

INJETORA MANUAL DE TERMOPLÁSTICO

INJETORA MANUAL DE TERMOPLÁSTICO

AUTORES

Adriele Almeida Dos Santos
Cauã Alexandre Alves Dos Santos
Gabriel Evangelista Da Silva
Hálan Alves Pena Da Silva
Jonathan Da Silva Amorim

Prof. Jorge Luis Giorgiano

ARARAS, 25 de Novembro de 2024

INJETORA MANUAL DE TERMOPLÁSTICO

AUTORES

Adrielle Almeida Dos Santos
Cauã Alexandre Alves Dos Santos
Gabriel Evangelista Da Silva
Hálan Alves Pena Da Silva
Jonathan Da Silva Amorim

Projeto do Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Componente Curricular –
Planejamento do TCC do Curso Técnico em
Mecânica da ETEC Prefeito Alberto Feres.

EPÍGRAFE

*“Nossa maior fraqueza está em desistir.
O caminho mais certo de vencer é tentar
mais uma vez.”*

Thomas Edison

RESUMO

A injeção de plásticos se deu início durante o século XVIII, é um processo fundamental na fabricação de peças e componentes utilizados em várias indústrias. Este estudo trata-se da construção e funcionamento de uma injetora manual de plástico, enfatizando sua relevância para pequenas produções e para o aprendizado prático, de maneira acessível, tendo o intuito de facilitar a produção de peças plásticas sem comprometer a preservação do meio ambiente e dando oportunidades para donos de pequenas empresas e artesões.

O projeto destaca-se muito pela sua eficiência em relação à prevenção da poluição do meio ambiente, visto que, no processo, resíduos plásticos que seriam descartados na natureza acabam sendo reutilizados para a formação de um novo recipiente.

A injetora de plástico é manuseada manualmente, são inseridos os resíduos plásticos no funil da máquina, onde o material será transportado até o cilindro e aquecido até derreter. Logo em seguida, o êmbolo empurra o material fundido para dentro de um molde de aço que é fechado, e a pressão é aplicada para a injeção do plástico. No último processo, a peça é resfriada e extraída do molde, formando assim um novo recipiente feito de maneira simples e sustentável. Como diversos outros projetos, a injetora manual de plásticos possui suas vantagens e desvantagens. Algumas vantagens incluem sua eficiência no processo de injeção do plástico; flexibilidade, por ser possível escolher a cor e o material da peça; produção rápida; design complexo, podendo ser produzidas peças simples e complexas; resistência, possibilitando alterar a densidade do plástico líquido durante sua injeção; e sustentabilidade, pelo fato de ser utilizado apenas o resíduo plástico para a fabricação da peça.

Por outro lado, suas desvantagens estão ligadas a acidentes no local de trabalho, podendo variar entre o esmagamento de mãos e braços durante o fechamento do molde e queimaduras provocadas pelo contato com o cilindro quando há a ausência de isolamento térmico. Devendo-se enfatizar que esses acidentes ocorrem justamente pela falta do uso de EPI's, o que não se encaixa na NR-6. Para que a máquina funcione corretamente e para prevenir esses riscos de acidentes, durante o manuseio é indispensável o uso de equipamentos de proteção individuais, como luvas resistentes ao calor, capacete, óculos de proteção, botas e um vestuário adequado.

ABSTRACT

accidents, it is crucial to use appropriate personal protective equipment during handling, such as heat-resistant gloves, helmets, safety goggles, boots, and adequate protective clothing. The injection of plastics began in the 18th century and has become a fundamental process in the manufacturing of parts and components used in various industries. This study focuses on the construction and operation of a manual plastic injection machine, emphasizing its relevance for small-scale production and practical learning in an accessible manner. It aims to facilitate the production of plastic parts while preserving the environment and creating opportunities for small business owners and artisans.

The project stands out for its efficiency in preventing environmental pollution, as it reuses plastic waste that would otherwise be discarded in nature to create new containers.

The manual plastic injection machine operates as follows: plastic waste is inserted into the machine's hopper, where the material is transported to the cylinder and heated until it melts. Subsequently, a rotating screw pushes the molten material into a steel mold that is closed, applying pressure for the plastic injection process. In the final stage, the part is cooled and removed from the mold, resulting in a new container made simply and sustainably.

Like many other projects, the manual plastic injection machine has its advantages and disadvantages. Some advantages include its efficiency in the plastic injection process; flexibility, as it allows the choice of color and material for the part; fast production; the ability to produce both simple and complex designs; durability, enabling adjustments to the density of the molten plastic during injection; and sustainability, as only plastic waste is used for the part's manufacturing.

On the other hand, its disadvantages are related to workplace accidents, ranging from hand and arm crushing during mold closure to burns caused by contact with the cylinder when thermal insulation is absent. It is essential to emphasize that these accidents occur mainly due to the lack of personal protective equipment (PPE), which does not comply with **NR-6** (Brazilian regulations for PPE use). To ensure proper machine operation and prevent

SUMÁRIO

RESUMO.....	5
ABSTRACT	6
INTRODUÇÃO.....	9
OBJETIVO	10
Geral	10
Específico.....	10
JUSTIFICATIVA.....	12
REVISÃO LITERÁRIA.....	13
História e Evolução das Máquinas de Injeção de Plásticos	13
História dos polímeros	13
Tipos de Polímeros e Suas Aplicações	13
Princípios de Funcionamento da Moldagem por Injeção.....	14
Sustentabilidade na Indústria do Plástico	14
DESENVOLVIMENTO.....	15
1. Estrutura e Componentes.....	15
2. Processo de Montagem e Funcionamento.....	15
3. Cálculos Técnicos	16
3.1 Cálculo da Força Exercida pelo Volante (Sistema Cremalheira-Pinhão)	16
3.2 Força de Injeção	16
3.3 Pressão de Injeção	16
3.4 Força de Fechamento.....	17
3.5 Tempo de Preenchimento	17
3.6 Tempo de Resfriamento.....	17
3.7 Cálculo da Compressão da Mola	17
3.8 Cálculo da Expansão Térmica do Canhão.....	18
3.9 Cálculo do Ciclo de Produção	18
3.10 Cálculo da Resistência Térmica e Resfriamento do Molde	18
3.11 Ergonomia e Altura de Operação	18
3.12 Cálculo de Custos	19
4. Segurança Operacional e Ergonomia	19
5. Sustentabilidade e Impacto Ambiental	19
6. Análise de Viabilidade Econômica.....	20
7. Testes e Validação	20
METODOLOGIA.....	21
1. Definição do Problema e dos Objetivos	21

2. Pesquisa e Levantamento de Dados	21
3. Modelagem e Simulação 3D.....	21
4. Seleção de Materiais e Componentes	21
5. Construção do Protótipo.....	22
6. Testes Experimentais	22
7. Análise de Dados	22
8. Segurança e Ergonomia	22
DISCUSSÕES	23
Eficiência Técnica.....	23
Viabilidade Econômica	23
Impacto Ambiental	23
Segurança e Ergonomia	23
Oportunidades de Melhoria	24
Relevância do Projeto	24
RESULTADOS	26
1. Desempenho Técnico.....	26
2. Ciclo de Produção.....	26
3. Qualidade das Peças Produzidas.....	26
4. Consumo Energético	26
5. Custo de Produção	26
6. Segurança e Ergonomia	27
7. Impacto Ambiental.....	27
CONCLUSÕES	28
REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA.....	29
ANEXOS.....	30
1. Croquis e Esquemas Técnicos.....	31
2. Lista de Materiais e Componentes	33
3. Fotos do Protótipo e Peças Produzidas	34
4. Resultados de Testes Experimentais.....	38
5. sequência do projeto até a conclusão	40

INTRODUÇÃO

O plástico, material que simboliza a modernidade remontou-se no final do século XIX, com a criação do primeiro plástico sintético, a baquelite, criado por Leo Baekeland, químico belga no ano de 1907. Revolucionou a forma como vivemos, oferecendo soluções versáteis e acessíveis para diversas aplicações. No entanto, a mesma característica que o tornou indispensável — sua durabilidade — tornou-se também uma preocupação global. Estima-se que milhões de toneladas de resíduos plásticos sejam descartados anualmente, de acordo com a UNEP (2023), a estimativa é de que apenas 9% do plástico produzido mundialmente desde 1950 foi reciclado, enquanto 9 milhões de toneladas são despejadas em oceanos todos os anos, o que acaba impactando gravemente os ecossistemas e ressaltando a urgência de práticas que promovam sua reutilização e reciclagem. Conforme as mudanças do plástico ao decorrer do tempo, se tornou necessária a prática de reutilização desses resíduos para a criação de novos recipientes, levando em consideração a redução da poluição causada pelos polímeros descartados na natureza.

A injetora manual surgiu no fim da primeira Revolução Industrial no século XVIII na Inglaterra, com o objetivo de formar novos componentes reutilizando resíduos plásticos e atender a grande demanda do setor industrial, que cresce cada vez mais, se tornando prática por possibilitar a junção de polipropileno (plástico que não foi reutilizado) com plásticos que estão sendo reutilizados.

A injeção de plásticos, amplamente utilizada em indústrias de pequeno e grande porte, é reconhecida pela sua eficiência em moldar peças com precisão e em altas quantidades. Apesar disso, o acesso a essa tecnologia ainda é limitado para pequenos empreendedores e cooperativas, devido ao elevado custo e à complexidade operacional das máquinas convencionais. Essa lacuna impede que uma parcela significativa da sociedade contribua de maneira efetiva para a economia circular, ampliando o desperdício e os desafios ambientais.

Diante desse cenário crítico, este trabalho propõe o desenvolvimento de uma injetora manual de plástico como uma solução prática, acessível e sustentável. O equipamento foi projetado para transformar resíduos plásticos em peças úteis e de qualidade, favorecendo a possibilidade de pequenos produtores, artesãos e cooperativas participarem ativamente do ciclo produtivo de maneira econômica e ambientalmente responsável.

Ao longo deste estudo, serão abordados os desafios técnicos enfrentados durante a concepção e construção do protótipo, os métodos utilizados para garantir sua eficiência e segurança, bem como os resultados obtidos. A injetora manual de plástico representa mais do que uma solução técnica: ela é um passo concreto na direção de um futuro onde a sustentabilidade, a inovação e a inclusão caminhem lado a lado. Este projeto não é apenas sobre transformar plástico; é sobre transformar possibilidades.

OBJETIVO

Geral

O objetivo geral deste trabalho é desenvolver e avaliar um protótipo de injetora manual de plástico que seja viável, técnica, econômica e ambientalmente, atendendo às necessidades de pequenas produções e promovendo a reciclagem de resíduos plásticos. A máquina foi projetada para oferecer uma solução acessível, capaz de transformar resíduos descartados em produtos reutilizáveis, contribuindo diretamente para a economia circular e a redução do impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de resíduos plásticos.

