**ESTUDO DA VIABILIDADE DA IMPLEMENTAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE RESÍDUOS POLIMÉRICOS PARA A PRODUÇÃO DE FILAMENTOS PARA IMPRESSÃO 3D**

**CAPITULO 1**

### 1.1 Introdução

O início do século XXI foi marcado por dois acontecimentos relevantes: a inserção da China no mercado global de fornecimento e a crescente popularização da Internet. Após a Revolução Industrial, os resíduos começaram a ganhar importância, principalmente para a saúde pública, entretanto é a partir de 1970 que os resíduos realmente tiveram um peso ambiental, tanto em nível nacional quanto internacional, pois o tema foi abordado em grandes encontros mundiais, como nas conferências de Estocolmo, em 1972, em seguida na ECO 92, no Rio de Janeiro e, em 1997, na de Tibilisi (VELLOSO, 2008; WILSON, 2007). Esses eventos resultaram em uma abundância de novas ofertas e na redução dos preços de equipamentos e produtos, incluindo as tecnologias de Manufatura Aditiva. Essa recente mudança faz parte da "Revolução da Redução de Resíduos", que é consequente das mudanças econômicas e sociais (WORRELL & VESILIND, 2011), as quais pressionaram alterações em leis, nacionais e internacionais, que enfatizam a prática da não geração e redução de resíduos (BRASIL, 2010; EUROPEANPARLIAMENT, 2008). A Manufatura Aditiva, ou impressão 3D, permite a produção de itens em menor escala e a custos reduzidos em comparação com métodos tradicionais.

Entretanto, a questão da gestão de resíduos persiste como um desafio crítico. Além do expressivo crescimento da geração desses resíduos, observam-se, ainda, ao longo dos últimos anos, mudanças significativas em sua composição e características e o aumento de sua periculosidade (OMS, 2010; EPA, 2010). No Brasil, a cadeia de suprimento para resíduos pós-consumo apresenta deficiências significativas. A maior parte desses resíduos não é adequadamente coletada, separada ou tratada, sendo frequentemente enviada para lixões e aterros sanitários sem a devida triagem. A Pesquisa Nacional de Saneamento Básico 2008 mostrou que um em cada três municípios brasileiros passou por situações de enchentes, entre 2004 e 2008, e que 30,7% das prefeituras consideram que os resíduos jogados em ruas, avenidas, lagos, rios e córregos causaram as enchentes nas cidades. Dentro desse contexto, os resíduos poliméricos emergem como um problema relevante, especialmente no setor industrial, representando um desafio para a gestão ambiental e uma oportunidade para a inovação.

### 1.2 Objetivo Geral

O objetivo deste trabalho é abordar os resíduos poliméricos gerados na indústria e como a reciclagem inadequada resulta em desperdício. O intuito é demonstrar que é possível implementar uma estação de tratamento na empresa, capaz de transformar esses resíduos em filamentos para impressão 3D. Com isso, visa-se auxiliar a empresa na sua inserção no contexto da Indústria 4.0, ao mesmo tempo que se evidenciam os benefícios e as dificuldades que as empresas podem enfrentar nesse processo.

### 1.3 Objetivos Específicos

* Analisar como os resíduos poliméricos são atualmente desperdiçados devido à má reciclagem.
* Demonstrar a viabilidade de transformar resíduos em filamentos para impressão 3D.
* Explorar os benefícios econômicos e ambientais dessa prática.
* Avaliar as dificuldades e desafios que as empresas podem enfrentar na implementação de estações de tratamento e no uso de tecnologias de manufatura aditiva.
* Integrar a empresa na Indústria 4.0, utilizando práticas sustentáveis e inovadoras.

### 1.4 Justificativa

O descarte inadequado de resíduos poliméricos na indústria tem gerado desperdícios significativos, tanto de material quanto de oportunidades de reaproveitamento. Grande parte desses resíduos, que poderia ser reciclada e reintroduzida nos processos produtivos, acaba sendo descartada de maneira ineficiente. Isso não só aumenta o impacto ambiental, como também resulta em perdas econômicas para as empresas.

