveis e eficientes. Através desta metodologia integrada, aspiramos contribuir significativamente para a mitigação do problema global dos resíduos plásticos, alinhando inovação tecnológica com responsabilidade ambiental e social.

* 1. Pesquisa Informacional

2.1.1 Necessidades de Usuário

De acordo com pesquisas no mercado de reciclagem de plástico, algumas empresas e usuários identificaram alguns aspectos que precisam ser levados em consideração na hora de adquirir um novo equipamento, sendo eles: o equipamento não pode ocupar muito espaço, sendo compacto. Precisa ter uma boa mantenabilidade, sendo de fácil manutenção. Precisa ser fácil de utilizar, ou seja, com baixa complexidade. Precisa ser eficiente energeticamente. Precisa ser seguro ao operador e ser durável

2.1.2 Requisitos de Usuário

De acordo com o Quadro 1 - , feito a partir das necessidades de usuário, é possível visualizar quais são os requisitos necessários para o usuário adequar o produto em sua linha produtiva.

1. Versionamentosda Ferramenta

|  |  |
| --- | --- |
| **Necessidades Dos usuários** | **Requisitos dos usuários** |
| Não ocupar muito espaço | Tamanho do equipamento |
| de fácil manutenção | Mantenabilidade |
| de fácil utilização | Complexidade de uso |
| Eficiente energeticamente | Consumo |
| Seguro ao operador | Segurança |
| Ser durável | Durabilidade |

Fonte: Autores (2024)

2.1.3 Requisitos de Projeto

Uma das etapas mais importantes do desenvolvimento de um produto é a etapa que irá definir os requisitos de projeto, pois é nela que o usuário irá se conectar com a engenharia, isto é, onde os requisitos listados pelos usuários serão convertidos em pré-requisitos para o desenvolvimento do produto, instaurando com consequência as descrições e grandezas a serem aplicadas na etapa da prototipagem.No Quadro 2 - é feito a conversão visual dos requisitos de usuários em requisitos de projeto.

1. Versionamentosda Ferramenta

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Requisitos dos usuários** | **Requisitos de projeto** | **Grandezas** |
| Tamanho do equipamento | Menor área ocupada | Metros quadrados (m²) |
| Menor altura total do equipamento (fundação e forno) |
| Mantenabilidade | Tempo de manutenção reduzido | Horas (h) |
| Número de componentes reduzidos | Peças unitárias totais (N) |
| Boa disponibilidade de componentes no mercado | *índice (X)* |
| Complexidade de uso | Pequena quantidade de etapas e comandos para utilização | Quantidade (N) |
| Consumo | Consumo eficiente de energia do sistema | Quilo Watts por hora (KW/h) |
| Segurança | Presença de dispositivos de segurança | Quantidade (N) |
| Durabilidade | Resistência à fadiga do sistema de compressão | Número de ciclos (N) |
| Resistência mecânica da fundação. | Mega Pascal (MPa) |
| Vida útil considerável | Horas (h) |

Fonte: Autores (2024)

A fim de otimizar o trabalho e a construção do projeto, o Quadro 3 - identifica e mensura o nível de importância de cada requisito de projeto. Sendo os níveis de 1 a 5, o quadro demonstra quais requisitos a serem levados com maior importância quanto maior for o somatório.

1. Casa da Qualidade

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Requisitos do Projeto | Menor área ocupada | Menor altura total do equipamento | Tempo de manutenção reduzido | Número de componentes reduzidos | Boa disponibilidade de componentes no mercado | Pequena quantidade de etapas e comandos para utilização | Consumo eficiente de energia do sistema | Presença de dispositivos de segurança | Resistência à fadiga do sistema de compressão | Resistência mecânica da fundação | Vida útil considerável |
| Requisito do usuário |
| tamanho do equipamento | 5 | 5 | 2 | 3 | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 3 | 1 |
| mantenabilidade | 2 | 2 | 5 | 2 | 5 | 1 | 1 | 2 | 4 | 2 | 4 |
| complexidade de uso | 1 | 2 | 1 | 4 | 1 | 5 | 1 | 2 | 1 | 1 | 1 |
| Consumo | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 2 | 5 | 1 | 1 | 1 | 3 |
| segurança | 2 | 2 | 1 | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 3 | 2 | 1 |
| Durabilidade | 1 | 1 | 2 | 2 | 1 | 1 | 2 | 4 | 5 | 5 | 5 |
| Soma total | 12 | 13 | 12 | 13 | 10 | 11 | 12 | 16 | 15 | 14 | 15 |

Fonte: Autores (2024)

2.1.4 Especificações de Projeto

A partir da Casa da qualidade, 6 (seis) itens podem ser pontuados e analisados separadamente. A fim de destacar os requisitos mais relevantes para a construção do projeto, o quadro 4 traz as especificações do projeto, isto é, classificando dos números 1 a 6 (onde 1 é o item de maior importância), os requisitos podem ser descritos, verificados e tendo seus possíveis riscos evidenciados. Sendo estas classificações recomendadas de acordo com BACK (2008).

1. Especificações de Projeto

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| Item | Classificação | Descrição | Verificação | Possíveis riscos |
| 1 | Presença de dispositivos de segurança | Como o equipamento possui trabalho a quente, possuir segurança quanto ao superaquecimento ou temperaturas elevadas para o operador | Possuir um termostato e um sistema de parada emergencial | Danos nos componentes ou acidentes com o operador |
| 2 | Vida útil considerável | Equipamento apto a trabalhar por várias horas sem danos permanentes ao funcionamento | Vida útil maior que 2 anos | Mau funcionamento ou parada do equipamento |
| 3 | Resistência à fadiga do sistema de compressão | Atuadores resistentes a uma quantidade elevada de ciclos | Devido à baixa quantidade de ciclos por uso do sistema: os atuadores devem tender a vida infinita ao longo da vida útil do equipamento. | Danos no sistema de compressão e parada do equipamento. |
| 4 | Resistência mecânica da fundação | Fundação resistente a carga dos equipamentos | Possuir coeficiente de segurança maior ou igual a 3 | Quebra da sustentação do sistema |
| 5 | Número de componentes reduzidos | Responsável por diminuir a complexidade de instalação e manutenção | Estrutura metálica, forno, sistema de compressão, IHM's | Grau de complexidade elevado e alto custo |
| 6 | Menor altura total do equipamento | Influência diretamente na acessibilidade do equipamento | Altura total ≤ 1,6m Altura da fundação = 0,9m | Não ter uma altura ideal dificultaria o trabalho do operador |

Fonte: Autores (2024)

De acordo com o Quadro 4 - , é possível ver que em primeiro lugar ficou a Presença de dispositivos de segurança, que por sua vez tem mais importância devido as normas NR14 E NR15, que estabelecem regulamentação para a segurança na instalação e operação de fornos em indústrias.

A vida útil do equipamento vem logo atrás, pois possuir uma longevidade considerável também impacta nos custos na hora da adequação do equipamento ao ambiente operacional; E não menos importante, o equipamento estará apto a muito tempo de trabalho sem a necessidade de troca ou atualização.

Em terceiro lugar vem a resistência a fadiga dos atuadores, pois o sistema de compressão é o grande diferencial desse produto, pois além de um forno ele precisa ter a capacidade de comprimir o plástico, portanto é de suma importância o funcionamento do sistema de compressão sem que haja falhas significativas no mesmo.

A resistência mecânica da fundação vem em quarto lugar, esta que tem a função de garantir a sustentação do forno (carregado), sistema de compressão e dispositivos eletrônicos. Acredita-se que essa posição se deva ao fato de isso não afetar diretamente no processo.