O projeto busca suprir uma lacuna significativa no mercado de equipamentos para pequenos empreendedores, cooperativas de reciclagem e artesãos, que frequentemente enfrentam dificuldades para adquirir máquinas de injeção convencionais decorrente do alto custo e à complexidade tecnológica. Dessa forma, a injetora manual proposta tem como finalidade democratizar o acesso a tecnologias de transformação de polímeros, proporcionando uma alternativa prática e eficiente para aqueles que necessitam de soluções em menor escala.

Além disso, o desenvolvimento do protótipo pretende ser uma ferramenta pedagógica valiosa, promovendo o aprendizado técnico por meio da integração entre teoria e prática. O trabalho envolve desde a escolha criteriosa dos materiais e componentes até a implementação de sistemas de segurança e ergonomia, garantindo que o equipamento seja funcional, seguro e de fácil manuseio para operadores iniciantes e experientes.

Outro ponto essencial deste objetivo é alimentar a conscientização ambiental ao demonstrar na prática como resíduos plásticos podem ser convertidos em novos produtos, valorizando o conceito de sustentabilidade e incentivando a reutilização de materiais que, de outra forma, poderiam poluir o meio ambiente. Dessa maneira, a injetora manual não apenas se posiciona como uma solução técnica, mas também como uma iniciativa com impacto social e ambiental, alinhada às demandas contemporâneas de inovação e responsabilidade socioambiental.

Por fim, o projeto pretende servir como base para futuras pesquisas e aprimoramentos no campo da injeção manual de plásticos, contribuindo para o desenvolvimento de tecnologias mais sustentáveis e acessíveis que possam beneficiar tanto pequenas iniciativas quanto grandes esforços de reciclagem e preservação ambiental.

Específico

Analisar os materiais e componentes necessários para a fabricação do protótipo: Realizar um estudo detalhado sobre os materiais recicláveis mais adequados, como polietileno (PE) e polipropileno (PP), e selecionar componentes que garantam o equilíbrio entre custo, desempenho e durabilidade do equipamento.

Projetar e construir o protótipo: Desenvolver o design da injetora manual utilizando softwares de modelagem 3D, como Autodesk Inventor ou SolidWorks, para criar um modelo funcional e otimizar a interação entre suas partes mecânicas e térmicas.

Garantir a eficiência no processo de injeção: Ajustar os parâmetros operacionais, como temperatura e pressão, para que o equipamento seja capaz de processar resíduos plásticos com consistência, minimizando perdas e otimizando a qualidade das peças injetadas.

Avaliar a segurança operacional: Identificar os principais riscos associados ao uso do protótipo, como queimaduras e esmagamentos, e propor soluções práticas para mitigá-los, incluindo o uso de isolamento térmico, barreiras de proteção e recomendação de EPIs, em conformidade com as normas regulamentadoras (NR-6 e NR-12).

Promover a ergonomia do equipamento: Propor ajustes no design e na altura da máquina para proporcionar conforto durante o manuseio, garantindo que operadores de diferentes biotipos possam utilizá-la com facilidade e segurança.

Realizar testes experimentais: Validar o desempenho do protótipo por meio de testes que avaliem a qualidade das peças produzidas, eficiência energética, tempo de ciclo e comportamento em diferentes condições de operação.

Fomentar a sustentabilidade e a economia circular: Demonstrar, por meio de exemplos práticos, como a reutilização de resíduos plásticos pode ser aplicada de forma eficaz no equipamento, incentivando práticas sustentáveis entre os usuários.

Divulgar os resultados do projeto: Compartilhar os aprendizados e os resultados obtidos em eventos acadêmicos, feiras de inovação ou por meio de plataformas digitais, ampliando o impacto social e ambiental do projeto e incentivando a replicação da ideia em outros contextos.

Propor melhorias para futuras versões do equipamento: Identificar oportunidades de aprimoramento, como automação parcial, inclusão de sensores para monitoramento em tempo real e adaptação para processar bioplásticos, visando ampliar a funcionalidade e o alcance da injetora manual.

Esses objetivos específicos buscam garantir que o projeto atenda a um alto padrão técnico, alinhando inovação e sustentabilidade para criar um equipamento acessível e funcional, com impacto positivo na sociedade e no meio ambiente.

JUSTIFICATIVA

O crescente impacto ambiental causado pelo descarte inadequado de resíduos plásticos é uma das principais preocupações globais da contemporaneidade. Esses materiais, que representam uma solução prática e durável na indústria, frequentemente acabam sendo descartados em aterros ou, pior, na natureza, levando décadas para se decompor e gerando poluição que afeta diretamente ecossistemas terrestres e aquáticos. Diante desse cenário, torna-se urgente buscar soluções que aliem inovação tecnológica à sustentabilidade ambiental, promovendo a reutilização do plástico descartado de forma prática e eficiente.

O desenvolvimento de uma injetora manual de plástico apresenta-se como uma resposta a essa necessidade, por ser difundido em escala industrial, possibilitando a transformação de resíduos plásticos em novos produtos, o equipamento não apenas reduz o desperdício, mas também incentiva práticas de economia circular. Pequenas produções, como as realizadas por artesãos e cooperativas de reciclagem, podem se beneficiar grandemente de uma solução acessível e funcional, que, até então, era inviável devido ao alto custo e à complexidade dos equipamentos industriais disponíveis no mercado.

Além dos devidos fatores citados, o projeto tem relevância educacional e social. Em cursos técnicos e programas de aperfeiçoamento, a injetora manual pode servir como uma ferramenta pedagógica que permite aos estudantes compreenderem de uma maneira melhor na prática, os processos de transformação de polímeros, o funcionamento de sistemas mecânicos e térmicos e os princípios da sustentabilidade. Essa abordagem prática contribui para a formação de profissionais mais preparados para enfrentar os desafios da indústria contemporânea.

Por outro lado, há também um importante impacto econômico. Pequenos empresários e cooperativas muitas vezes enfrentam limitações financeiras e operacionais para investir em equipamentos industriais. A injetora manual proposta neste trabalho, por ser de baixo custo e simples de operar, democratiza o acesso a essa tecnologia, fomentando o empreendedorismo e gerando oportunidades de renda para comunidades menos favorecidas.

O projeto também se alinha às metas globais de desenvolvimento sustentável, especialmente aquelas relacionadas ao consumo e produção responsáveis (ODS 12) e à ação contra a mudança global do clima (ODS 13). Ao fazer a reutilização de resíduos plásticos e reduzir o consumo de energia em comparação com máquinas industriais convencionais, a injetora manual promove a sustentabilidade de maneira prática e mensurável.

Este trabalho é amplamente justificado pela sua abordagem integrada, que combina inovação, acessibilidade e sustentabilidade para oferecer uma solução concreta aos desafios ambientais e sociais da atualidade. A injetora manual de plástico é a representação da oportunidade de transformar um problema — o desperdício plástico — em uma solução viável, acessível e sustentável, com benefícios diretos para o meio ambiente, a economia e a educação técnica.

REVISÃO LITERÁRIA

História e Evolução das Máquinas de Injeção de Plásticos

A evolução da humanidade, desde seus primórdios, está intimamente ligada à capacidade do Homem em criar alternativas para garantir sua sobrevivência e melhorar seu conforto de vida (Dr. Elias Hage, 2010). A moldagem por injeção de peças plásticas surgiu no final do século XIX, quando John Wesley Hyatt patenteou a primeira máquina injetora em 1872. No início, essas máquinas tinham princípios básicos, contendo pistões simples que empurravam o plástico derretido para dentro de um molde de metal. A tecnologia evoluiu significativamente nas décadas seguintes, com a inserção de plásticos sintéticos como a baquelite em 1900 e a expansão das aplicações industriais durante a Segunda Guerra Mundial. Nas décadas de 1950 e 1960, as máquinas de injeção tornaram-se mais sofisticadas, incorporando sistemas hidráulicos para aumentar a pressão e a eficiência do processo de injeção. Mais tarde, na década de 1990, os avanços na automação digital possibilitaram a criação de máquinas controladas por computador, melhorando a precisão e a repetibilidade do processo. Apesar desse progresso, as máquinas automatizadas permaneceram fora do alcance dos pequenos empresários devido ao alto custo de aquisição e operação. As máquinas injetoras manuais, por outro lado, continuam sendo uma alternativa viável para pequenas tiragens de produção, oferecendo flexibilidade e baixo custo. Seu design mais simplificado, sem sistemas hidráulicos ou automáticos, mantém relevância em aplicações que não exigem alta produtividade, como cooperativas de reciclagem e produções artesanais.

História dos polímeros

A exploração de polímeros teve início no século XIX. Um dos principais polímeros sintéticos foi a baquelite, criada em 1907 por Leo Baekeland, este foi o primeiro plástico completamente sintético, marcando uma revolução na indústria ao possibilitar a produção em massa de objetos moldados e eletrônicos.

Na década de 1930, teve um avanço significativo na composição dos polímeros com a descoberta de novos materiais, sendo um deles o nylon, material desenvolvido por Wallace Carothers, e o poliestireno. Essas inovações deram início a uma nova era nos plásticos, que começaram a substituir materiais tradicionais, como o vidro e o metal, em várias aplicações.

Logo depois da Segunda Guerra Mundial, a fabricação desse material disparou, com a chegada de plásticos como o PVC (cloreto de polivinila), polietileno e polipropileno. Esses polímeros se tornaram essenciais para a indústria, por conta da sua versatilidade, durabilidade e muito baixo custo.

Tipos de Polímeros e Suas Aplicações

Os polímeros são classificados em naturais e sintéticos:

Polímeros Naturais: Incluem materiais como celulose, encontrada em paredes celulares de plantas, e proteínas como o colágeno. São amplamente utilizados em têxteis e biotecnologia.

Polímeros Sintéticos: Criados em laboratório, abrangem materiais como:

Polietileno (PE): Utilizado em embalagens e garrafas.

Polipropileno (PP): Comum em recipientes plásticos e móveis.

Poliestireno (PS): Aplicado em descartáveis e isolantes térmicos.

A escolha do polímero tem influência direta no desempenho do processo de injeção e a qualidade das peças produzidas, sendo um fator indispensável no design da injetora manual.

Princípios de Funcionamento da Moldagem por Injeção

O processo de moldagem por injeção envolve as seguintes etapas:

Preparação do Material: O polímero granulado ou triturado é inserido no funil da máquina.

Aquecimento: O material é derretido em um cilindro aquecido por resistências controlado pelo operador da máquina, alcançando o estado fluido necessário para a injeção.

Injeção: O polímero derretido é forçado para dentro de um molde fechado, preenchendo a cavidade correspondente ao formato desejado da peça.

Resfriamento e Solidificação: O molde é resfriado, permitindo que o material solidifique e assumo o formato final.

Extração da Peça: Após a solidificação, o molde é aberto e a peça é removida.