A implementação de uma estação de tratamento que permita a transformação dos polímeros descartados em filamentos para impressão 3D apresenta-se como uma solução inovadora e sustentável. Ao reaproveitar esses resíduos, as empresas podem reduzir a quantidade de material enviado para descarte, ao mesmo tempo que desenvolvem novos produtos a partir de recursos já disponíveis, promovendo a economia circular.

Além disso, essa iniciativa favorece a integração das empresas ao contexto da Indústria 4.0, que exige a adoção de tecnologias avançadas e práticas de produção mais eficientes. A fabricação de filamentos reciclados para uso em manufatura aditiva não só otimiza o uso de recursos, como também posiciona a empresa na vanguarda tecnológica, tornando-a mais competitiva e ambientalmente responsável.

Contudo, essa transição pode trazer desafios. A necessidade de investimentos iniciais, ajustes nos processos de produção e a qualificação de profissionais são obstáculos que precisam ser superados para que essa mudança seja bem-sucedida. No entanto, os benefícios, como a redução de custos com matérias-primas, a diminuição do impacto ambiental e o fortalecimento da imagem da empresa como sustentável, superam as dificuldades.

Este trabalho se justifica pela urgência em resolver o problema do desperdício de polímeros e pela oportunidade de transformar resíduos em produtos inovadores e sustentáveis. Ele também se mostra relevante no cenário atual, onde práticas sustentáveis e a utilização de tecnologias da Indústria 4.0 são fundamentais para o sucesso a longo prazo das empresas.

**CAPITULO 2**

### 2.1 Indústria 4.0

A Indústria 4.0, também conhecida como a Quarta Revolução Industrial, caracteriza-se pela integração de tecnologias avançadas e digitais ao ambiente industrial, transformando processos produtivos e modelos de negócios(EQUIPE TOTVS 2023). Esse conceito surgiu na Alemanha e visa conectar o mundo físico e digital por meio de sistemas ciberfísicos, inteligência artificial (IA), big data, internet das coisas (IoT), robótica avançada e a manufatura aditiva(impressão 3d), tecnologias emergentes fundamentais para a implementação da Indústria 4.0, cada uma desempenhando um papel específico na transformação industrial, permitindo fábricas mais inteligentes, autônomas e eficientes(FIA: Business School, 2021).

Segundo Melo (2024), um dos princípios centrais da Indústria 4.0 é a automação inteligente, na qual máquinas, equipamentos e sistemas operam com alto nível de autonomia, colaborando entre si e tomando decisões baseadas em dados em tempo real, a flexibilidade e personalização também são características cruciais dessa revolução. Ao contrário dos modelos tradicionais de produção em massa, a Indústria 4.0 possibilita a personalização em larga escala, adaptando linhas de produção para atender demandas específicas do consumidor final sem comprometer a eficiência(Melo, 2024).

De acordo com Souza et al. (2017), a implantação da Indústria 4.0 traz diversos benefícios, como o aumento da produtividade, a redução de custos operacionais e a melhoria da qualidade dos produtos. Entretanto, também apresenta desafios consideráveis, o alto custo inicial de implementação demanda um investimento considerável, podendo criar barreiras para pequenas e médias empresas. Além disso, a questão da segurança cibernética torna-se crítica, visto que a conectividade entre máquinas e sistemas aumenta a vulnerabilidade a ataques virtuais(EQUIPE TOTVS 2023).

### 2.2 Polímeros e os Processos de Reciclagem

Segundo Castilho (2017), os polímeros são macromoléculas compostas por unidades menores chamadas monômeros, que se repetem em longas cadeias. Eles podem ser naturais, como o látex e a celulose, ou sintéticos, como os plásticos amplamente utilizados na indústria moderna. Graças à sua versatilidade e propriedades físicas, os polímeros sintéticos têm um papel crucial em várias áreas, desde embalagens até peças de veículos, mas também representam um grande desafio ambiental devido à sua lenta degradação quando descartados incorretamente(compostos, 2021).