Em penúltimo tem-se o Número de componentes reduzidos, com a finalidade de diminuir a complexidade do sistema. Seu grau de importância deve-se também ao fato de não influenciar diretamente no funcionamento do equipamento, pois contendo os necessários para o processo, não há justificativa para componentes sobrando ou sem funcionalidade.

Por último, a menor altura total do equipamento aparece para garantir tanto a adequação a NR14 como a acessibilidade do operador.

2.1.5 Normas Técnicas

Os fornos industriais de compressão para reciclagem de plástico, como equipamentos que operam em altas temperaturas e envolvem processos complexos, devem atender a várias normas regulamentadoras (NRs) para garantir a segurança e saúde dos trabalhadores, além de assegurar a proteção ambiental. Embora eu vá listar algumas NRs aplicáveis, é importante lembrar que cada país tem seu próprio conjunto de normas, e no Brasil, as NRs são estabelecidas pelo Ministério do Trabalho e Emprego. Aqui estão algumas das normas mais relevantes para operações com fornos industriais de compressão para reciclagem de plástico:

* NR-10 - Segurança em Instalações e Serviços em Eletricidade

Aplicabilidade: Essa norma é crucial para qualquer equipamento industrial que utilize eletricidade, como é o caso dos fornos de compressão. Ela estabelece requisitos e condições mínimas para prevenir acidentes e doenças decorrentes do trabalho com instalações elétricas.

Implicações para fornos de compressão: Implementação de sistemas de controle de riscos elétricos, treinamento de segurança para operadores e manutenção elétrica periódica.

* NR-12 - Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos

Aplicabilidade: Esta norma abrange a segurança no projeto, instalação, operação e manutenção de máquinas e equipamentos, incluindo fornos industriais.

Implicações para fornos de compressão: Exige a adoção de medidas de proteção para evitar acidentes e doenças ocupacionais, como a instalação de sistemas de proteção e a realização de avaliações de risco.

* NR-15 - Atividades e Operações Insalubres

Aplicabilidade: Trata das atividades que expõem os trabalhadores a agentes nocivos à saúde acima dos limites de tolerância estabelecidos, incluindo calor excessivo, que é um risco potencial em operações com fornos de compressão para reciclagem de plástico.

Implicações para fornos de compressão: Avaliação e controle da exposição ao calor, fornecimento de EPIs adequados, e possíveis adicionais de insalubridade para os trabalhadores expostos.

* NR-17 - Ergonomia

Aplicabilidade: Visa a adaptação das condições de trabalho às características psicofisiológicas dos trabalhadores, abrangendo aspectos como o layout do local de trabalho, manipulação de materiais e posturas de trabalho.

Implicações para fornos de compressão: Adequação ergonômica do posto de trabalho, considerando a operação e manutenção do forno, para prevenir distúrbios musculoesqueléticos.

* NR-20 - Segurança e Saúde no Trabalho com Inflamáveis e Combustíveis

Aplicabilidade: Especificamente relevante se o processo de compressão envolver o uso de substâncias inflamáveis ou combustíveis.

Implicações para fornos de compressão: Implementação de medidas de controle de riscos associados ao manuseio, armazenamento e transporte de inflamáveis e combustíveis.

* NR-26 - Sinalização de Segurança

Aplicabilidade: Refere-se à sinalização de segurança necessária nos ambientes de trabalho, incluindo a identificação de equipamentos de segurança, áreas de risco, vias de acesso etc.

Implicações para fornos de compressão: Uso adequado de sinalizações de segurança para indicar áreas de risco, instruções operacionais e localizações de equipamentos de emergência.

* DIN 76-1

Aplicabilidade: Esta norma é aplicável a fixadores roscados, como parafusos, porcas e prisioneiros, especificando as tolerâncias e graus de precisão.

Implicações para fornos de compressão: Garantia de qualidade e intercambialidade dos fixadores utilizados na montagem e manutenção dos fornos de compressão, assegurando a integridade estrutural e o funcionamento seguro do equipamento.

* ABNT NBR 8800:2008

Aplicabilidade: Esta norma é aplicável ao projeto de estruturas de aço e estruturas mistas de aço e concreto para edifícios, abrangendo aspectos de concepção, dimensionamento e especificação.

Implicações para fornos de compressão: Aplicação de princípios de projeto estrutural para garantir a segurança e durabilidade das estruturas de suporte dos fornos de compressão, assegurando que estas sejam capazes de suportar as cargas e condições operacionais exigidas.

* ABNT NBR 13723

Aplicabilidade: A NBR 13723 é uma norma brasileira que estabelece requisitos de segurança para instalações elétricas de baixa tensão. Ela é essencial para qualquer instalação elétrica em edificações residenciais, comerciais e industriais, garantindo a segurança dos usuários e a integridade das instalações.

Implicações para fornos de compressão: Exige que as instalações elétricas dos fornos de compressão sejam projetadas e executadas por profissionais qualificados, utilizando materiais certificados e adequados para ambientes industriais. É necessário realizar manutenções periódicas e inspeções regulares para garantir a segurança e a conformidade. Dispositivos de proteção, como disjuntores e fusíveis, devem ser instalados para prevenir sobrecargas e curto-circuito. Sistemas de aterramento adequados são essenciais para proteger contrachoques elétricos e descargas atmosféricas. Além disso, a sinalização e identificação de todos os circuitos e dispositivos de proteção são fundamentais para facilitar a manutenção e a operação segura.

Sendo assim, ao implementar um forno industrial de compressão para reciclagem de plástico, é fundamental não apenas aderir a estas normas, mas também realizar uma avaliação contínua dos riscos, promover treinamentos de segurança regulares e engajar-se em uma manutenção preventiva rigorosa. Além disso, é importante consultar as legislações e normas locais específicas, pois pode haver requisitos adicionais a serem cumpridos.

2.1.6 Interfaces Tangíveis

Interfaces tangíveis, conforme descrito por Fonseca, Campos, Gonçalves (2017), são responsáveis por “integrar” o sistema físico e o sistema digital. Onde o sistema físico é responsável pelas tarefas realizadas no sistema digital, realizando as operações e gerando os resultados, sendo o uso do sistema digital somente para a realização e validação das operações realizadas. Em muitos casos o sistema digital e o sistema físico se correlacionam, podendo ser feito uma cooperação, realizando operações tanto no sistema digital, quanto no físico, trazendo assim, diversas possibilidades de interação entre si.

Trazendo uma maior acessibilidade, aprendizagem e engajamento, conforme descrito por Zuckerman, Arida, Resnick (2005), trazendo os aspectos da visão, toque e audição para a questão da acessibilidade para alunos com algum tipo de deficiência e despertamento do interesse para os alunos de forma geral. Possibilitando o trabalho em grupo e gerando diversos tópicos para discussão e desenvolvimento.

Sendo uma ferramenta para um aprendizado mais diversificado e simples. Conforme o estudo de Pech e Novák (2020) essas soluções acabam quebrando diversos paradigmas de processos de desenvolvimento, possibilitando a utilização destas interfaces, por diversos grupos de faixas etárias. Também podendo fazer o uso de blocos de operações que realizam comandos facilitados, “operações prontas”.

2.1.6 Patentes

* Oficina Pé de Lata: Reutilização do Plástico PEAD para Construção de Instrumentos Musicais

O artigo "Oficina Pé de Lata: Reutilização do Plástico PEAD para Construção de Instrumentos Musicais" relata uma pesquisa em andamento que busca desenvolver tubos com plástico Polietileno de Alta Densidade (PEAD) reciclado para a construção de flautas, promovendo a sustentabilidade e a conscientização ambiental. O projeto, conduzido por Sabrina Rieg, Tayná Valle Nunes, Daniel Zanella dos Santos, Tiago Rafael de Almeida Alves e Marcos João Correia, envolve a coleta de plásticos PEAD, como frascos de detergente e tampinhas de garrafa PET, que são lavados, secos e picados. Esses plásticos são então fundidos em um forno a 180°C, moldados em blocos maciços e perfurados para emitir sons. O projeto conseguiu produzir flautas de PEAD reciclado com uma sonoridade satisfatória, demonstrando a viabilidade de reutilizar plásticos para a fabricação de instrumentos musicais.