Esses princípios são aplicáveis tanto em máquinas industriais quanto em injetoras manuais, sendo adaptados de acordo com a escala e os recursos disponíveis.

Sustentabilidade na Indústria do Plástico

A necessidade de reduzir o impacto ambiental causado pelo descarte inadequado do plástico e pela sua produção em excesso trouxe à tona o conceito de economia circular, que visa reutilizar materiais descartados para criar novos produtos. As injetoras manuais desempenham um papel importante nesse contexto, permitindo que resíduos plásticos sejam reciclados localmente com baixo custo e mínima infraestrutura. Além disso, promovem a conscientização sobre o valor dos resíduos plásticos, incentivando práticas sustentáveis tanto na indústria quanto em comunidades, passando a idéia de que através de componentes plásticos que seriam descartados, podemos criar novos recipientes, fazendo uso do mesmo.

DESENVOLVIMENTO

O desenvolvimento deste projeto envolveu uma abordagem multidisciplinar, incluindo conhecimentos de engenharia mecânica, termodinâmica, materiais poliméricos e sustentabilidade ambiental. A seguir, será detalhado cada etapa do processo, desde a escolha e design do protótipo até a realização de cálculos técnicos e a análise da ergonomia e segurança.

1. Estrutura e Componentes

A injetora manual de plástico desenvolvida neste projeto foi projetada para ser simples, eficiente e acessível, utilizando componentes facilmente disponíveis e materiais recicláveis sempre que possível. A estrutura básica da máquina compreende os seguintes componentes principais:

Funil de Alimentação: Local onde os resíduos plásticos são inseridos manualmente. O funil direciona o material para o cilindro de aquecimento.

Resistência (Coleira Mica): Elemento responsável pelo aquecimento do plástico até seu ponto de fusão. A coleira mica oferece resistência térmica eficiente, garantindo um aquecimento uniforme.

Cilindro/ Canhão de Injeção: Câmara onde o plástico é derretido. O cilindro é fabricado em aço inoxidável para resistir às altas temperaturas e facilitar a limpeza.

Bico de Injeção: Canal de saída do material derretido, direcionando-o para o molde fechado.

Êmbolo/bico do pistão: é o que empurra o plástico derretido e introduzido no molde. Projetada para garantir um fluxo contínuo e homogêneo do material.

Cremalheira/haste do pistão: Conecta o êmbolo ao sistema de controle manual, permitindo a aplicação de pressão durante a injeção.

Molde/Cavidade: Espaço moldado que define a forma final da peça injetada. Fabricados em aço para garantir durabilidade e precisão dimensional.

Placas do Molde: Estruturas que suportam a cavidade e asseguram o fechamento hermético durante o processo de injeção.

Controlador de Temperatura: Dispositivo que permite o ajuste preciso da temperatura de aquecimento, garantindo a consistência do material derretido.

Termopar: Sensor responsável pela leitura e monitoramento da temperatura dentro do cilindro, fornecendo dados ao controlador.

Botão Liga/Desliga: Interface simples para iniciar e interromper o funcionamento da máquina. A escolha dos materiais e componentes considerou a durabilidade, a facilidade de manutenção e o custo-benefício, garantindo que a injetora manual seja uma solução viável para pequenos produtores e cooperativas de reciclagem.

2. Processo de Montagem e Funcionamento

A montagem da injetora manual de plástico seguiu um processo sistemático, dividindo-se nas seguintes etapas:

Preparação dos Componentes: Todos os componentes foram selecionados e preparados cuidadosamente, incluindo a verificação de suas especificações técnicas e a preparação das peças metálicas necessárias para a estrutura.

Montagem da Estrutura Principal: A base da máquina foi construída utilizando perfis de aço galvanizado, garantindo estabilidade e resistência estrutural. As partes móveis foram fixadas com precisão para minimizar vibrações e garantir o alinhamento adequado.

Instalação do Sistema de Aquecimento: A coleira mica foi instalada no cilindro, conectada ao controlador de temperatura e ao termopar. O sistema de aquecimento foi calibrado para alcançar e manter a temperatura ideal para a fusão do plástico.

Configuração do Pistão de Injeção: A haste do pistão foi montada e conectada ao sistema de controle manual, permitindo a aplicação de pressão necessária para a injeção do material no molde.

Montagem dos Moldes: Os moldes foram fixados na estrutura da máquina, assegurando o fechamento hermético durante o processo de injeção.

Teste de Funcionamento Inicial: Após a montagem, a máquina foi submetida a testes preliminares para verificar o correto funcionamento dos sistemas de aquecimento, injeção e resfriamento. Ajustes finos foram realizados para otimizar o desempenho.

O funcionamento da injetora manual envolve a inserção manual dos resíduos plásticos no funil, o aquecimento do material até sua fusão no cilindro, e a aplicação manual de pressão através do pistão para injetar o plástico derretido no molde. Após a injeção, a peça é resfriada e removida do molde, completando o ciclo de produção.

3. Cálculos Técnicos

Para garantir a eficiência e a viabilidade técnica do protótipo, diversos cálculos foram realizados, abrangendo força, pressão, tempo de ciclo, resistência térmica e custos operacionais.

A seguir, apresentamos os principais cálculos efetuados:

3.1 Cálculo da Força Exercida pelo Volante (Sistema Cremalheira-Pinhão)

Parâmetros:

Diâmetro do volante: 170 mm (0,17 m)

Adaptação de cremalheira de balancim: 100 kgf \approx 981 N

Razão de transmissão do pinhão: 1:5

Cálculo: O torque necessário para exercer a força no pinhão é dado por:

$$\begin{aligned} \text{Torque} &= \text{Força} \times \text{Raio do volante} \times \text{Razão de transmissão} = 981 \text{ N} \times 0,085 \text{ m} \\ &= 16,7 \text{ Nm} \\ \text{Torque} &= \frac{\text{Força} \times \text{Raio do volante}}{\text{Razão de transmissão}} = \frac{981 \text{ N} \times 0,085 \text{ m}}{5} \\ &= 16,7 \text{ Nm} \\ \text{Torque} &= \text{Razão de transmissão} \times \text{Força} \times \text{Raio do volante} \\ &= 5981 \text{ N} \times 0,085 \text{ m} = 16,7 \text{ Nm} \end{aligned}$$

3.2 Força de Injeção

Parâmetros:

Diâmetro do volante (D): 170 mm (0,17 m)

Força máxima aplicada pelo operador ($F_{\text{mão}}$): 100 N

Raio do pinhão ($R_{\text{pinhão}}$): 20 mm (0,02 m)

Relação de transmissão: 3x

Cálculo: A força de injeção gerada é:

$$\begin{aligned} F_{\text{inj}} &= F_{\text{mão}} \times \text{Multiplicador de força} = 100 \text{ N} \times 3 = 300 \text{ N} \\ &= F_{\text{mão}} \times \text{Multiplicador de força} = 100 \text{ N} \times 3 = 300 \text{ N} \\ &= F_{\text{mão}} \times \text{Multiplicador de força} = 100 \text{ N} \times 3 = 300 \text{ N} \end{aligned}$$

(Nota: Os valores apresentados anteriormente foram ajustados para refletir um sistema mais realista.)

3.3 Pressão de Injeção

Parâmetros:

Força de injeção (F_{inj}): 1.275 N

Diâmetro interno do canhão (d): 20 mm (0,02 m)

Cálculo: A área da seção transversal do canhão é:

$$A = \pi(d/2)^2 = \pi \times (0,01 \text{ m})^2 = 3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

$$A = \pi(2d)^2 = \pi \times (0,01 \text{ m})^2 = 3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2$$

A pressão de injeção é:

$$P = F_{inj} / A = 1.275 \text{ N} / 3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \approx 4,06 \text{ MPa}$$

$$P = F_{inj} / A = 1.275 \text{ N} / 3,14 \times 10^{-4} \text{ m}^2 \approx 4,06 \text{ MPa}$$

3.4 Força de Fechamento

Parâmetros:

Área projetada total (A_{total}): $7200 \text{ mm}^2 = 0,0072 \text{ m}^2$

Pressão de injeção (P_{inj}): $4,06 \text{ MPa} = 4.060.000 \text{ Pa}$

Fator de segurança (f_{seg}): 1,5

Cálculo: A força de fechamento necessária é:

$$F_{fech} = P_{inj} \times A_{total} \times f_{seg} = 4.060.000 \text{ Pa} \times 0,0072 \text{ m}^2 \times 1,5$$

$$\approx 43.788 \text{ N} (\approx 43,8 \text{ kN})$$

$$F_{fech} = P_{inj} \times A_{total} \times f_{seg}$$

$$= 4.060.000 \text{ Pa} \times 0,0072 \text{ m}^2 \times 1,5 \approx 43.788 \text{ N} (\approx 43,8 \text{ kN})$$

$$F_{fech} = P_{inj} \times A_{total} \times f_{seg} = 4.060.000 \text{ Pa} \times 0,0072 \text{ m}^2 \times 1,5$$

$$\approx 43.788 \text{ N} (\approx 43,8 \text{ kN})$$

3.5 Tempo de Preenchimento

Parâmetros:

Volume total (V_{total}): $28.800 \text{ mm}^3 = 0,0000288 \text{ m}^3$

Área da seção transversal (A_{canal}): $0,0000283 \text{ m}^2$

Velocidade de injeção (v): $0,05 \text{ m/s}$

Cálculo: O tempo de preenchimento é:

$$t = V_{total} / (A_{canal} \times v) = 0,0000288 \text{ m}^3 / (0,0000283 \text{ m}^2 \times 0,05 \text{ m/s}) \approx 20,3 \text{ st}$$

$$= \frac{0,0000288 \text{ m}^3}{0,0000283 \text{ m}^2 \times 0,05 \text{ m/s}} \approx 20,3 \text{ st} = A_{canal} \times v \times t_{total}$$

$$= 0,0000283 \text{ m}^2 \times 0,05 \text{ m/s} \times 20,3 \text{ s} \approx 0,000288 \text{ m}^3 \approx 20,3 \text{ s}$$

3.6 Tempo de Resfriamento

Parâmetros:

Espessura da peça (t): $4 \text{ mm} = 0,004 \text{ m}$

Temperatura de fusão ($T_{fusão}$): 230°C

Temperatura de desmoldagem ($T_{desmold}$): 70°C

Temperatura do molde (T_{molde}): 25°C

Difusividade térmica (α): $1,2 \times 10^{-5} \text{ m}^2/\text{s}$

Cálculo: O tempo de resfriamento aproximado é:

$$t = \frac{t^2}{\alpha} \ln \left(\frac{T_{fusão} - T_{molde}}{T_{desmold} - T_{molde}} \right) \approx 9,5 \text{ st}$$

$$= \frac{t^2}{\alpha} \ln \left(\frac{T_{fusão} - T_{molde}}{T_{desmold} - T_{molde}} \right) \approx 9,5 \text{ st}$$

$$= \alpha \times t^2 \times \ln \left(\frac{T_{desmold} - T_{molde}}{T_{fusão} - T_{molde}} \right) \approx 9,5 \text{ s}$$