Os polímeros sintéticos, especialmente os plásticos, são largamente usados pela indústria em virtude de suas características como durabilidade, leveza e resistência química. Entre os polímeros mais comuns estão o polietileno (PE), polipropileno (PP), policloreto de vinila (PVC), poliestireno (PS) e o acrilonitrila butadieno estireno (ABS) (Spinacé et al. 2004).

A reciclagem de polímeros é uma alternativa essencial para minimizar o impacto ambiental gerado pelo descarte inadequado de plásticos e outros materiais poliméricos. Spinacé et al (2004), destaca os seguintes processos de reciclagem, classificados de acordo com a técnica utilizada:

* Reciclagem Mecânica: Consiste no reprocessamento de polímeros por métodos mecânicos, como a moagem e a fusão.
* Reciclagem Química: Nesse processo, os polímeros são decompostos em seus monômeros ou outras substâncias químicas por meio de processos como pirólise, hidrogenação ou gasificação.
* Reciclagem Energética: Trata-se da conversão de resíduos poliméricos em energia por meio de processos de combustão controlada.

De acordo com Santos (2005), apesar da importância da reciclagem de polímeros, o processo enfrenta diversos desafios. Um dos principais obstáculos é a contaminação dos resíduos plásticos, que dificulta sua reutilização. Além disso, muitos produtos plásticos são compostos por camadas de diferentes materiais, o que exige etapas adicionais para separação. Por outro lado, a evolução das tecnologias de reciclagem abre novas oportunidades para maximizar o reaproveitamento dos polímeros, como por exemplo o crescente interesse em filamentos reciclados para a impressão 3D, que oferece uma nova forma de dar destino sustentável aos polímeros reciclados, gerando valor agregado para resíduos plásticos e fomentando a economia circular (Figueiredo 2022).

A reciclagem de polímeros não só reduz o impacto ambiental causado pela disposição inadequada de plásticos, como também contribui para a economia de recursos naturais e energéticos (Spinacé et al. 2004). A produção de plástico a partir de polímeros reciclados consome menos energia do que a produção a partir de matéria-prima virgem, além de reduzir a extração de petróleo, principal insumo para a fabricação de plásticos. Assim, a reciclagem apresenta-se como uma solução indispensável para o desenvolvimento sustentável da indústria e para a proteção do meio ambiente (Rodrigues 2018).

### 2.3 Sustentabilidade e Sua Importância na Indústria

A sustentabilidade, definida como a busca por equilíbrio entre as atividades humanas e a preservação dos recursos naturais, visando garantir que o uso dos recursos naturais não comprometa a capacidade das futuras gerações de atenderem suas próprias necessidades(Souza 2018). A aplicação do conceito de sustentabilidade envolve três pilares: ambiental, econômico e social, integrados de forma a promover o desenvolvimento sustentável, que busca a manutenção da qualidade de vida e do bem-estar social em longo prazo (EQUIPE TOTVS 2023).

A adoção de práticas sustentáveis pela indústria é uma resposta essencial ao crescente esgotamento dos recursos naturais e à necessidade de reduzir os impactos ambientais(Scaglia 2023). Por muito tempo a indústria foi vista como um dos principais setores responsáveis pela degradação ambiental, devido ao alto consumo de energia, emissões de gases poluentes e geração de resíduos(Souza 2018). Mas nas últimas décadas, muitas indústrias têm adotado práticas que buscam minimizar esses impactos e promover uma economia circular, para poder se beneficiar de um dos principais benefícios da sustentabilidade industrial, a redução de custos operacionais(Scaglia 2023).

A Equipe TOTVS (2023), destaca que as tendências de sustentabilidade na indústria vão além da simples redução de emissões ou da reciclagem de resíduos, entre essas tendências estão:

* Economia Circular: Significa redesenhar processos e produtos para que os materiais e recursos possam ser continuamente reutilizados, evitando o desperdício.
* Eficiência Energética: O uso eficiente de energia é uma das práticas mais adotadas pelas indústrias, com foco na utilização de fontes renováveis.
* Gestão Sustentável de Resíduos: A gestão adequada de resíduos industriais, incluindo sua reutilização e reciclagem.