* *Precious Plastic: Compression:*

A Precious Plastic Academy oferece uma plataforma educacional e prática que se relaciona diretamente com os dois projetos mencionados. A iniciativa fornece recursos e guias detalhados para construir máquinas que transformam resíduos plásticos em novos produtos, promovendo a economia circular e a sustentabilidade ambiental. Entre as máquinas desenvolvidas pela Precious Plastic, destaca-se a máquina de compressão, que aquece o plástico até que ele se torne maleável e, em seguida, o comprime em moldes específicos para formar novos produtos. A metodologia da Precious Plastic inclui instruções passo a passo, listas de materiais e vídeos tutoriais que orientam a construção dessas máquinas. Além disso, a plataforma incentiva a participação comunitária e a disseminação de conhecimento sobre reciclagem de plásticos.

O projeto tem como objetivo desenvolver uma máquina de compressão de plástico para criar uma solução eficaz na reciclagem de plásticos, visando a sustentabilidade ambiental. A metodologia do projeto inclui a identificação de especificações de projeto, como segurança, vida útil e eficiência, seguida pelo desenvolvimento conceitual e avaliação das funções globais e parciais do equipamento. A fase de prototipagem envolve a construção de um protótipo funcional que funde e comprime plásticos, com testes e verificações realizados para garantir a funcionalidade e segurança do equipamento. O projeto visa otimizar o processo de reciclagem de plásticos, proporcionando uma solução prática e eficiente para a gestão de resíduos plásticos.

Comparando esses projetos com o nosso, que envolve a importação e revenda de produtos variados, podemos identificar algumas sinergias e oportunidades de melhoria. Os dois projetos focam na transformação de plásticos reciclados em novos produtos úteis, seja em instrumentos musicais ou em produtos variados, o que pode inspirar nossa empresa a explorar iniciativas de sustentabilidade e reciclagem em nossas operações. A Precious Plastic, com sua máquina de compressão de plástico, oferece uma tecnologia que poderia ser integrada em nossa cadeia de valor para promover a economia circular e reduzir o impacto ambiental de nossos produtos. Em resumo, esses projetos demonstram a importância de metodologias estruturadas e processos inovadores na criação de soluções práticas e sustentáveis para a gestão de resíduos plásticos, algo que nossa empresa pode considerar para agregar valor e responsabilidade ambiental ao nosso negócio.

1. PROJETO CONCEITUAL

A fim de idealizar o produto, avaliando seus componentes mediantes suas funções inerentes, o projeto conceitual consiste em destacar as funções globais e parciais do equipamento.

* 1. funções globais e parciais.

As funções globais (Figura 1 - e Figura 2 - ) são aquelas que são determinantes para o funcionamento do produto, isto é, determinam qual a necessidade do projeto. No entanto, existem algumas funções que não devem ser descartadas, pois muitas vezes elas contribuem para o diferencial do produto, garantindo também a conformidade com as especificações de projeto, vistas na seção 2.1.4 desse documento; as funções em questão são denominadas de funções parciais (Figura 3 - e Figura 4 - ).

1. Concepção da função global de fundir o plástico.

Uma imagem com texto, captura de ecrã, diagrama, Tipo de letra

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024)

1. Concepção da função global de comprimir o plástico.

Uma imagem com texto, captura de ecrã, Tipo de letra, diagrama

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024)

1. Concepção da função parcial de oferecer segurança ao operador.

Uma imagem com texto, captura de ecrã, diagrama, Tipo de letra

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024)

1. Concepção da função parcial de acionar o sistema.

Uma imagem com texto, captura de ecrã, diagrama, Tipo de letra

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024)

3.2 Matriz morfológica

A fim de estudar as possiveis concepções do projeto, a matriz morfológica demonstra visualmente diversas possibilidades de construção do equipamento. Para determinar as possiveis concepções, foi necessario inicialmente avaliar as funções globais e parciais do produto, de maneira que cada função parcial fosse determinante para um tipo de “componente” do projeto. O Quadro 1 - demonstra a matriz morfologica de maneira simplificada, isto é, com o objetivo de facilitar o entendimento da construção do projeto, as funções elementares não foram destacadas.

2. Matriz morfológica

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Funções Básicas** | **Mecanismo** | | |
| **Fundir o plástico** | Resistência elétrica | Á gás | - |
| **Comprimir o plástico fundido** | Atuador pneumático(s) | Atuador Hidráulico | CarJack + Haste fabricada |
| **Dispositvos de segurança (Ativos)** | Termostato | - | - |
| **Dispositvos de segurança (Analógicos)** | Botão Gangorra | Botões Simples toque | Controlador de temperatura analógico |
| **Isolamento térmico** | Lã de vidro | - | - |
| **Resistência mecânica (Materiais)** | Aço ASTM A36 | Aço inoxídável | - |
| **Interfaceamento** | Botão simples toque para inicio da compressão | - | - |

Fonte: Autores (2024).

* 1. **MATRIZ CONCEITUAL**

A partir da matriz morfológica, 5 (cinco) concepções foram determinadas a partir de uma breve análise das especificações de projeto, ou seja, combinações de mecanismos que não se adequam às especificações de projeto são descartadas imediatamente, conforme demonstrado no Quadro 6 - .

1. Especificações de Projeto

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Funções Básicas** | **Concepção 1** | **Concepção 2** | **Concepção 3** | **Concepção 4** | **Concepção 5** |
| **Fundir o plástico** | Resistencia elétrica | Resistencia elétrica | Resistencia elétrica | Á Gás | Á Gás |
| **Comprimir o plástico fundido** | Atuador pneumático(s) | Atuador pneumático(s) | CarJack + Haste fabricada | CarJack + Haste fabricada | Atuador pneumático(s) |
| **Dispositvos de segurança (Ativos)** | Termostato | | | | |
| **Dispositvos de segurança (Analógicos)** | Botão Gangorra | Controlador de temperatura analógico | Botões Simples toque | Controlador de temperatura analógico | Controlador de temperatura analógico |
| **Isolamento térmico** | Lã de vidro | | | | |
| **Resistência mecânica (Materiais)** | Aço ASTM A36 | Aço ASTM A36 | Aço inoxídável | Aço inoxídável | Aço ASTM A36 |
| **Interfaceamento** | Botão simples toque para início da compressão | | | | |

Fonte: Autores (2024).

Com o objetivo de determinar a concepção ideal ao produto, será utilizado a matriz de Pugh. Nela é possível pontuar categoricamente cada elemento individual de cada uma das concepções discriminadas no quadro 7, e assim adotar a concepção com maiores pontos no desenvolvimento do projeto.

A atribuição varia entre valores de -1 à 1, onde -1 representa o não atendimento ao requisito de usuário, o zero representa o atendimento parcial e o 1 representa o atendimento completo. O resultado da matriz é contemplado no quadro xx;

1. Especificações de Projeto

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Requisitos do Cliente | Grau de Importância | Concepção 1 | Concepção 2 | Concepção 3 | Concepção 4 | Concepção 5 |
| Tamanho do equipamento | 18 | 1 | 1 | Concepção de referência (precious plastic) | 0 | 0 |
| Mantenabilidade | 18 | 1 | 1 | 1 | 1 |
| Complexidade de uso | 18 | 0 | 1 | 1 | 1 |
| Consumo | 18 | 0 | 0 | 1 | 1 |
| Segurança | 18 | -1 | 1 | -1 | 0 |
| Durabilidade | 18 | 1 | 1 | -1 | 1 |
|  | Total | 2 | 5 | 1 | 4 |
|  | Ordem | 3° | 1° | 4° | 2° |

Fonte: Autores (2024).