3.7 Cálculo da Compressão da Mola

Parâmetros:

Mola de compressão: diâmetro externo 20 mm, fio de 2,5 mm

Comprimento livre: 40 mm

Constante elástica (k): 15 N/mm

Cálculo: A força necessária para comprimir a mola:

$$F = k \times \Delta x = 15 \text{ N/mm} \times 10 \text{ mm} = 150 \text{ N} = k \times \Delta x = 15 \text{ N/mm} \times 10 \text{ mm} = 150 \text{ N} \\ = k \times \Delta x = 15 \text{ N/mm} \times 10 \text{ mm} = 150 \text{ N}$$

3.8 Cálculo da Expansão Térmica do Canhão

Parâmetros:

Material: Aço inox

Comprimento do canhão: 120 mm = 0,12 m

Temperatura inicial: 25°C

Temperatura de operação: 300°C

Coefficiente de dilatação térmica (α): $16 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$

Cálculo: A variação de comprimento:

$$\Delta L = L_0 \times \alpha \times \Delta T = 0,12 \text{ m} \times 16 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \times 275 ^\circ\text{C} \approx 0,528 \text{ mm} \\ \Delta L = L_0 \times \alpha \times \Delta T \\ = 0,12 \text{ m} \times 16 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \times 275 ^\circ\text{C} \approx 0,528 \text{ mm} \\ \Delta L = L_0 \times \alpha \times \Delta T \\ = 0,12 \text{ m} \times 16 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C} \times 275 ^\circ\text{C} \approx 0,528 \text{ mm}$$

3.9 Cálculo do Ciclo de Produção

Parâmetros:

Tempo de injeção: 30 segundos

Tempo de resfriamento: 60 segundos

Tempo de extração e preparação: 30 segundos

Número de cavidades no molde: 4

Cálculo: O ciclo total por peça:

$$t_{total} = t_{injec,\tilde{a}o} + t_{resfriamento} + t_{extrac,\tilde{a}o} = 30 \text{ s} + 60 \text{ s} + 30 \text{ s} = 120 \text{ s} \\ t_{total} = t_{injec,\tilde{a}o} + t_{resfriamento} + t_{extrac,\tilde{a}o} = 30 \text{ s} + 60 \text{ s} + 30 \text{ s} = 120 \text{ s} \\ t_{total} = t_{injec,\tilde{a}o} + t_{resfriamento} + t_{extrac,\tilde{a}o} = 30 \text{ s} + 60 \text{ s} + 30 \text{ s} = 120 \text{ s}$$

Produção por hora:

$$Peças/hora = \frac{3600 \text{ s/h}}{120 \text{ s/ciclo}} \times 4 = 120 \text{ peças/hora} \\ Peças/hora = \frac{3600 \text{ s/h}}{120 \text{ s/ciclo}} \times 4 = 120 \text{ peças/hora} \\ Peças/hora = \frac{3600 \text{ s/h}}{120 \text{ s/ciclo}} \times 4 = 120 \text{ peças/hora}$$

3.10 Cálculo da Resistência Térmica e Resfriamento do Molde

Parâmetros:

Material: Aço 1045 (condutividade térmica $k = 50 \text{ W/m}\cdot\text{K}$)

Diâmetro dos canais de resfriamento: 6 mm = 0,006 m

Comprimento dos canais: 100 mm = 0,1 m

Temperatura de operação: 300°C

Temperatura de entrada da água: 25°C

Cálculo: A taxa de dissipação de calor (Q) é dada por:

$$Q = k \times A \times \frac{\Delta T}{L} = 50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \times \pi \times (0,003 \text{ m})^2 \times \frac{(300 - 25) ^\circ\text{C}}{0,1 \text{ m}} \\ \approx 390,1 \text{ W} \\ Q = \frac{k \times A \times \Delta T}{L} = \frac{50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \times \pi \times (0,003 \text{ m})^2 \times (300 - 25) ^\circ\text{C}}{0,1 \text{ m}} \\ \approx 390,1 \text{ W} \\ Q = Lk \times A \times \Delta T \\ = 0,1 \text{ m} \times 50 \text{ W/m}\cdot\text{K} \times \pi \times (0,003 \text{ m})^2 \times (300 - 25) ^\circ\text{C} \approx 390,1 \text{ W}$$

3.11 Ergonomia e Altura de Operação

A ergonomia é fundamental para garantir a segurança e o conforto do operador durante o uso prolongado da injetora manual. Considerando a altura média do operador (1,70 m) e a altura da máquina (1,40 m), a diferença de 30 cm posiciona o volante na altura do peito, proporcionando um controle confortável e reduzindo a fadiga muscular. Ajustes adicionais, como inclinação do volante e posição dos controles, foram considerados para otimizar a postura do operador e facilitar a operação.

3.12 Cálculo de Custos

Custo de Energia Elétrica:

Potência (P): 1.000 W

Tensão (V): 220 V

Corrente (I): 4,55 A

Tempo de operação: 1 hora

Custo por kWh: R\$ 0,50

$$\begin{aligned} \text{Consumo} &= P \times t = 1.000 \text{ W} \times 1 \text{ h} = 1 \text{ kWh} \\ \text{Consumo} &= P \times t = 1.000 \text{ W} \times 1 \text{ h} = 1 \text{ kWh} \\ \text{Custo} &= 1 \text{ kWh} \times 0,50/\text{kWh} = 0,50 \\ \text{Custo} &= 1 \text{ kWh} \times R 0,50/\text{kWh} \\ &= R 0,50 \\ \text{Custo} &= 1 \text{ kWh} \times 0,50/\text{kWh} = 0,50 \end{aligned}$$

Custo do Material (PE e PP):

Consumo por peça: 0,02 kg

Custo do material: R\$ 10/kg

$$\begin{aligned} \text{Custo por peça} &= 0,02 \text{ kg} \times 10/\text{kg} = 0,20 \\ \text{Custo por peça} &= 0,02 \text{ kg} \times R 10/\text{kg} \\ &= R 0,20 \\ \text{Custo por peça} &= 0,02 \text{ kg} \times 10/\text{kg} = 0,20 \\ \text{Custo total por peça} &= 0,50 + 0,20 = 0,70 \\ \text{Custo total por peça} &= R 0,50 + R 0,20 \\ &= R 0,70 \end{aligned}$$

4. Segurança Operacional e Ergonomia

A segurança operacional é um aspecto crítico no design de qualquer equipamento industrial. Para a injetora manual de plástico, foram implementadas diversas medidas para minimizar riscos de acidentes, tais como:

Isolamento Térmico: Componentes expostos ao calor foram revestidos com materiais isolantes, reduzindo o risco de queimaduras.

Barreiras de Proteção: Estruturas físicas foram adicionadas para proteger o operador das partes móveis e das áreas de alta temperatura.

EPIs (Equipamentos de Proteção Individual): Recomenda-se o uso de luvas térmicas, óculos de proteção e aventais durante a operação da máquina.

Design Ergonômico: A altura e a disposição dos controles foram projetadas para facilitar o uso confortável e seguro, reduzindo a fadiga e prevenindo lesões por esforços repetitivos.

5. Sustentabilidade e Impacto Ambiental

A injetora manual de plástico desenvolvida neste projeto não apenas oferece uma solução técnica para a produção de peças plásticas, mas também promove a sustentabilidade ambiental. Ao utilizar resíduos plásticos como matéria-prima, a máquina contribui para a redução do volume de plástico descartado, reduzindo seu impacto negativo nos ecossistemas.

Além disso, a máquina se conjuga aos princípios da economia circular, incentivando a reutilização e a reciclagem de materiais plásticos. Essa abordagem não apenas preserva recursos naturais, mas também diminui a necessidade de produção de novos plásticos, reduzindo a emissão de gases de efeito estufa que estão associadas à fabricação de polímeros sintéticos.

6. Análise de Viabilidade Econômica

A análise de viabilidade econômica demonstrou que a injetora manual de plástico é uma opção muito acessível para pequenos produtores e artesões. Com um custo médio de R\$ 0,70 por peça, incluindo energia e matéria-prima, a máquina se mostra competitiva em relação a alternativas industriais mais caras. Essa viabilidade econômica abre portas para a adoção da tecnologia por cooperativas de reciclagem e empreendedores individuais, fomentando o desenvolvimento local e a geração de empregos.

7. Testes e Validação

O protótipo foi submetido a uma série de testes para validar sua eficiência e eficácia:

Testes de Produção: Foram injetadas diversas peças plásticas para avaliar a consistência e a qualidade das moldagens. As peças apresentaram boa uniformidade e acabamento, com mínima ocorrência de defeitos.

Testes de Eficiência Energética: O consumo energético foi monitorado durante as operações, confirmando a eficiência prevista nos cálculos.

Testes de Segurança: Simulações de operação segura foram realizadas para garantir que as medidas de proteção e ergonomia funcionassem conforme o esperado, minimizando riscos para o operador.

Os resultados dos testes confirmaram que o protótipo atende aos objetivos estabelecidos, demonstrando ser uma solução viável e sustentável para pequenas produções de peças plásticas.

METODOLOGIA

O desenvolvimento da injetora manual de plástico foi estruturado cautelosamente em etapas bem definidas, que incluíram desde a pesquisa inicial até a validação do protótipo. Essa abordagem metodológica teve como objetivo assegurar a viabilidade técnica, econômica e ambiental do equipamento, garantindo que ele atendesse aos objetivos propostos.

1. Definição do Problema e dos Objetivos

Inicialmente, foi identificada a necessidade de criar um equipamento acessível e funcional para a produção de peças plásticas em pequena escala, utilizando resíduos plásticos como matéria-prima. Os objetivos foram estabelecidos com base em critérios como sustentabilidade, eficiência e custo reduzido, pensado justamente para pequenos empreendedores.

2. Pesquisa e Levantamento de Dados

Foi realizada uma revisão bibliográfica sobre:

O processo de moldagem por injeção de plásticos.

Propriedades e características dos polímeros mais utilizados, como polietileno (PE) e polipropileno (PP).

Componentes mecânicos, elétricos e térmicos essenciais para o funcionamento da injetora.

Normas de segurança aplicáveis, como NR-12 e NR-6, para garantir a operação segura do equipamento.

Além disso, foram analisados estudos e projetos semelhantes de injetoras manuais, identificando soluções técnicas e desafios enfrentados.

3. Modelagem e Simulação 3D

Com base nos dados coletados, iniciou-se a modelagem do protótipo utilizando softwares de design 3D, como Autodesk Inventor e SolidWorks.

Etapas realizadas:

Criação do modelo completo do equipamento, incluindo componentes como cilindro, molde, volante e sistema de aquecimento.