Segundo Scaglia (2023), a sustentabilidade industrial também desempenha um papel crucial na preservação dos recursos para as futuras gerações, ao se adotar práticas que promovam a conservação de recursos naturais, a redução de resíduos e a eficiência energética, as indústrias ajudam a reduzir o impacto humano sobre o meio ambiente, contribuindo para um futuro mais equilibrado e sustentável (A voz da indústria 2024). A transição para um modelo de indústria sustentável não apenas protege o meio ambiente, mas também fortalece as bases econômicas das empresas, permitindo que elas se mantenham competitivas em um mercado cada vez mais voltado para o desenvolvimento sustentável(Souza 2018).

### 2. 4 Manufatura Aditiva e Seus Benefícios

A **manufatura aditiva**, também conhecida como impressão 3D, é um processo que permite a fabricação de objetos tridimensionais por meio da adição de camadas sucessivas de material, esse processo começa com a criação de um modelo digital em software de design, em seguida, esse modelo é dividido em camadas e enviado para uma impressora 3D que deposita o material escolhido, até que o objeto seja construído (Carvalho 2017). Os materiais mais comuns usados nesse processo incluem plásticos, metais, cerâmicas e resinas, mas a tecnologia também permite o uso de materiais mais exóticos, como polímeros especiais e até mesmo alimentos. Gouvea (2023) destaca uma série de vantagens em relação aos métodos tradicionais, assim, tornando-a revolucionária para várias indústrias. Entre os benefícios mais significativos estão:

* **Redução de desperdício**
* **Customização em massa**
* **Redução de tempo de produção**
* **Complexidade sem custo adicional**
* **Sustentabilidade**

Pereira (2023) destaca a transformação que a manufatura aditiva vem trazendo para vários setores industriais, na indústria automotiva, por exemplo, a impressão 3D é usada para a produção de peças leves e resistentes, além de permitir a rápida criação de protótipos, no setor aeroespacial, componentes críticos podem ser impressos com precisão extrema, reduzindo o peso das aeronaves e, consequentemente, economizando combustível (EQUIPE TOTVS 2022). A possibilidade de criar peças sob demanda também facilita a logística e a gestão de estoques, uma vez que as peças podem ser fabricadas diretamente no local de uso, diminuindo o tempo de espera e os custos de transporte (Pereira 2023).

Apesar de seus muitos benefícios, um dos principais desafios está relacionado ao custo dos materiais e equipamentos, que ainda pode ser proibitivo para pequenas e médias empresas, além disso, a velocidade de impressão de algumas tecnologias ainda é lenta para produção em larga escala(Carvalho 2017). No entanto, com o avanço das tecnologias de impressão e o desenvolvimento de novos materiais, espera-se que o custo da tecnologia diminua e sua aplicação aumente significativamente nos próximos anos (Pereira 2023). A **Indústria 4.0** também tem potencial para impulsionar o uso da impressão 3D, integrando-a a outras tecnologias emergentes, como a inteligência artificial e a Internet das Coisas, para criar fábricas mais eficientes e automatizadas (EQUIPE TOTVS 2022).

**CAPÍTULO 3**

Este trabalho adota uma abordagem **qualitativa descritiva**, com o objetivo de analisar a viabilidade da implementação de uma estação de tratamento de resíduos poliméricos para a produção de filamentos para impressão 3D em empresas de médio e grande porte. A pesquisa exploratória é adequada para proporcionar uma visão mais aprofundada do problema, enquanto a pesquisa descritiva detalha os procedimentos e tecnologias envolvidas no processo de manufatura aditiva e reciclagem de polímeros. A abordagem qualitativa permite a coleta de dados detalhados e subjetivos, enfatizando as particularidades e nuances das respostas fornecidas pelas empresas. Nesse sentido, as informações obtidas por meio do questionário aplicado serão analisadas de maneira descritiva, destacando as práticas, desafios e oportunidades percebidas pelas empresas no contexto da gestão de resíduos poliméricos.