De acordo com a matriz acima, a concepção 2 atingiu a maior pontuação segundo uma análise detalhada por parte do autor. Sendo assim, a fim de melhor atender os requisitos dos clientes, o projeto irá ser composto de uma resistência elétrica de baixo consumo, um atuador pneumático de boa resistência mecânica e alta eficiência, um termostato analógico comum de fornos elétricos, um isolamento térmico robusto a fim de proteger o operador e garantir maior eficiência térmica do dispositivo e uma estrutura robusta que aguente os esforços de todos os componentes do sistema elétrico, pneumático e termomecânico.

1. **PROJETO PRELIMINAR**

A fim de obter uma visão mais abrangente do produto, a fase preliminar do projeto se encaixa entre o projeto conceitual e o projeto detalhado (Rozenfeld et al. 2006). Nessa etapa, é necessário avaliar e e selecionar no mercado os materiais disponíveis para a concepção escolhida do projeto, visando suprir as necessidades básicas do produto.

Anteriormente ao estudo de mercado, faz se necessario entender como o projeto deverá ser divido em subgrupos, pois dessa maneira ficará mais simples de selecionar ou dimensionar os principais componentes e materiais que irão compor cada subgrupo do produto. Os subgrupos em questão, selecionado pelos próprios autores, serão: (I) Base estrutural; (II) Forno; (III) Sistema Pneumático.

* 1. **BASE ESTRUTURAL**

A base estrutural, como o próprio nome diz, é a sustentação mecânica dos esforços gerados pelos demais componentes do produto. Baseando-se na concepção escolhida para o produto, a resistência mecânica tem como seu principal elemento o material, ao qual foi escolhido, dentre diversas opções viáveis, a liga de aço ASTM A36, pois esta possui uma resistência mecânica elevada, baixo custo e uma boa usinabilidade e soldabilidade.

A partir de uma pesquisa no mercado, concluiu-se que uma combinação de perfis do tipo cantoneira e barras chatas laminadas garantem uma resistência mecânica elevada e confiável ao produto, de modo que o custo não seja sacrificado em prol da concepção. O principal forncedor desse tipo de perfil, é a GERDAU, e, portanto, será o fornecedor escolhido para a concepção da base estrutural.

O dimensionamento das peças que irão compor este subgrupo será feito com o auxílio de um software CAD, o Autodesk Inventor 2022 e validado posteriormente com o auxílio de uma simulação numérica chamada de método de elementos fínitos, no mesmo software.

* 1. **FORNO**

Responsável pela fusão da matéria prima (plástico), o forno é um dos componentes indispensáveis do produto.

* + 1. **CASCO**

O Casco do forno é parte externa do equipamento, responsável por sustentar os componentes internos e externos garantindo a rigidez necessária do conjunto.

O formato final do forno dependerá quase que exclusivamente da concepção do casco e suas dimensões.

* + 1. **ISOLAMENTO TÊRMICO**

O isolamento térmico é uma camada de material isolante que fica logo antes do casco, na parte interna do forno e é responsável por dificultar a troca de temperatura entre a parte interna do forno e o ambiente. O vidro frontal do forno também precisa ser dimensionado a fim de proporcionar esse isolamento térmico.

É necessário que esse isolamento tenha uma espessura suficiente para que as superfícies externas do forno não atinjam uma temperatura muito elevada e ofereçam riscos ao usuário. Essa temperatura é regulamentada pela NBR 13723, e é calculada a partir das equações de transmissão de calor.

* + 1. **RESISTÊNCIA ELÉTRICA**

A resistência elétrica é quem fornece o calor para o forno atingir a temperatura necessária para o plástico amolecer e ser transformado em uma placa. De acordo com um projeto patenteado semelhando (Precious Plastic), a temperatura ideal para esse processo é de 180ºC.

* + 1. **TERMOSTATO**

Para controlar a temperatura do forno e não deixar que ele aqueça de mais, danificando o material, será utilizado um termostato que basicamente funciona como um interruptor acionado pela temperatura.

* + 1. **MODULADOR**

Este componente tem como seu propósito modular o plástico, após o derretimento, em uma espécie de placa. Seu propósito é ser uma antepara ao pistão pneumático, isto é, quando o plático fundido, disposto em uma caixa moduladora fixada ao atuador pneumático, ser elevado através do curso do pistão, a antepara irá pressionar e modular o formato final da placa de resíduos plásticos conforme desmontado na Figura 5.

1. Exemplo de uma placa de plástico reciclado.

Uma imagem com interior, quadrado, arte, miniatura

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Mateco (2009)

Vale ressaltar que esse modulador deverá ser resistente mecânicamente pois ele terá o carregamento da força de avanço do atuador.

A sua concepção será feita, assim como a base estrutural, a partir do software CAD Autodesk Inventor 2022.

* 1. **SISTEMA PNEUMÁTICO**

Responsável pela etapa de compressão e inerente ao processo de modulação da matéria prima, o sistema pneumático é conjunto de componentes que irá atender ao funcionamento principal do forno-compressor. Seu propósito específico é a ativação de um cilindro pneumático, que ao acoplar uma caixa moduladora, irá pressionar o plástico fundido contra o modulador (visto no tópico 4.2.4).

* + 1. **ATUADOR PNEUMÁTICO**

Para dimensionar o atuador necessário para a operação descrita no tópico anterior, é preciso ter conhecimento da solicitação do mesmo, ou seja, saber de modo geral qual a carga que o atuador precisará trabalhar.

O fornecedor/fabricante FESTO, fornece em seus catálogos uma variedade ampla de atuadores pneumáticos com diversas informações técnicas úteis para sua seleção. Algumas das informações cruciais para esse projeto são: curso do pistão, força de avanço e retorno e pressão de trabalho.

Um dos cálculos que se faz necessário para a validação do atuador selecionado é a equação 1, que determina o coeficiente de segurança (CS) da operação de trabalho do cilindro (Stewart. Harry L, 2014).

Equação 1 – CS da operação de trabalho do cilindro

Fonte: STEWART (2014)

Onde:

– Força de avanço do cilindro (N).

F – Carga solicitada (N).

A pressão de trabalho escolhida é de 6 Bar, a pressão mais comum em aplicações industriais (Stewart. Harry L, 2014).

* + 1. **Válvulas**

As válvulas serão responsáveis pelo esquema de ativação e funcionamento do cilindro, garantindo também o controle do operador sobre a operação de compressão do produto.

Para seu dimensionamento, será utilizado um software de simulçao hidraulica e pneumática fornecida pela FESTO, isto é, o FluidSim. Com esse recurso em mãos, será possível simular e avaliar os tipos das válvulas que irão compor o sistema de controle do sistema.

* + 1. **Ar comprimido**

Nesse ponto do desenvolvimento, está claro que o fluído de trabalho do sistema pneumático é o ar comprimido à pressão de 6 bar; portanto, nessa etapa, será problematizado a seleção do compressor, o equipamento responsável pela alimentação do atuador pneumático.

Para o cálculo do compressor, é preciso saber principalmente o consumo de ar do sistema em L/m, ou seja, o consumo do atuador pneumático responsável pela compressão do plástico; para tanto a empresa de tecnologia MTI (Master tecnologia industrial) fornece a equação 2, responsável pelo cálculo do consumo (C) desse atuador.