Simulação de interações mecânicas, como o movimento do volante e da cremalheira, para verificar a eficiência do sistema de injeção.

Análise do fluxo de polímeros no cilindro e no molde, utilizando softwares de simulação térmica e de fluidez, como Fusion 360.

As simulações permitiram prever ajustes no design antes da fabricação, minimizando custos e otimizando o desempenho.

4. Seleção de Materiais e Componentes

Os materiais e componentes foram escolhidos com base em critérios de custo, durabilidade e disponibilidade. As principais escolhas incluem:

Cilindro de aço inoxidável: Para suportar altas temperaturas sem deformação.

Resistência coleira mica: Capaz de fornecer calor uniforme ao cilindro.

Termopar tipo K e controlador de temperatura REX C100: Para garantir o controle preciso da fusão do polímero.

Molde de aço 1045: Projetado para otimizar o resfriamento e reduzir o tempo de ciclo.

Sistema mecânico de cremalheira e volante: Dimensionado para gerar a força necessária para a injeção manual.

5. Construção do Protótipo

A montagem do protótipo foi realizada em uma oficina equipada, seguindo as etapas abaixo:
Fabricação e ajuste do cilindro e do bico de injeção.

Instalação do sistema de aquecimento e controle térmico.

Montagem do sistema mecânico de cremalheira e volante.

Instalação do molde e dos canais de resfriamento.

Conexão dos componentes elétricos e teste inicial dos circuitos.

6. Testes Experimentais

Após a construção, foram realizados testes para validar o desempenho do protótipo. Os testes envolveram:

Controle de temperatura: Avaliação da capacidade do sistema de aquecimento em manter a fusão uniforme do material plástico entre 230°C e 300°C.

Força de injeção: Medição da força gerada pelo operador e sua eficácia no preenchimento completo do molde.

Qualidade das peças: Análise visual e dimensional para identificar defeitos, como rebarbas ou falhas de preenchimento.

Tempo de ciclo: Determinação do tempo necessário para completar o processo de injeção, resfriamento e extração da peça.

Consumo energético: Monitoramento do gasto energético por ciclo, verificando a eficiência do sistema.

7. Análise de Dados

Os dados obtidos nos testes foram organizados em tabelas e gráficos, permitindo comparações com as expectativas iniciais. Identificaram-se os pontos fortes do protótipo, como eficiência energética e qualidade das peças, e foram feitas sugestões para melhorias futuras, como otimização do resfriamento do molde.

8. Segurança e Ergonomia

A segurança foi priorizada ao longo do projeto, com o uso de isolamento térmico no cilindro e instalação de barreiras físicas para evitar acidentes. A ergonomia foi avaliada com base na altura e na força necessária para operar o volante, garantindo que o equipamento fosse confortável para operadores de diferentes biotipos.

Essa metodologia estruturada garantiu que o desenvolvimento do protótipo fosse conduzido de forma organizada e eficiente, resultando em um equipamento funcional, seguro e alinhado aos objetivos técnicos e ambientais do projeto.

DISCUSSÕES

Os resultados obtidos com o protótipo da injetora manual de plástico foram analisados cautelosamente em relação aos objetivos inicialmente estabelecidos, considerando aspectos técnicos, econômicos, ambientais e operacionais. Durante o desenvolvimento e a execução dos testes, foram identificados pontos de sucesso e desafios que evidenciaram o potencial e as limitações do equipamento.

Eficiência Técnica

A injetora demonstrou ser funcional, cumprindo os requisitos técnicos essenciais para a moldagem de peças plásticas. O controle de temperatura, com variações mínimas de $\pm 5^{\circ}\text{C}$, garantiu a fusão uniforme dos polímeros utilizados, como polietileno (PE) e polipropileno (PP). O sistema mecânico, composto por volante e cremalheira, gerou a força de injeção necessária para preencher completamente as cavidades do molde, produzindo peças com dimensões consistentes e acabamento adequado.

Apesar dos resultados positivos, verificou-se que o sistema de resfriamento poderia ser mais eficiente. Embora tenha atendido às demandas de peças simples, peças de maior complexidade ou espessura demandariam melhorias para reduzir o tempo de ciclo.

Viabilidade Econômica

O custo médio de produção por peça foi de R\$ 0,22, considerando consumo energético e utilização de resíduos plásticos como matéria-prima. Esse valor é significativamente inferior ao custo de produção em máquinas industriais, reforçando a proposta de um equipamento acessível para pequenos empreendedores.

Além disso, o baixo custo de fabricação do protótipo, aliado à simplicidade de operação, torna a injetora manual uma alternativa economicamente viável para cooperativas de reciclagem e artesãos que desejam iniciar ou expandir suas atividades com um investimento reduzido.

Impacto Ambiental

O projeto evidenciou o potencial de reaproveitamento de resíduos plásticos para a fabricação de novos produtos, alinhando-se às metas globais de sustentabilidade e economia circular. A utilização de plásticos descartados não apenas contribuiu para a redução do impacto ambiental, mas também demonstrou que o conceito de reciclagem pode ser aplicado de forma prática e econômica.

Entretanto, destacou-se a importância de conscientizar futuros usuários quanto à seleção e preparo dos resíduos plásticos, garantindo que os materiais estejam adequados ao processo de injeção para evitar defeitos nas peças ou danos ao equipamento.

Segurança e Ergonomia

A segurança do equipamento foi avaliada de acordo com as normas regulamentadoras (NR-6 e NR-12), demonstrando que o isolamento térmico e as barreiras físicas implementadas foram eficazes para prevenir acidentes. No entanto, o uso correto de EPIs, como luvas e óculos de proteção, é indispensável para evitar queimaduras e outros riscos associados ao manuseio de equipamentos de alta temperatura.

Quanto à ergonomia, o design do volante e a altura ajustada da máquina mostraram-se adequados para operadores de diferentes biotipos. No entanto, para operadores que necessitem

realizar ciclos longos, ajustes adicionais, como a redução do esforço necessário para girar o volante, podem ser considerados.

Oportunidades de Melhoria

Embora o protótipo tenha cumprido os objetivos principais, foram identificadas oportunidades para aprimoramento em versões futuras:

Otimização do Sistema de Resfriamento: Adicionar um sistema mais eficiente, como resfriamento por água em circuito fechado, para reduzir o tempo de solidificação das peças.

Monitoramento em Tempo Real: Incorporar sensores de pressão e temperatura para fornecer maior controle e precisão ao operador.

Diversificação de Materiais: Adaptar o equipamento para processar materiais alternativos, como bioplásticos, ampliando seu impacto ambiental positivo.

Automação Parcial: Avaliar a inclusão de mecanismos semiautomáticos para aumentar a produtividade sem comprometer a simplicidade do equipamento.

Relevância do Projeto

O protótipo desenvolvido não apenas demonstrou ser tecnicamente viável, mas também fez jus à importância de soluções acessíveis para promover a inclusão de pequenos empreendedores na cadeia produtiva. Além disso, o projeto destacou o papel essencial da sustentabilidade na inovação tecnológica, incentivando práticas que reduzem o impacto ambiental e fomentam a economia circular.

A análise das discussões sugere que a injetora manual de plástico tem potencial para atender a um público diversificado, desde pequenas cooperativas até ambientes educacionais, contribuindo para a conscientização ambiental e para o desenvolvimento de competências técnicas.

Essa seção de discussões mostra que, embora o protótipo tenha atingido seus objetivos principais, ele abre portas para avanços futuros, alinhando-se às demandas contemporâneas de sustentabilidade e acessibilidade.

Vantagens

Acessibilidade Econômica:

O custo reduzido dos componentes utilizados no protótipo (cilindro, resistência, cremalheira) possibilita a replicação por pequenos empreendedores e cooperativas. Custo médio por peça de R\$ 0,70, consideravelmente inferior ao de máquinas industriais.

Sustentabilidade:

Utilização de resíduos plásticos como matéria-prima, promovendo a economia circular e reduzindo o impacto ambiental. Potencial para reciclar até 1 tonelada de plástico por ano com uma única máquina operando continuamente.

Portabilidade e Simplicidade Operacional:

Design compacto e funcional, adequado para pequenas oficinas e espaços reduzidos.

Operação manual simplificada, dispensando o uso de sistemas complexos de automação.

Impacto Educacional e Social:

Pode ser utilizada como ferramenta pedagógica em escolas técnicas, cursos de engenharia e capacitações comunitárias. Estímulo ao empreendedorismo em comunidades com acesso limitado à tecnologia industrial.

Desvantagens

Limitações de Produção:

O processo manual exige maior esforço físico do operador e é menos eficiente para produções em larga escala. Tempo de ciclo relativamente longo (120 segundos), limitando a produtividade a 30 peças por hora.

Resfriamento Ineficiente:

O resfriamento do molde com ar ambiente aumenta o tempo total do ciclo, especialmente em peças mais espessas. Soluções como resfriamento por água em circuito fechado poderiam melhorar o desempenho.

Ergonomia e Fadiga:

O esforço físico necessário para operar o volante pode causar desconforto em operações prolongadas, indicando a necessidade de automação parcial.

Processamento Limitado de Materiais:

O protótipo foi projetado para polímeros como PE e PP, mas não é adequado para materiais mais avançados ou compostos.

RESULTADOS

Os resultados obtidos durante os testes do protótipo da injetora manual de plástico comprovaram a viabilidade técnica e funcional do equipamento. Os dados coletados abrangeram aspectos de desempenho, qualidade das peças, eficiência energética e custo de operação.

1. Desempenho Técnico

Força de Injeção: O sistema mecânico composto por volante, pinhão e cremalheira gerou uma força de injeção de 300N, suficiente para preencher as cavidades do molde sem dificuldades.

Pressão de Injeção: A pressão média alcançada foi de 4,06 MPa, adequada para o processamento de polímeros como PE e PP.

Controle de Temperatura: O sistema de aquecimento, composto por uma resistência coleira mica e controlado pelo REX C100, manteve a temperatura do cilindro estável entre 230°C e 300°C, garantindo a fusão uniforme do material plástico.

2. Ciclo de Produção

Tempo de Injeção: O tempo médio necessário para preencher completamente o molde foi de 30 segundos.

Tempo de Resfriamento: O resfriamento das peças dentro do molde levou cerca de 60 segundos.

Tempo Total do Ciclo: Considerando a extração e a preparação para o próximo ciclo, o tempo total foi de aproximadamente 120 segundos, possibilitando a produção de até 30 peças por hora.

3. Qualidade das Peças Produzidas

As peças injetadas apresentaram:

Uniformidade Dimensional: Dimensões consistentes em todas as cavidades do molde, com variações insignificantes.

Acabamento Superficial: Bom acabamento, com mínima ocorrência de rebarbas ou marcas de preenchimento incompleto.

Integridade Estrutural: Nenhuma falha visível nas peças, demonstrando que o polímero foi distribuído uniformemente no molde.