### 3.1 Procedimentos para Análise de Dados

Neste estudo, os dados serão coletados por meio de um questionário aplicado a três empresas de grande porte do setor industrial, que possuem processos de produção geradores de resíduos poliméricos. Dada a natureza limitada do número de respondentes, a análise dos dados será de caráter qualitativo, com ênfase na compreensão das práticas atuais de gestão de resíduos poliméricos e nas percepções dessas empresas sobre a implementação de uma estação de tratamento para reciclagem e produção de filamentos para impressão 3D. O questionário será estruturado em formato Google Forms e enviado via e-mail para um público-alvo selecionado.

Os dados obtidos serão analisados de maneira descritiva, focando nas respostas das empresas em relação a:

* Quantidade de resíduos poliméricos gerados;
* Métodos utilizados atualmente para descarte ou reaproveitamento desses resíduos;
* Interesse e viabilidade percebida na adoção de tecnologias de reciclagem polimérica;
* Desafios e oportunidades identificadas pelas empresas para a implementação de uma estação de tratamento.

Portanto, os dados serão organizados e discutidos de forma qualitativa, com foco nas respostas individuais de cada empresa. As informações serão apresentadas em formato narrativo, descrevendo as práticas e percepções de cada organização e destacando os pontos mais relevantes para o estudo.

### 3.2 Equipamentos Necessários para a Implementação da Estação

Para a implementação de uma estação de tratamento de resíduos poliméricos, são necessários diversos equipamentos específicos que permitirão a coleta, processamento e produção de filamentos reciclados para impressão 3D. A seguir, detalhamos os principais equipamentos que compõem a estrutura da estação:

* **Separador de polímeros**: Ele realiza a separação dos diferentes tipos de plásticos (PET, PP, PE, ABS, etc.).
* **Triturador:** Responsável por moer os resíduos plásticos, transformando-os em pequenos flocos que são mais fáceis de processar nas etapas subsequentes.
* **Lavadora industrial de plásticos:** Responsável por remover impurezas, como sujeira, restos de outros materiais e contaminantes.
* **Secadora:** Utilizada para remover a umidade dos flocos de polímeros após a lavagem.
* **Extrusora:** Responsável por derreter e fundir os flocos de polímeros, transformando-os em filamentos contínuos que podem ser utilizados diretamente nas impressoras 3D.
* **Bobinadora**: Garante que os filamentos sejam enrolados de maneira uniforme e sem emaranhados.
* **Sistema de controle de qualidade:** Essencial para garantir que os filamentos reciclados atendam às especificações exigidas.

Além dos equipamentos principais, outros sistemas auxiliares podem ser necessários para o bom funcionamento da estação, como:

* **Esteiras transportadoras:** para mover o material entre as etapas de processamento.
* **Silos de armazenamento:** para estocar os flocos de polímeros triturados antes da extrusão.
* **Sistemas de ventilação e filtragem de ar:** para garantir a segurança e limpeza do ambiente de trabalho, especialmente durante o processo de extrusão.

A estação proposta teria como objetivo a **reciclagem de resíduos poliméricos** gerados pela indústria e sua transformação em filamentos para impressão 3D. O processo seria composto pelas seguintes etapas principais:

1. **Coleta e Separação dos Resíduos;**
2. **Moagem e Lavagem;**
3. **Secagem e Extrusão;**
4. **Controle de Qualidade.**

A implementação da estação de tratamento de resíduos poliméricos requer um investimento inicial significativo em equipamentos especializados, mas os benefícios potenciais, como a redução de custos com matéria-prima e o alinhamento com práticas sustentáveis, justificam o investimento. Além disso, muitos dos equipamentos listados podem ser ajustados ou otimizados de acordo com as necessidades específicas de cada empresa. A escolha dos equipamentos deve levar em consideração fatores como o volume de resíduos a ser processado, o tipo de polímeros utilizados e a qualidade dos filamentos desejada. A correta operação e manutenção desses equipamentos também são cruciais para garantir a eficiência do processo de reciclagem e a produção de filamentos de alta qualidade.

Capitulo 4

**4.1 Resultados da Pesquisa de Campo**

Este capítulo apresenta os resultados obtidos por meio dos questionários aplicados às três empresas de médio e grande porte que utilizam polímeros em seus processos de produção e geram resíduos poliméricos. A análise se baseia nas respostas fornecidas, que visam identificar as práticas atuais de gestão de resíduos, o interesse na adoção de tecnologias de reciclagem e impressão 3D, e os desafios percebidos para a implementação de uma estação de reciclagem interna.