Equação 2 – Consumo de Ar Comprimido

Fonte: MTI (2024)

Onde:

– Ciclos por minuto.

L – Curso do pistão.

– Consumo no avanço.

– Consumo no retorno.

Essa mesma empresa fornece a informação do consumo de ar no avanço e no retorno baseado no diâmetro do cilindro. No projeto detalhado será demonstrado a utilização desses valores.

1. **PROJETO DETALHADO**

O projeto detalhado, segundo Back et al. (2008), é a etapa final do processo criativo. Nessa etapa será efetivada a seleção dos componentes e a validação deles através de um memorial de cálculo.

Vale salientar que será nessa etapa em que o produto ganhará sua forma final a fim de suprir as necessidades de usuário e requisitos de engenharia/projeto. Visando uma melhor compatibilidade no entendimento do projeto, as peças dimensionadas serão referenciadas de acordo com a *Bill of materials (BOM)*, disposta no anexo 1.

* 1. **DIMENSIONAMENTO DO FORNO.**
     1. **DIMENSIONAMENTO DO CASCO EXTERNO.**

Projetado para sustentar os componentes internos ao forno e dar o acabamento ao mesmo, o casco é pensado como uma das partes cruciais do forno. A fim de garantir uma rigidez boa ao sistema e a segurança na contenção dos equipamentos internos, a estrutura foi estabelecida inicialmente em aço ASTM A36 em um caixote usinado de 3mm de espessura. Nesse ponto já é possivel garantir uma boa soldabilidade dos recursos estruturais adicionais.

Um dos recursos que será soldado no teto do casco é o modulador, uma subestrutura de aço ASTM A36 formada por uma antepara de 4 mm e fixa por um tubo redondo de 1” fornecido pela GERDAU. Esse componente, conforme explicado no tópico 4.2.4, tem a função de resistir aos esforços do avanço do atuador. Mais a frente nesse documento será descrito o modelo do atuador, no entanto de acordo com o dimensionamento prévio, é possivel retirar a informação de que a carga realizada pelo cilindro será de pelo menos 483 N (a partir do modelo selecionado). Essa informação contribui para a validação através do método de elementos fínitos.

O resultado da simulação estática é visto nas Figura 6 - e Figura 7 - .

1. Tensão de von mises.

Uma imagem com captura de ecrã, Azul elétrico, diagrama, Azul majorelle

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024).

1. Coeficiente de segurança.

Uma imagem com captura de ecrã, diagrama, Azul elétrico, Saturação de cores

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024).

Foi possível observar que a tensão máxima foi localizada em uma região de concentração de tensão, chegando a um pico de 139,8 MPa; já o coeficiente de segurança, visto na figura 7, teve um mínimo calculado de 1,78.

Para tais resultados conclui-se que o modulador e o casco do forno resistem aos esforços do atuador com uma certa tranquilidade, no entanto o casco do forno é o mais solicitado.

* + 1. **DIMENSIONAMENTO DO ISOLAMENTO**
       1. **LÃ DE VIDRO**

Para calcular a espessura do isolante térmico foi utilizado as equações de condução (3) e convecção de calor (4):

Equação 3 - cálculo de condução térmica.

Fonte: BERGMAN e LAVINE (2014)

Equação 4 - cálculo de convecção térmica.

Fonte: BERGMAN e LAVINE (2014)

Onde cada variável corresponde a:

Q = calor transferido [W]

k = coeficiente de condução térmica [W/(m\*k)]

h = coeficiente de convecção térmica [W/(m\*k)]

A = área de superfície [m²]

l = espessura do material [m]

= Temperatura quente [ºC]

= Temperatura fria [ºC]

= Temperatura na superfície [ºC]

= Temperatura ambiente [ºC]

Igualando as duas equações, isolando o l e cancelando as áreas temos a equação 5.

Equação 5 – Igualando as equações

Fonte: BERGMAN e LAVINE (2014)

O isolante térmico escolhido para o projeto foi a lã de vidro, que possui um coeficiente de condução térmica de 0,042[W/(m\*k)]. Tanto para os cálculos da condução quanto para a convecção será considerado apenas o material do isolante térmico.

Como a temperatura recomendada para a fusão do plástico é de 180ºC, está foi considerada a temperatura quente da equação. A temperatura ambiente foi considerada como 20ºC. A temperatura fria e a temperatura de superfície são as mesmas, sendo considerado 60ºC pelo limite imposto na norma NBR 13723.

O coeficiente de convecção térmica foi calculado utilizando a equação (6), que é uma simplificação das equações reais.

Equação 6 - Cálculo simplificado do coeficiente de convecção.

Fonte: BERGMAN e LAVINE (2014)

Substituindo todos os valores na equação 3, temos a espessura mínima de 12mm que deve ser usada no isolante térmico.

Equação 7 – Substituindo valores

0.03344 m

Fonte: Autores (2024)

O fornecedor escolhido foi o Portal da Acústica, que fornece lã de vidro aluminizada (figura 8) de 50mm, sendo suficiente para o projeto.

1. Lã de vidro aluminizada

Desenho preto e branco

Descrição gerada automaticamente com confiança baixa

Fonte: Google Imagens (2024)

* + - 1. **ACRILICO FRONTAL**

Para o cálculo do acrílico frontal foi utilizado uma composição formada de uma placa interna de vidro de 2mm de espessura, uma placa externa de acrílico com 2mm de espessura, ambas com uma área de 284mm², separadas por um espaço de ar de 4mm. Para calcular se a temperatura externa estaria dentro do aceito pela norma, foi necessário aplicar o conceito de resistência térmica, que é calculado com a equação 8 para condução e a equação 9 para convecção:

Equação 8 - Para resistência térmica utilizando a condução:

Fonte: BERGMAN e LAVINE (2014)

Equação 9 - Para a resistência térmica utilizando a convecção:

Fonte: BERGMAN e LAVINE (2014)

O valor utilizado para o coeficiente de condução de calor do vidro é de 0,84[W/m\*K] e para o acrílico 0,201[W/m\*K]. Para o ar entre os vidros foi considerado o coeficiente de condução de 0,028 [W/m\*k] pois não há movimentação do fluido.

Para o ar ambiente e interno do forno o coeficiente de convecção utilizado foi o mesmo calculado anteriormente.

Substituindo os valores nas variáveis das equações de resistência temos os seguintes resultados:

* Resistência Ar ambiente = 0,79 [K/W];
* Resistência placa de vidro = 0,01K/W];
* Resistência camada de ar entre vidros = 0,50[K/W];
* Resistência placa de acrílico = 0,04[K/W];
* Resistencia Ar interno do forno = 0,79 [K/W];

Somando tudo chegamos no valor de resistência equivalente de 2,13[K/W]. O cálculo do calor utilizando resistência térmica é dado pela seguinte equação:

Equação 10 - calor do sistema utilizando resistência térmica.

Fonte: BERGMAN e LAVINE (2014)

Substituindo as temperaturas pela temperatura interior do forno e a temperatura do ambiente externo, e usando o valor calculado da resistência equivalente chegamos num valor de 75,2 W para o calor. Igualando esse resultado a equação 5 e isolando a temperatura de superfície temos:

Equação 11 – Igualando a equação 5

Fonte: Autores (2024)

A norma traz que a temperatura máxima de vidros e acrílicos é de 80ºC, logo a espessura escolhida atende ao requisito. Como fornecedor do acrílico, foi selecionado a empresa BOLD, e para o vidro foi escolhido a empresa Element Glass. Ambas fornecem o produto sob medida.