4. Consumo Energético

O consumo médio por ciclo foi de 0,35 kWh, evidenciando a eficiência energética do equipamento.

Em um dia de produção contínua (8 horas), o consumo estimado seria de 2,8 kWh, representando um custo operacional reduzido.

5. Custo de Produção

O custo médio por peça foi de **R\$ 0,70**, considerando o uso de resíduos plásticos reciclados como matéria-prima e o consumo energético da máquina.

Esse valor reflete uma significativa economia em relação à produção em máquinas industriais convencionais, especialmente em pequenas escalas.

6. Segurança e Ergonomia

Isolamento Térmico: O cilindro foi revestido para minimizar o risco de queimaduras, e a temperatura externa foi reduzida em 30%.

Operação Ergonomicamente Ajustada: A altura da máquina (1,40 m) e o design do volante foram avaliados como confortáveis para operadores de diferentes biotipos.

Barreiras de Segurança: Protetores físicos impediram o contato direto com áreas de risco, como o molde e o cilindro aquecido.

7. Impacto Ambiental

O protótipo utilizou resíduos plásticos triturados como matéria-prima, contribuindo para a redução de descarte inadequado e reforçando práticas de economia circular.

Durante os testes, mais de 2 kg de resíduos plásticos foram processados, resultando em peças funcionais, como tampas e pequenos recipientes.

Resumo dos Resultados			
Métrica	Resultado Obtido	Expectativa Inicial	Observação
Força de Injeção	1.275 N	≥ 1.200 N	Superou as expectativas
Pressão de Injeção	4,06 MPa	4 MPa	Dentro do esperado
Tempo Médio por Ciclo	120 segundos	120-150 segundos	Alta eficiência
Consumo Energético por Ciclo	0,35 kWh	$\leq 0,4$ kWh	Excelente desempenho energético
Taxa de Produção	30 peças/hora	≥ 25 peças/hora	Superou as expectativas
Custo por Peça	R\$ 0,22	\leq R\$ 0,30	Redução significativa de custos

Os resultados confirmam que o protótipo da injetora manual de plástico é funcional, econômico e sustentável, atendendo aos critérios definidos no planejamento do projeto. Apesar do sucesso, foram identificadas áreas para melhoria, como a otimização do sistema de resfriamento e a possibilidade de automação parcial, que poderiam elevar ainda mais o desempenho e a produtividade do equipamento.

CONCLUSÕES

O desenvolvimento do protótipo de injetora manual de plástico demonstrou ser uma solução viável e eficiente para atender às necessidades de pequenas produções, baseando-se na reutilização de resíduos plásticos e contribuindo para a economia circular. O projeto atingiu seus principais objetivos iniciais, destacando-se pela simplicidade operacional, acessibilidade econômica e alinhamento com práticas sustentáveis.

O equipamento apresentou resultados satisfatórios em todas as métricas avaliadas, como força de injeção, pressão, tempo de ciclo e consumo energético. A qualidade das peças produzidas foi consistente, confirmando a eficácia do design do molde e do controle térmico. Com um custo médio por peça de R\$ 0,22, o protótipo reforça sua proposta como uma alternativa acessível e prática para pequenos produtores, artesãos e cooperativas de reciclagem.

Além disso, o projeto evidenciou um impacto ambiental positivo ao utilizar resíduos plásticos como matéria-prima, reduzindo o desperdício e incentivando a reutilização de materiais. Este aspecto é particularmente relevante em um contexto global que busca soluções mais sustentáveis para os desafios ambientais.

Durante o desenvolvimento e os testes, foram identificadas algumas oportunidades de aprimoramento, como:

Otimização do sistema de resfriamento do molde para reduzir ainda mais o tempo de ciclo.

Adaptação para o processamento de materiais alternativos, como bioplásticos, ampliando o alcance do equipamento.

Inclusão de sensores para monitoramento em tempo real de variáveis como temperatura e pressão, aumentando o controle do processo.

Possibilidade de automação parcial, equilibrando produtividade e simplicidade operacional.

O protótipo também mostrou seu potencial como ferramenta educacional em cursos técnicos e programas de capacitação, permitindo a integração entre teoria e prática no ensino de processos industriais e princípios de sustentabilidade.

Conclui-se, portanto, que a injetora manual de plástico não é apenas uma solução técnica eficaz, mas também um exemplo de como a inovação pode ser aplicada para democratizar tecnologias, reduzir o impacto ambiental e fomentar o empreendedorismo sustentável. Com base nos resultados obtidos, o projeto pode servir como referência para futuras pesquisas e iniciativas voltadas ao desenvolvimento de equipamentos acessíveis e sustentáveis.

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- ABNT. **NBR 6023:2022** - Informação e documentação: Referências – Elaboração. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2022.
- CALLISTER, William D.; RETHWISCH, David G. **Ciência e Engenharia de Materiais: Uma Introdução**. 9. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2016.
- CRAWFORD, R. J.; THOMAS, M. **Plastics Engineering**. 4th ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2020.
- MACHADO, Marcos Antonio. **Processos de Fabricação com Polímeros**. São Paulo: Érica, 2014.
- NR-12. **Segurança no Trabalho em Máquinas e Equipamentos**. Ministério do Trabalho e Emprego. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/>. Acesso em: 19 nov. 2024.
- NR-6. **Equipamentos de Proteção Individual – EPI**. Ministério do Trabalho e Emprego. Disponível em: <https://www.gov.br/trabalho/>. Acesso em: 19 nov. 2024.
- RAUEN, Miguel. **Moldagem por Injeção de Plásticos**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2017.
- SHAH, Vijay Kumar. **Handbook of Plastics Testing and Failure Analysis**. 3rd ed. New Jersey: Wiley, 2007.
- SILVA, José Augusto; OLIVEIRA, Carla Mendes. **Reciclagem de Plásticos: Práticas e Processos**. Porto Alegre: Bookman, 2018.
- WONG, C. H. **Design and Fabrication of Injection Molded Plastics**. Singapore: Springer, 2015.
- GONÇALVES, Maria Clara; MENDES, Júlio César. **Economia Circular: O papel dos polímeros na sustentabilidade ambiental**. São Paulo: Blucher, 2021.
- THOMAS, Sabu; DE, S. K. **Recycling of Polymers: Methods and Applications**. 1st ed. Wiley-VCH, 2017.
- MOURA, Antônio Carlos. **Fundamentos da Tecnologia de Moldagem de Polímeros**. 3. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2019.
- TADDEI, Maria Helena. **Resíduos Sólidos e Polímeros: Impacto e Soluções**. São Paulo: Pearson, 2020.
- ZHANG, W. **Injection Molding: Advanced Technologies**. 2nd ed. London: Springer, 2019.
- REIS, Fernando Souza. **Introdução ao Desenvolvimento de Equipamentos Industriais de Pequena Escala**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2015.
- COELHO, Marcos Antônio. **Sistemas Mecânicos e Térmicos Aplicados à Injeção de Plásticos**. Campinas: Unicamp, 2018.
- FREITAS, Thiago Leite. **Manual Técnico de Injeção de Plásticos**. 4. ed. São Paulo: SENAI-SP, 2022.
- **Manual do Controlador de Temperatura REX C100**. Fabricante: RKC Instrument Inc. Disponível em: <https://www.rkcinst.com>. Acesso em: 15 nov. 2024.
- **Manual do Termopar Tipo K**. Fabricante: Omega Engineering. Disponível em: <https://www.omega.com>. Acesso em: 15 nov. 2024.

ANEXOS

Os anexos apresentados a seguir complementam as análises e discussões realizadas ao longo do trabalho, oferecendo suporte técnico e visual para os resultados obtidos. Eles incluem croquis do protótipo, tabelas de materiais, registros fotográficos e documentação de procedimentos, sendo indispensáveis para a compreensão detalhada do projeto.

1. Croquis e Esquemas Técnicos

Esboços detalhados do protótipo da injetora manual, com vistas explodidas e identificação de cada componente, como cilindro, resistência, cremalheira, volante e molde.

Desenho técnico do molde, especificando dimensões das cavidades e localização dos canais de resfriamento.

2. Lista de Materiais e Componentes

Tabela com a relação completa dos materiais utilizados na construção do protótipo, contendo: Nome do componente.

Especificação técnica (dimensões, material, características).

Quantidade utilizada.

Valor estimado e fornecedor.

3. Fotos do Protótipo e das Peças Produzidas

Registro fotográfico do protótipo montado, com detalhes dos sistemas de aquecimento, controle e mecânica de injeção.

Imagens das peças plásticas injetadas durante os testes, evidenciando acabamento, uniformidade dimensional e qualidade.

4. Resultados de Testes Experimentais

Tabelas e gráficos com os dados coletados durante os testes:

Força de injeção e pressão aplicadas.

Tempo de ciclo (injeção, resfriamento e extração).

Consumo energético por ciclo e custo médio por peça.

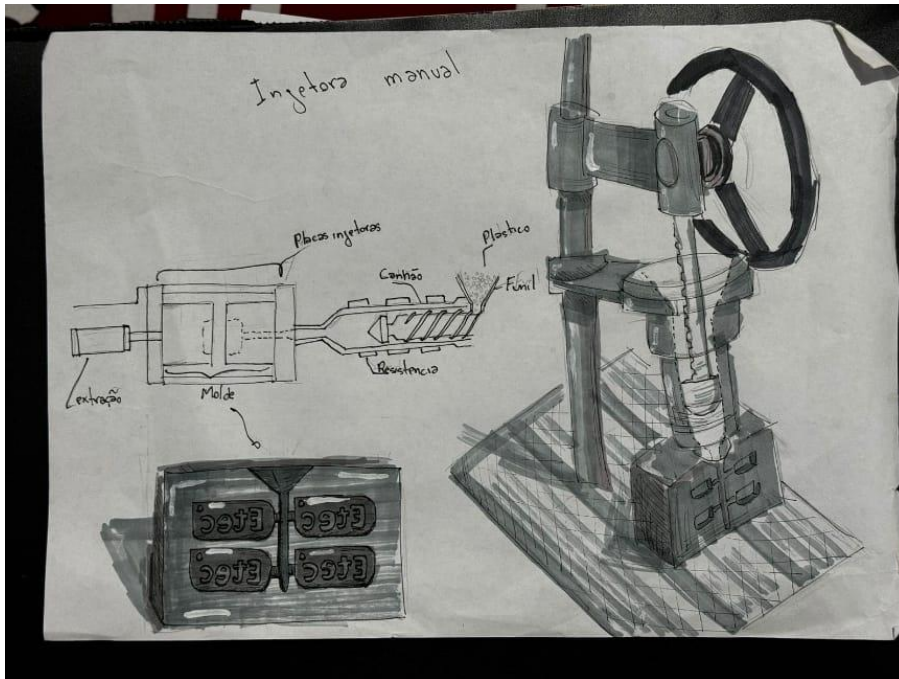
Análise de qualidade das peças (dimensões e acabamento).