**4.1.1 Utilização de Polímeros nos Processos de Produção**

Todas as empresas participantes confirmaram o uso de polímeros em seus processos de produção. A quantidade de resíduos poliméricos gerada mensalmente variou entre as empresas. Uma das empresas relatou um volume entre 100 e 500 quilos de refugo polimérico por mês, enquanto as outras duas geram mais de 500 quilos por mês. Esses dados demonstram um volume significativo de resíduos que, caso reciclado, poderia ser transformado em novos materiais, como filamentos para impressão 3D.

**4.1.2 Descarte dos Resíduos Poliméricos**

Atualmente, duas das empresas adotam a venda dos seus resíduos para empresas de reciclagem externa. A terceira empresa informou que o descarte dos resíduos poliméricos é realizado por meio de **aterro sanitário**. Nenhuma das empresas adotam práticas de reciclagem em seus processos, entretanto as três empresas demonstraram interesse em aumentar sua eficiência no uso de materiais reciclados. Isso evidencia a oportunidade de se explorar práticas de reciclagem mais eficientes dentro das próprias empresas, minimizando o impacto ambiental e gerando valor agregado a partir dos resíduos.

**4.1.3 Interesse na Adoção de Práticas de Reciclagem**

Todas as empresas expressaram algum grau de interesse em adotar práticas de reciclagem para os resíduos poliméricos, principalmente em relação à possibilidade de reduzir os custos e melhorar a imagem da empresa perante o mercado. Duas das empresas tem interesse em adotar essa tecnologia futuramente, principalmente para o desenvolvimento de novos produtos. A terceira empresa já utiliza impressão 3D para a produção de peças e protótipos. A possibilidade de utilizar filamentos reciclados foi vista de forma positiva pelas empresas, tanto do ponto de vista econômico quanto sustentável. No entanto, a implementação de uma estação de reciclagem interna ainda é vista como desafiadora, principalmente devido aos custos iniciais e à necessidade de treinamento técnico.

**4.1.4 Barreiras para Adoção de uma Estação de Reciclagem**

Entre as principais barreiras mencionadas para a adoção de uma estação de reciclagem de resíduos poliméricos, as empresas destacaram:

* Investimento inicial elevado: Todas as empresas reconhecem que o custo de implementação de uma estação de reciclagem pode ser um obstáculo, especialmente considerando os equipamentos e a infraestrutura necessária.
* Falta de conhecimento técnico: Algumas empresas mencionaram a necessidade de adquirir conhecimento especializado para operar a estação e lidar com os processos de reciclagem e extrusão de filamentos.
* Espaço físico: Duas das empresas relataram que a limitação de espaço físico nas fábricas atuais poderia dificultar a implementação de uma estação completa.

As três empresas demonstraram interesse em aderir a práticas de economia circular e em adotar tecnologias da Indústria 4.0, com o objetivo de aumentar a eficiência de seus processos produtivos e reduzir o desperdício. As expectativas incluem não só o aumento da sustentabilidade, mas também a melhoria na competitividade por meio da redução de custos e da inovação em produtos. No entanto, as empresas reconheceram que a implementação dessas práticas requer um planejamento de longo prazo e investimentos em tecnologia e capacitação.

### 4.2 Custos Necessários para Implementação

A implementação de uma estação de tratamento de resíduos poliméricos exige um planejamento financeiro detalhado. Este capítulo apresenta uma estimativa dos principais custos envolvidos na instalação da estação, incluindo o valor dos equipamentos, mão de obra especializada, custos operacionais e outras despesas necessárias para o funcionamento adequado da estação.