* + 1. **DIMENSIONAMENTO DA RESISTÊNCIA ELÉTRICA E TERMOSTATO**

Tanto a resistência elétrica quanto o termostato escolhido foram referentes a fornos elétricos convencionais, pois eles já atingem a temperatura desejada para amolecer o plástico. Para a resistência, uma de 4000w 220v da empresa NobreBrasil foi selecionada (Figura 9 - ) e para o termostato foi escolhido um de até 400ºC pelo Ali Express (Figura 11 - )

1. Resistência elétrica 4000w

Forma

Descrição gerada automaticamente

Fonte: NobreBrasil (2024)

1. Termostato.

Imagem de vídeo game

Descrição gerada automaticamente com confiança média

Fonte: AliExpress (2024)

* + 1. **DIMENSIONAMENTO DOS PERIFÉRICOS**

Sabe-se que é necessário um recipiente responsável por conter e posteriormente modular o plástico, ao qual foi denominado caixa modular e pode ser encontrado no protótipo através do código *2024001-500*.

O componente é constituído de uma estrutura resistente de aço ASTM A36, com laterais fabricados em uma espessura de 4mm. Possui também uma haste furada fabricada a partir de uma barra redonda de 20mm de diâmetro, que servirá como ponto de fixação para o cilindro pneumático. O conjunto pesa aproximadamente 13,5 Kg.

Visto que a caixa em questão será erguida e pressioanda contra o modulador superior, faz-se a necessidade de guias lineares para o atuador a fim de evitar um possível desalinhamento ao longo do curso dele, garantindo uma precisão maior na compressão e uma durabilidade extendida do sistema. As guias são totalmente removíveis, sendo fixas na estrutura do forno (casco) através de porcas auto travantes com iserto de nylon fornecidas pela CISER.

* 1. **DIMENSIONAMENTO DA BASE ESTRUTURAL.**

De acordo com os requisitos de projeto, a base estrutural precisaria ter pelo menos 3 graus de segurança acima do escoamento do material. Para garantir esse nível de robustez, a base foi pensada inteiramente em uma estrutura metálica de aço ASTM A36 soldada.

Com o auxílio dos catálogos de perfis comerciais da GERDAU e da Megaço, a estrutura conta com quatro cantoneiras verticais de 2x2x1/4” em uma configuração paralela de 700x700mm e barras chatas de 6mm de espessura para realizar o travamento horizontal centralizado. Além disso, a “mesa” (superfície de instalação do forno) é reforçada com mais quatro cantoneiras de 2x2x1/4” e uma tampa de 6mm de espessura fornecida pelo catálogo de chapas grossas para uso estrutural da GERDAU.

* + 1. **VALIDAÇÃO NUMÉRICA DA BASE ESTRUTURAL.**

Para verificar os esforços que a bancada estrutural resiste, foi utilizado o software Autodesk Inventor 2022. A maior força atuante na base, sem dúvidas é o fono e todos seus componentes internos, inculindo as guias e o isolamento, e, portanto o peso desse material será utilIzado para fins de cálculo.

De acordo com o cálculo realizado pelo software, baseado em uma especificação detalhada de materiais, a massa total do conjunto *2024001-400* (forno) é de aproximadamente 103,5 kg, como mostra a Figura 11 - .

1. Cálculo físico do software CAD (forno).

Uma imagem com texto, captura de ecrã, Tipo de letra, número

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024)

Vale adicionar que de acordo com com o tópico 5.1.4 desse documento e a informação física fornecida pelo sofware Autodesk Inventor 2022, a massa final calculada da montagem *2024001-500* (caixa modular) é de aproximadamente 13,5 Kg como demonstra a Figura 12 - .

1. Cálculo físico do software CAD (caixa modular).

Uma imagem com texto, captura de ecrã, software, ecrã

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024)

A massa em questão será somada a massa de plástico condida no recipiente.

Supondo que plástico ocupe integralmente o espaço da caixa moduladora, e o plástico utilizado seja o Politereftalato de etileno (PET), um dos mais comuns a serem reciclados, a densidade seria de 1,38 g/cm³. A partir da equação 3, é possível obter o peso total de plástico contido no recipiente.

Equação 12 – Peso total do Plástico

Fonte: Autores (2024)

Onde:

( – dimensões da placa de plástico em (cm)

d(PET) – densidade do plástico (g/cm³)

M – Massa (g)

Substituindo o valor da densidade e calculando a Massa, obtem-se uma massa de 22,0 Kg aproximadamente. Compilando os resultados de massa obtidos a respeito do forno, caixa modular e matéria prima, concluí-se que a massa total sobre a base estrutural é de 139 Kg. Ao multiplicar a massa total pela aceleração gravitacional (9,81m/s²), obtem-se uma carga de 1363,6 N.

A Figura 13 - e Figura 14 - representam os resultados da análise de elementros finitos.

1. Tensão de Von Mises (Base estrutural).

Uma imagem com Azul majorelle, captura de ecrã, mobília, mesa

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autor (2024)

1. Coeficiente de segurança (Base estrutural).

Uma imagem com captura de ecrã, Azul majorelle, mobília, arte

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autor (2024)

O resultado da simulação foi muito satisfatório do ponto de vista estrutural, atigindo uma tensão máxima de apenas 31,89 MPa e um coeficiente de segurança mínimo de 10,98. Sendo assim, o projeto da base estrutural está fianalizado.

* 1. **DIMENSIONAMENTO DO SISTEMA PNEUMÁTICO.**

O sistema pneumático será calculado em função da solicitação mecânica do atuador penumático.

* + 1. **DIMENSIONAMENTO DO ATUADOR.**

Conforme exposto no tópico 4.3.1 desse documento, o fornecedor selecionado para o atuador pneumático é a FESTO, de maneira que o modelo do atuador seja o DSBC-32-500-PPVA-N3 (*2024001-200-001)*, com um curso de 500mm e 32mm no diâmetro do êmbolo. Esse atuador foi escolhido por ter uma boa avaliação de usuários prévios e ter um curso que se encaixa na necessidade do produto.

Conforme calculado no tópico anterior (5.2.1), a massa total de plástico a ser considerada é de 22 Kg, que somanda com a massa da caixa modular, resulta em 35,5 Kg totais de massa sobre a influência do atuador penumático. Em matéria de esforços, temos 348,255 N (35,5x9,81).

De acordo com as informações técnicas do produto DSBC-32-500-PPVA-N3, a força de avanço do atuador, à 6 bar, é de aproximadamente 483 N e a carga solicitada (considerando g=9,81 m/s²) é de 348,255 N. Utilizando-se da equação 1, é possível obter o coeficiente de segurança do atuador.

Equação 13 – Cálculo Coeficiente de segurança do atuador

Fonte: Autores (2024)

Conclui-se dessa maneira que o atuador é mais que suficiente para a carga, já superdimenssionada em função da considaderação: “Supondo que plástico ocupe integralmente o espaço da caixa moduladora”.

* + 1. **DIMENSIONAMENTO DO COMPRESSOR**

Para a validação do compressor, inicialmente dispõe-se de um compressor de baixo custo e de baixa capacidade, pois esse é um sistema simples de apenas um atuador (componente dependente do fluído de trabalho).

O compressor selecionado foi o VONDER VDCSI 7,4/30, com uma capacidade de fornecimento de ar comprimido até 7,4 pcm (pés cúbicos por minuto).

Dimensionando o sistema para que o atuador realize um ciclo a cada minuto, no mínimo, com isso temos, de acordo com a Equação 14 –, obtemos o seguinte consumo de ar em pcm:

Equação 14 – Consumo de ar em pcm

(0,03531 – múltiplo de converssão de l/m para pcm)

Fonte: Autores (2024)

De acordo com o canal oficial de navegação da MTI, os valores de “Ca” e “Cr”, foram ser obtidos a partir do quadro reduzido (Quadro 8 - ):

1. Quadro de valores em função do diâmetro (MTI)

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Diâmetro do cilindro (mm)** | **Consumo no avanço p/ cada 10mm** | **Consumo no retorno p/ cada 10mm** |
| 32 | 0,056 | 0,048 |

Fonte: Adaptado de MTI (2024).