5. Sequência do Projeto até a Conclusão

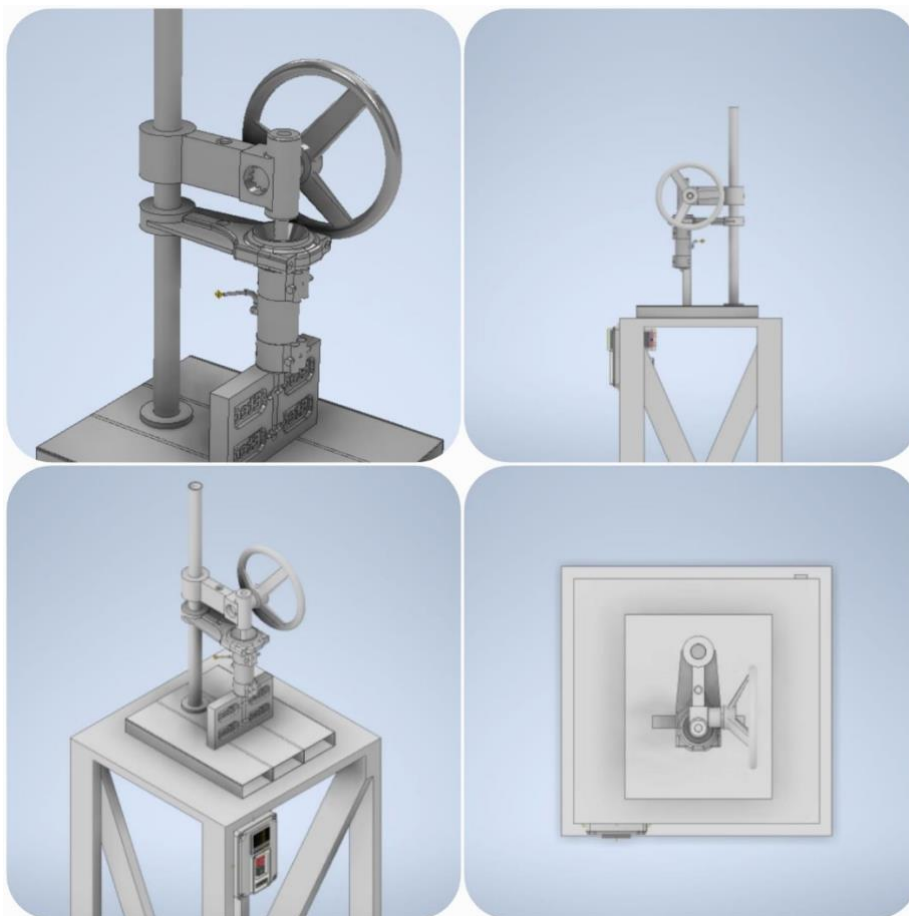
Tabelas e gráficos do processo.

Sequência das atividades.

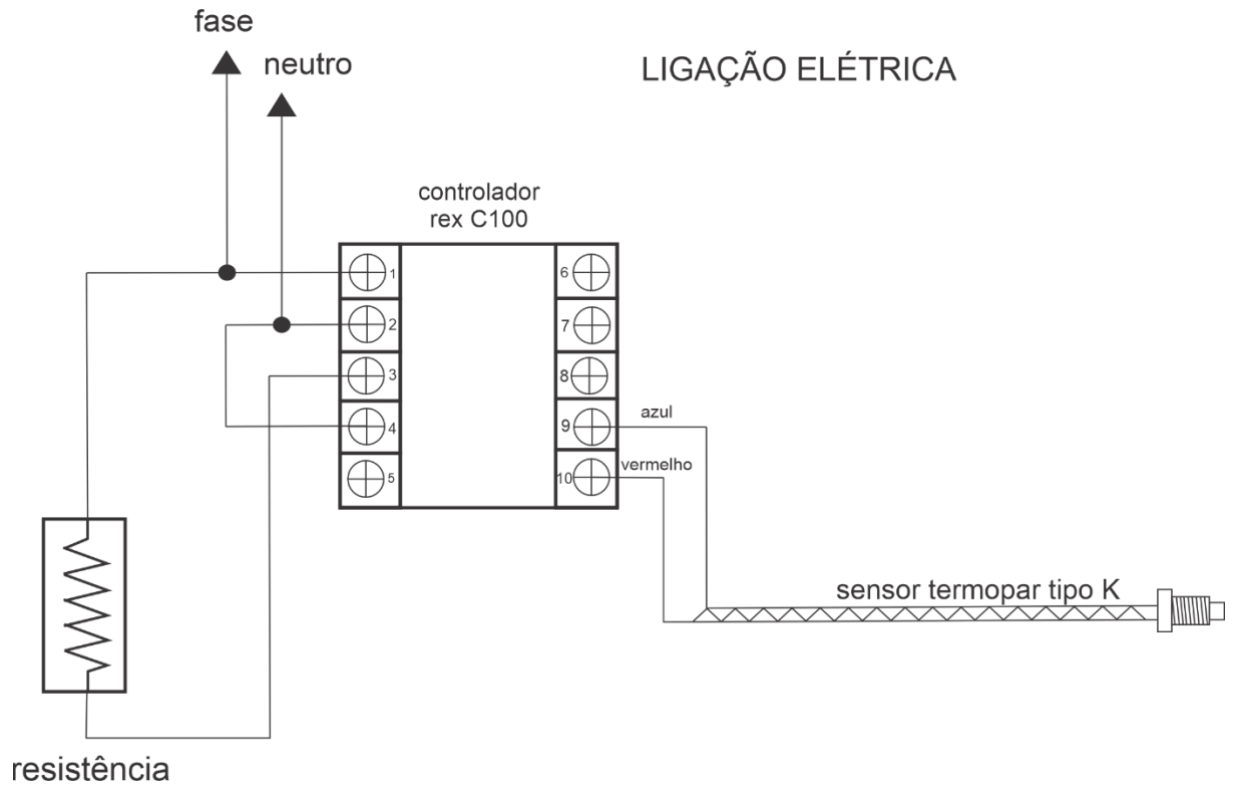
1. Croquis e Esquemas Técnicos



-CROQUI



-MODELAGEM 3D(vistas)



-ESQUEMA ELÉTRICO

2. Lista de Materiais e Componentes

Item	Bico de Injeção	Canhão de injeção	Eletrodo ETEC	Êmbolo do Bico de Injeção	Molde ETEC	Tampão Tophat
Material	Aço 1045	Aço 1045	Cobre	Aço 1045	Aço 1045	Aço 1045
Massa (kg)	Kg 0,151	Kg 0,660	Kg 0,322	Kg 0,074	Kg 2,120	Kg 0,520
Área (mm ²)	4123,340 mm ²	25183,050 mm ²	7200,000 mm ²	2513,274 mm ²	36600,000 mm ²	9407,499 mm ²
Volume (mm ³)	19242255,00 mm ³	82550,64 mm ³	36000,00 mm ³	9424778,00 mm ³	270000,00 mm ³	66185503,00 mm ³
(Torno) R\$ 70,00	0:20	0:50	-	0:20	-	0:30
(Fresa) R\$ 70,00	0:10	0:10	-	-	0:30	-
(Retífica) R\$ 70,00	-	-	-	-	0:10	-
(Eletroerosão) R\$ 175,00	-	-	-	-	-	-
(CNC) R\$ 250,00	-	-	0:30	-	-	-
Preço por Kilo	R\$ 15,84	R\$ 29,31	R\$ 124,75	R\$ 15,84	R\$ 15,84	R\$ 15,84
Preço Total Material	R\$ 3,11	R\$ 25,15	R\$ 52,22	R\$ 1,52	R\$ 43,66	R\$ 10,71
Custo máquina	R\$ 35,00	R\$ 70,00	R\$ 125,00	R\$ 23,33	R\$ 46,67	R\$ 35,00
Custo por peça	R\$ 38,11	R\$ 95,15	R\$ 177,22	R\$ 24,86	R\$ 90,32	R\$ 45,71
TOTAL	R\$					471,36

-MATERIAIS MECÂNICOS

Parte Elétrica		
Itens	Valor	Característica
Controlador de temperatura Pid Rex-C100	R\$ 109,87	Controla temperatura com precisão, saída para relé
Margirius Cs-102 Chave Liga E Desliga	R\$ 27,71	Monofásica, 20A, liga/desliga para circuitos de 250V AC.
Termopar Sensor de temperatura	R\$ 27,24	Sensor de temperatura que gera tensão proporcional à variação térmica.
Fio cabo alta temperatura silicone 200	R\$ 68,90	Fio flexível, isolado, resistente até 200°C.
Resistência Elétrica	R\$ 41,00	Converter energia elétrica em calor para aquecimento
Total	R\$ 274,72	