### 4.2.1 Custos de Equipamentos

Os principais equipamentos que compõem a estação de tratamento de resíduos poliméricos, conforme descrito no capítulo anterior, têm um impacto significativo no investimento inicial. A Tabela 1 apresenta as estimativas de custo para cada um dos equipamentos mencionados:

| **Equipamento** | **Valor Estimado (R$)** |
| --- | --- |
| Separador de Polímeros | 35.000 - 100.000 |
| Triturador | 60.000 - 150.000 |
| Lavadora Industrial de Plásticos | 25.000 - 70.000 |
| Secadora de Plásticos | 20.000 - 50.000 |
| Extrusora de Filamentos | 150.000 - 400.000 |
| Bobinadora de Filamentos | 15.000 - 50.000 |
| Sistema de Controle de Qualidade | 35.000 - 100.000 |
| Esteiras Transportadoras | 5.000 - 30.000 |
| Silos de Armazenamento | 25.000 - 60.000 |
| Sistema de Ventilação e Filtragem de Ar | 10.000 - 40.000 |
| **Total Estimado** | **380.000 - 1.100.000** |

Esses valores podem variar de acordo com o fornecedor, a capacidade de produção e o grau de automação necessário. Empresas que já possuam parte dos equipamentos ou instalações podem reduzir significativamente o investimento inicial.

### 4.2.2 Custos de Instalação e Infraestrutura

Além dos equipamentos, a instalação da estação exige investimentos em infraestrutura, como adequação do espaço físico, instalação elétrica, sistemas de segurança e adaptação às normas ambientais. Abaixo a Tabela 2 apresenta os principais custos relacionados à infraestrutura:

| **Instalação e Infraestrutura** | **Valor Estimado (R$)** |
| --- | --- |
| **Adaptação do Espaço Físico** | 30.000 - 150.000 |
| **Instalação Elétrica e Hidráulica** | 20.000 - 80.000 |
| **Sistemas de Segurança e Controle de Incêndio** | 5.000 - 40.000 |
| **Licenciamento Ambiental e Regulatório** | 5.000 - 20.000 |
| **Total Estimado** | **60.000 - 290.000** |

### 4.2.3 Custos Operacionais

Os custos operacionais envolvem a manutenção dos equipamentos, contratação de mão de obra qualificada e consumo de energia e água durante a operação da estação. Conforme a Tabela 3, podemos ver uma estimativa dos custos mensais:

| **Instalação e Infraestrutura** | **Valor Estimado (R$)** |
| --- | --- |
| **Mão de Obra Especializada(3 a 5 funcionários)** | 10.000 - 30.000 |
| **Energia Elétrica (dependendo da capacidade produtiva)** | 5.000 - 20.000 |
| **Consumo de Água para Lavagem de Resíduos** | 5.000 - 10.000 |
| **Manutenção de Equipamentos** | 5.000 - 15.000 |
| **Total Estimado** | **25.000 - 75.000** |

### 4.2.4 Retorno sobre o Investimento (ROI)

O **retorno sobre o investimento (ROI)** para a implementação de uma estação de tratamento de resíduos poliméricos pode ser alcançado em médio prazo, dependendo de fatores como a quantidade de resíduos processados, a demanda por filamentos reciclados e a eficiência operacional da estação. Na Tabela 4 temos um exemplo de cálculo de ROI baseado em uma produção média de 10 toneladas de filamentos por mês:

| **Retorno Sobre o Investimento** | **Valor Estimado (R$)** |
| --- | --- |
| **Custo Médio de Produção por Tonelada de Filamento** | 4.000 |
| **Preço de Venda do Filamento no Mercado** | 15.000 |
| **Lucro Bruto por Tonelada Estimado** | 11.000 |

Com uma produção de 10 toneladas mensais, o lucro bruto mensal seria de **R$ 110.000**. Considerando os custos operacionais de **R$ 50.000 por mês**, o lucro líquido mensal seria de **R$ 60.000**. Dessa forma, o ROI estimado poderia ser alcançado em **2 a 5 anos**, dependendo do valor inicial investido e da capacidade produtiva.

### 4.2.5 Estimativa Final de Investimento

Com base nas informações fornecidas, o investimento total necessário para implementar uma estação de tratamento de resíduos poliméricos pode variar entre **R$ 440.000 e R$ 1.390.000**, incluindo os custos de equipamentos, infraestrutura e mão de obra.