A partir da validação do compressor (*2024001-201*), é possível concluir que o compressor está sobrando e não terá nenhum problema de falta de abastecimento de ar comprimido no sistema a não ser que haja vazamentos graves.

* + 1. **CIRCUÍTO PNEUMÁTICO**

Nessa etapa utilizou-se o software FluidSim como principal meio de dimensionamento do circuito pneumático, podendo-ser possível, através do software, simular e selecioanar as válvulas e o tipo de acionamento disposto no sistema.

De acordo com o projeto, é necessário inicialmente prever o curso necessário (max. 500mm) do pistão a fim de realizar o processo da compressão. A figura 7 demonstra o curso necessário medido através do software CAD utilizado no desenvolvimento do produto.

1. Curso mínimo necessário para o atuador.

Uma imagem com captura de ecrã, design, arte

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024)

A dimensão medida (465,0mm) contempla a distância mínima da caixa moduladora (*2024001-600*) até a antepara superior do forno (modulador - *2024001-403*). Entretanto, sabe-se que a placa deverá ter no mínimo 100mm de altura, ressa maneira o curso do atuador passa a ser 365,0 mm.

Assim definido o curso, inicia-se a etapa da simulação no FluidSim. Onde resultado obtido contempla 4 tipos distintos de válvulas: 1 válvula de controle direcional do tipo 5/2 vias com acionamento eletrico, 1 válvula de controle direcional do tipo 3/2 vias com retorno por mola e um acionamento elétrico secundário, 1 válvula de retenção direcional e 2 vávlulas de controle de fluxo unidirecional.

O funcionamento do circuito depende principalmente da configuração das válvulas de controle de fluxo, as quais foram configuradas para estrangular 50% do fluxo do ar comprimido tanto para o avanço quanto para o retorno do atuador, garatindo dessa maneira um controle na velocidade de operação do cilindro.

Á válvula de retenção tem o papel de impedir o retorno do fluído na retração do cilindro, de maneira que garanta a limitação do curso do mesmo na marca de 365,0mm; no entanto, não há retorno automático, pois, a retração será de total controle de operador, permitindo assim a garantia do resultado desejado no produto. Portanto conclui-se que o controle do retorno do atuador para sua posição de repouso ficará em função da ativação da válvula 3/2 vias.

A Figura 16 - demonstra o esquema pneumático em sua posição de repouso.

1. Esquema pneumático (repouso)

Uma imagem com texto, diagrama, Esquema, Desenho técnico

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024)

Nota-se na imagem acima que há linhas em azul forte e azul claro, as quais representam o fluxo do ar comprimido através das vávlulas. Por padrão do sofware, as linahs em azul forte representam onde há passagem de fluído de trabalho.

Na Figura 17 - é possível visualizar o esquema em sua posição de avanço máximo.

1. Esquema pneumático (Avanço)

Uma imagem com diagrama, texto, Esquema, Desenho técnico

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024)

O sistema de válvulas e lubrifiltros projetado é diposto no painel de dimenssão 300x300 da FESTO, que pode ser localizado na BOM e no protótipo 3D pelo código *2024001-20.* A figura 10 exemplifica a posição relativa do painel no protótipo.

O sistema é fixo na base estrutura. através de 4 parafusos fornecidos pelo próprio fabricante.

1. Painel de controle penumático.

Uma imagem com máquina, engenharia, Fios elétricos, interior

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024)

**5.3.4 Comando elétrico.**

Mediante a ativação do sistema pneumático se dar em função das vaálvulas serem ativadas eletricamente, o projeto conta também o painel de controle CMCB-D1-CC-S1 da FESTO. Em sua composição está todos os recursos necesários, incluindo os CLP’S (controladores lógico programáveis) e recursos de segurança necessário do sistema eletronico.

O painel elétrico pode ser encontrado na BOM e no projeto 3D através do código *2024001-301.*

Para interligar o sistema penumático com operador, são dispostos dois botões que serão responsáveis por cada uma das válvulas de controle direcional. O botão verde indica o iníco do processo de compressão com um simples toque, já o botão vermelho integra a ativação da válvula por meio da válvula 3/2 vias. Vale salientar que o botão vermelho deve ser pressionado à medida que o operador desejar retrair o compressor, podendo reiniciar a compreessão a qualquer momento ao apertar o botão verde novamente.

A Figura 19 - demonstra o painel elétrico e a botueira de ativação (*301-002*).

1. Esquema de ativação.

Uma imagem com captura de ecrã

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024)

* 1. **JUNTAS SOLDADAS**

Nesse projeto haverá dois tipos de soldas principais, sendo elas: filete e penetração. Para a realização das soldas, o detalhamento irá indicar somente onde houver juntas de penetração total através da simbologia adequada. Nos demais caso, deverá ser interpretado como solda de filete em concordância com a norma ABNT NBR 8800:2008.

Os quadros 9 e 10 estabelecem, de acordo com a normal, as gargantas mínimas de solda para cada tipo de junta utilizada.

1. Espessura mínima da garganta efetiva de uma solda de penetração parcial

Uma imagem com texto, captura de ecrã, número, ecrã

Descrição gerada automaticamente

Fonte: adaptado de ABNT NBR 8800:2008.

1. Tamanho mínimo da perna de uma solda de filete

Uma imagem com texto, captura de ecrã, Tipo de letra, número

Descrição gerada automaticamente

Fonte: adaptado de ABNT NBR 8800:2008.

De acordo com a BOM do projeto, não há nenhuma peça a ser soldada com espessura maior que 6,35mm (1/4”), portanto a garganta efetiva para juntas de penetração será de 3mm, e a perna mínima para soldas de filete será de 3mm.

* + - 1. Protótipo tangível

Para o desenvolvimento do protótipo tangível, foi feito o uso da placa de prototipagem eletrônica “Arduino UNO”, Display LED 16x2, Botões variados, placa de ensaio, buzzer, resistores variados e cabos jumper, para conexão, conforme mostrado no Quadro 11, Figura 20, Figura 21, Figura 22, Figura 23, Figura 24 e Figura 26.

Onde com o uso dos cabos de conexão e os outros componentes, se faz possível realizar uma simulação de como seria a atuação do forno compressor em uso, pelo menos da sua parte de interface. Se comunicando com o sistema do Arduino onde ele demonstra as informações no Display.

Fazendo assim uma simulação aproximada de como seria a aplicação, retirando alguns componentes como sensores de temperatura, compressores e outros recursos que sejam menos acessíveis para este protótipo, visando em demonstrar somente a sua aplicabilidade. Sendo de acordo com o Figura 20 -, o botão preto responsável por liga/desligar o equipamento, botão vermelho para iniciar a operação do equipamento, após se ter confirmar os valores de temperatura e de tempo e os botões amarelos responsáveis por regular a temperatura e tempo de operação. Com isso, após se inicializar ele vai aumentando gradativamente até chegar na temperatura ideal escolhida e depois começa a contagem do tempo para realizar a operação e depois finaliza a operação.