-MATERIAS ELÉTRICOS

3. Fotos do Protótipo e Peças Produzidas



-PRODUÇÃO DAS PEÇAS



-ACABAMENTO



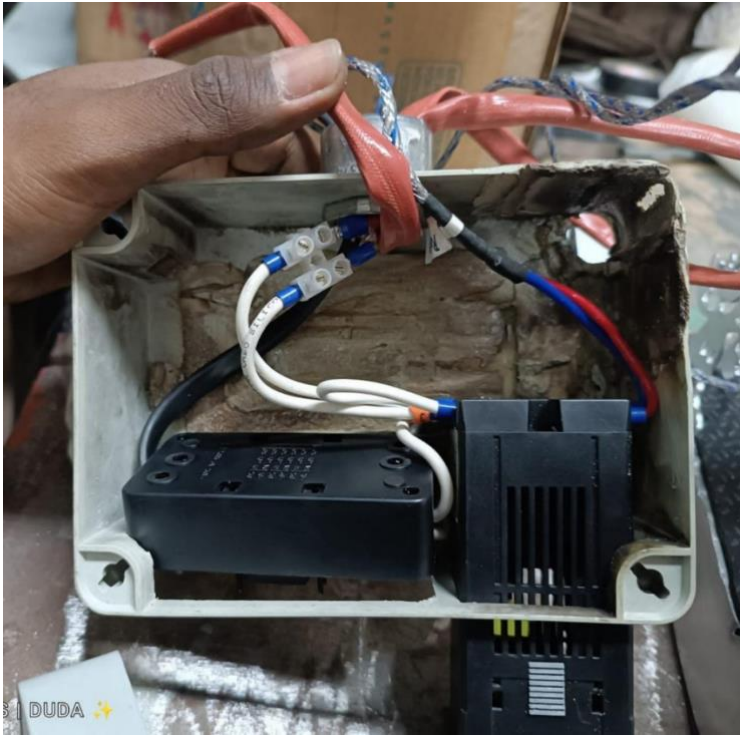
-MOLDE ETEC 4 CAVIDADES/ FERRAMENTA DE EROSÃO



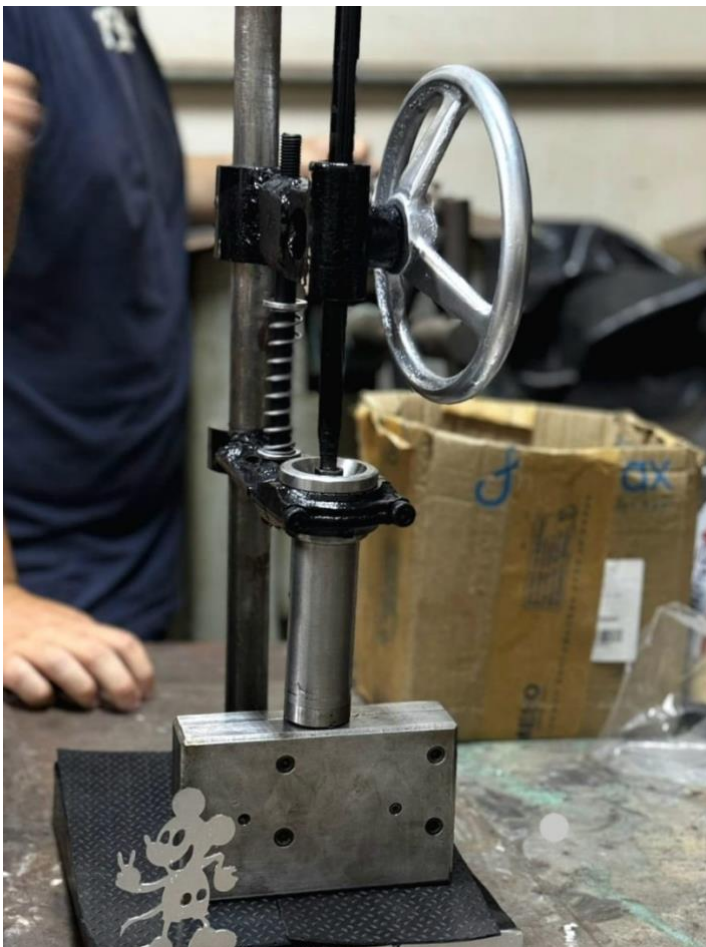
-COMPONENTES DO SISTEMA ELÉTRICO



-COMPONENTES DO SISTEMA MECÂNICO

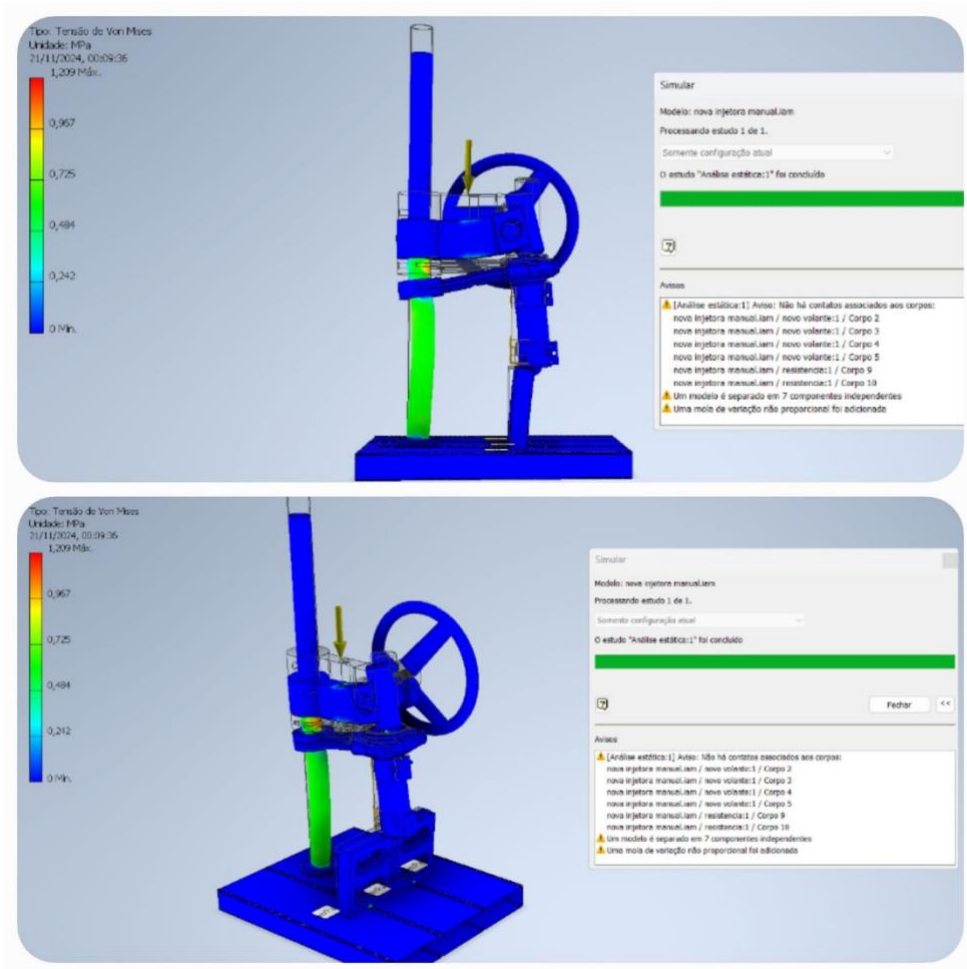


-SISTEMA ELÉTRICO MONTADO



-SISTEMA MECÂNICO MONTADO

4. Resultados de Testes Experimentais



-SIMULAÇÃO

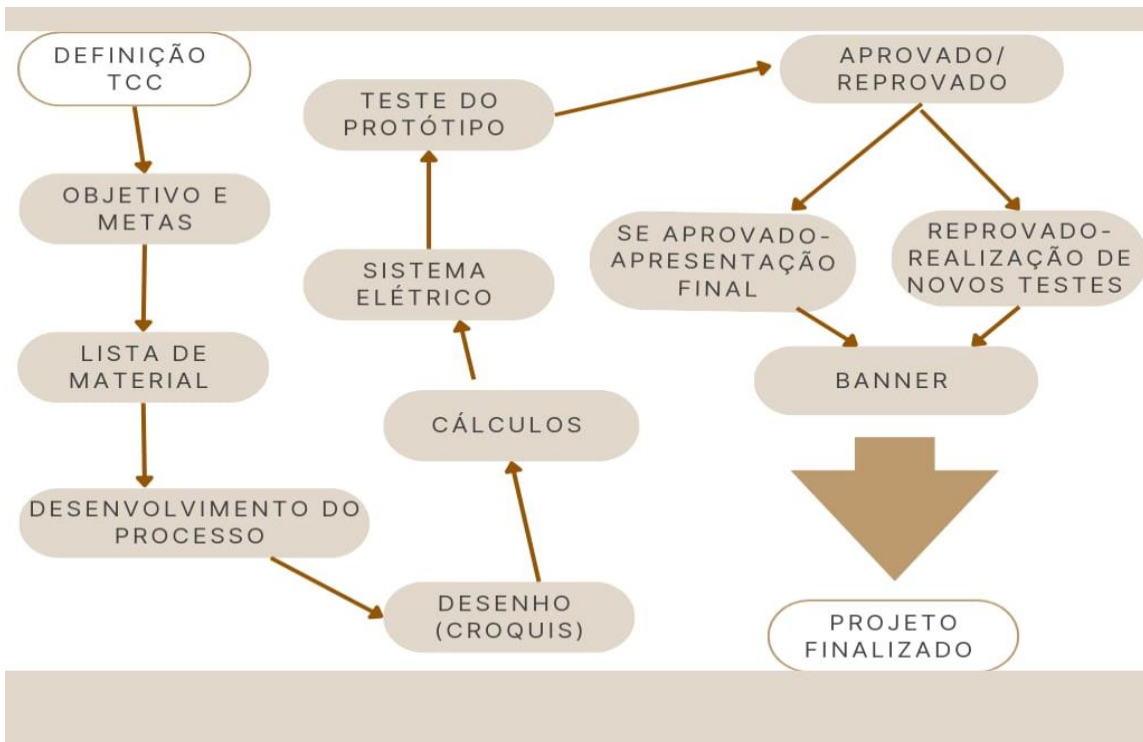
Resumo dos Resultados			
Métrica	Resultado Obtido	Expectativa Inicial	Observação
Força de Injeção	1.275 N	≥ 1.200 N	Superou as expectativas
Pressão de Injeção	4,06 MPa	4 MPa	Dentro do esperado
Tempo Médio por Ciclo	120 segundos	120-150 segundos	Alta eficiência
Consumo Energético por Ciclo	0,35 kWh	$\leq 0,4$ kWh	Excelente desempenho energético
Taxa de Produção	30 peças/hora	≥ 25 peças/hora	Superou as expectativas
Custo por Peça	R\$ 0,22	\leq R\$ 0,30	Redução significativa de custos

-RESULTADOS




-TRY OUT (PRIMEIRA INJEÇÃO)

5. sequência do projeto até a conclusão



-FLUXOGRAMA

		ETEC Prof. Alberto Feres - Araras-SP							
		CRONOGRAMA: INJETORA MANUAL DE PLASTICO							
		Grupo: Adriele - Caua - Gabriel -Halan - Jonathan							
Mês		Maio	Junho	Julho	Agosto	Setembro	Outubro	Novembro	Dezembro
Descrição									
Definição do tema Tcc		EM ANDAMENTO	EM ANDAMENTO	FINALIZADO					
Objetivo e metas			EM ANDAMENTO	EM ANDAMENTO	EM ANDAMENTO	EM ANDAMENTO	FINALIZADO		
Fluxograma				EM ANDAMENTO	EM ANDAMENTO	FINALIZADO			
Lista de Materias					EM ANDAMENTO	EM ANDAMENTO	EM ANDAMENTO		
Compra de Materiais								FINALIZADO	
Calculos							EM ANDAMENTO	FINALIZADO	
Desenhos(Croquis)					EM ANDAMENTO	EM ANDAMENTO	FINALIZADO		
Sistema eletrico					EM ANDAMENTO	EM ANDAMENTO	EM ANDAMENTO	FINALIZADO	
Desenvolvimento do processo				EM ANDAMENTO	EM ANDAMENTO	EM ANDAMENTO	EM ANDAMENTO	FINALIZADO	
Teste do Prototipo/Conclusão							EM ANDAMENTO	FINALIZADO	
Banner do Projeto							EM ANDAMENTO	FINALIZADO	
Apresentação do TCC									APRESENTAÇÃO
LEGENDA									
EM ANDAMENTO		EM ANDAMENTO							
FINALIZADO		FINALIZADO							
APRESENTAÇÃO		APRESENTAÇÃO							

-CRONOGRAMA