1. Levantamento de componentes protótipo tateável

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Componente** | **Quantidade** | **Descrição** |
| Arduino Uno | 1 | Componente responsável pela alimentação dos componentes, processamento de informações e conexão com o computador |
| Placa de ensaio | 1 | Componente utilizado para se conectar a alimentação da placa Arduino para/com os componentes |
| Resistores variados | 8 | Componentes responsáveis por garantirem as operações dos leds e resistores |
| Cabos de conexão | 22 | Cabos utilizados para realizar a conexão da Placa de Ensaio com o Arduino e seus resistores |
| Display LCD 1x2 com BackLight Azul | 1 | Responsável por mostrar as informações do equipamento |
| Buzzer | 1 | Usado para mostrar as operações de início e fim |
| Botões Variados | 6 | Utilizado para as opções de liga/desliga, inicia, aumenta e abaixa volume e temperatura |
| LED Azul e Vermelho | 1 | Led responsável por mostrar quando o dispositivo está liga/desligado |
| LED RGB | 1 | Responsável por indicar o quão próximo está da temperatura final |

Fonte: Autores (2024).

1. Arduino UNO e Placa de Ensaio

Imagem de vídeo game

Descrição gerada automaticamente com confiança média

Fonte: Autores (2024).

1. Estado “Desligado”

Tela de computador com luz verde

Descrição gerada automaticamente com confiança média

Fonte: Autores (2024).

1. Estado “Ligado”

Interface gráfica do usuário

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024).

1. Status “Iniciando”

Tela de computador com luz verde

Descrição gerada automaticamente com confiança média

Fonte: Autores (2024).

1. Iniciando contagem

Interface gráfica do usuário

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024).

1. Finalização

Uma imagem contendo Interface gráfica do usuário

Descrição gerada automaticamente

Fonte: Autores (2024).

* + - 1. ConsIderações FINAiS

Este trabalho apresentou o desenvolvimento de um forno compressor destinado à indústria de reciclagem de plástico, utilizando a Metodologia de Desenvolvimento Integrado de Produto (PRODIP). Através de uma abordagem sistemática, foi possível integrar diferentes etapas do desenvolvimento de produtos, desde a concepção inicial até a implementação final, harmonizando demandas técnicas, ambientais, econômicas e sociais.

O projeto envolveu a avaliação das funções globais e parciais do produto, com a construção de uma matriz morfológica que explorou diversas possibilidades de design. A partir desta matriz, foram determinadas cinco concepções principais, considerando combinações de mecanismos que atendem às especificações do projeto. A análise de materiais disponíveis no mercado e a divisão do projeto em subgrupos facilitaram a seleção e dimensionamento dos componentes.

Os resultados obtidos demonstram que o forno compressor projetado é eficiente e seguro, contribuindo significativamente para a sustentabilidade e inovação tecnológica no manejo de resíduos plásticos. A utilização de materiais como o aço ASTM A36 e a aplicação de normas técnicas, como a ABNT NBR 8800:2008, garantiram a robustez e confiabilidade do equipamento.

Além disso, o estudo contribui para o avanço científico e tecnológico na área de gestão de resíduos, promovendo a mobilização social em torno da importância da reciclagem e da sustentabilidade ambiental. Através deste trabalho, foi possível desenvolver estratégias inovadoras que podem efetivamente mitigar o problema dos resíduos plásticos, oferecendo uma solução concreta que alia eficiência tecnológica a benefícios ambientais e sociais.

Em suma, o forno compressor desenvolvido neste projeto pavimenta o caminho para uma gestão de resíduos mais sustentável e responsável, aspirando a um futuro no qual o descarte de plásticos deixe de ser uma ameaça ao meio ambiente. Este trabalho, portanto, representa um passo importante na busca por soluções tecnológicas que promovam a sustentabilidade e a preservação do nosso planeta.

* + - 1. REFERências

**AMCHAM BRASIL.** Brasil produz mais de 11,3 milhões de toneladas de lixo plástico por ano. Estadão, Ecoando, 10 set. 2019. Disponível em: <https://www.estadao.com.br/economia/ecoando/brasil-produz-mais-de-113-milhoes-de-toneladas-de-lixo-plastico-por-ano/#:~:text=%22Segundo%20o%20IBGE%2C%20o%20Brasil,de%20550%2C4%20mil%20toneladas.>. Acesso em: 21 mar. 2024.

**BACK, Nelson** et al. Projeto Integrado de Produtos: planejamento, concepção e modelagem. Barueri: Manole, 2008. 601 p. Acesso em: 21 mar. 2024.

**BRASIL.** Ministério do Meio Ambiente. Plano Nacional de Resíduos Sólidos. Brasília: Ministério do Meio Ambiente, 2011. Disponível em: <https://www.gov.br/mma/pt-br/acesso-a-informacao/acoes-e-programas/acoes-e-programas1/agendaambientalurbana/lixao-zero/plano_nacional_de_residuos_solidos-1.pdf>. Acesso em: 25 mar. 2024.

**ELLEN MACARTHUR FOUNDATION.** A Nova Economia dos Plásticos: Relatório sobre a economia circular de plásticos. 2016. Disponível em: <https://archive.ellenmacarthurfoundation.org/assets/downloads/NPEC-portuguese_1.pdf>. Acesso em: 26 mar. 2024. (Tradução livre do título original em inglês: The New Plastics Economy: Rethinking the future of plastics)

**FONSECA, Manuel J.; CAMPOS, Pedro.; GONÇALVES, Daniel.** Introdução ao Design de Interfaces. 3. ed. Lisboa: Fca, 2017. 400 p.

**FUNDAÇÃO GETULIO VARGAS.** Gerenciamento de Resíduos Sólidos. 2008. Disponível em: <https://cev.fgv.br/programas/gerenciamento-de-residuos-solidos>. Acesso em: 18 mar. 2024.

**GEYER, Roland; JAMBECK, Jenna R.; LAW, Kara Lavender.** Production, use, and fate of all plastics ever made. Science Advances, vol. 3, no. 7, 2017. Disponível em: <https://www.science.org/doi/10.1126/sciadv.1700782>. Acesso em: 23 mar. 2024.

**GUIA TRABALHISTA**. Disponível em: https://www.guiatrabalhista.com.br/obras/seguranca.html. Acesso em: 22 mar. 2024.

**HOPEWELL, Jefferson; DVORAK, Robert; KOSIOR, Edward.** Plastics recycling: challenges and opportunities. Philosophical Transactions of the Royal Society B: Biological Sciences, vol. 364, no. 1526, 2009, pp. 2115-2126. Disponível em: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rstb.2008.0311>. Acesso em: 29 mar. 2024.

**MTI - Empresa Mato-Grossense de Tecnologia da Informação**. Cuiabá - MT. Consulta em 2024.

**PECH, Jiří; NOVÁK, Milan**. Use Arduino and Micro:bit as Teaching Platform for the Education Programming and Electronics on the STEM Basis. 2020. Disponível em: https://ieeexplore.ieee.org/document/9111798. Acesso em: 02 mar. 2024.

**PRECIOUS PLASTIC**. Compression. Disponível em: https://community.preciousplastic.com/academy/build/compression. Acesso em: 13 mai. 2024.

**PROTEC. Desenhista de Máquina.** São Paulo: Editora Francesco Provenza, 2010. 380 p.

**PROTEC. Projetista de Máquinas**. São Paulo: Editora Francesco Provenza, 2010. 490 p.

**VIEIRA, Lucas Neves**. Projeto e construção de um Sinalizador de ciclovias para ciclistas. 2023. 106 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia) – Universidade do Vale do Itajaí, Itajaí, 2023.

**ZUCKERMAN, Oren; ARIDA, Saeed; RESNICK, Mitchel.** Extending tangible interfaces for education. Proceedings Of The Sigchi Conference On Human Factors In Computing Systems, [S.L.], v. 05, n. 2, p. 859-868, 2 abr. 2005. ACM. http://dx.doi.org/10.1145/1054972.1055093.