

**CENTRO PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE FRANCA
“Dr. THOMAZ NOVELINO”**

TECNOLOGIA EM GESTÃO DA PRODUÇÃO INDUSTRIAL

**NILCEU GUIMARÃES DE JESUS
WASHINGTON LUIS MARQUES CORDEIRO**

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA LIMPEZA DE
PEÇAS COM FOCO EM SUSTENTABILIDADE**

**FRANCA/SP
2025**

**NILCEU GUIMARÃES DE JESUS
WASHINGTON LUIS MARQUES CORDEIRO**

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA LIMPEZA DE
PEÇAS COM FOCO EM SUSTENTABILIDADE**

Projeto de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia de Franca - “Dr. Thomaz Novelino”, como parte dos requisitos obrigatórios para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial.

Orientador: Prof. Me. Tadeu Artur de Melo Júnior

FRANCA/SP

2025

NILCEU GUIMARÃES DE JESUS
WASHINGTON LUIS MARQUES CORDEIRO

**DESENVOLVIMENTO DE EQUIPAMENTO PARA LIMPEZA DE
PEÇAS COM FOCO EM SUSTENTABILIDADE**

Projeto de Graduação apresentado à Faculdade de Tecnologia de Franca – “Dr. Thomaz Novelino”, como parte dos requisitos obrigatórios para obtenção do título de Tecnólogo em Gestão da Produção Industrial.

Projeto avaliado e aprovado pela seguinte Banca Examinadora:

Orientador

Nome..... : Prof. Me. Tadeu Artur Melo Júnior

Instituição : Faculdade de Tecnologia de Franca – “Dr. Thomaz Novelino”

Examinador(a) 1 :

Nome..... : Examinador_1

Instituição : Instituição_1

Examinador(a) 2 :

.....

Nome..... : Examinador_2

Instituição : Instituição_2

Franca, 23 de outubro de 2025

AGRADECIMENTO

Nós, autores deste Trabalho Final de Graduação, gostaríamos de expressar nossa sincera gratidão a todos que, de alguma forma, contribuíram para a realização deste projeto.

Agradecemos aos nossos orientadores e professores, que nos acompanharam ao longo desta jornada acadêmica, oferecendo não apenas conhecimento técnico, mas também motivação, paciência e inspiração.

Aos nossos colegas e amigos, pela parceria, pelas conversas enriquecedoras e pela amizade que tornou este caminho mais leve e prazeroso.

Às nossas famílias, pelo apoio incondicional, compreensão nos momentos de ausência e incentivo constante para que chegássemos até aqui.

*“A mente que se abre a uma nova ideia
jamais voltará ao seu tamanho original.”*

Albert Einstein.

RESUMO

A limpeza de peças industriais é essencial em diversos setores, pois garante o bom funcionamento, a qualidade final dos produtos e a vida útil dos equipamentos. Entretanto, pode-se afirmar que grande parte dos lavadores disponíveis atualmente, apresenta alto custo de aquisição e também tem processos que ao final, resultam em geração de impactos ambientais, representados por compostos voláteis e outros produtos. Este Trabalho de Graduação na modalidade de Projeto, teve como objetivo projetar e construir um lavador de peças sustentável, de baixo custo e com utilização de materiais reutilizáveis, conciliando inovação, viabilidade econômica e responsabilidade socioambiental. A metodologia incluiu revisão bibliográfica, análise de referenciais teóricos sobre sustentabilidade, automação e gestão da qualidade, além de visitas técnicas a empresas do setor para levantamento de requisitos e observação prática dos processos de lavagem. O equipamento foi desenvolvido com reaproveitamento de insumos, melhorias de design e automação básica, priorizando o uso consciente de água e de produto químico desengordurante, resultando em um custo abaixo da média, com possibilidade de redução de 20% por meio da produção em escala. Os testes demonstraram eficiência na limpeza sem danificar componentes, significativa economia de recursos, acessibilidade financeira e menor geração de resíduos, fortalecendo seu caráter sustentável. Os resultados evidenciam que a integração de práticas sustentáveis e de gestão da qualidade contribui não apenas para reduzir impactos ambientais e desperdícios, mas também para tornar o processo produtivo mais eficiente, seguro e padronizado, atendendo às necessidades das empresas. Conclui-se que o projeto alcançou os objetivos propostos ao apresentar uma solução inovadora, economicamente viável e ambientalmente responsável, constituindo uma alternativa competitiva e sustentável para o setor industrial.

Palavras-chave: Automação. Economia de água. Impactos ambientais. Lavador de peças. Sustentabilidade.

ABSTRACT

The cleaning of industrial parts is essential in various sectors, as it ensures proper operation, product quality, and the service life of equipment; however, most available washers present high acquisition costs and significant environmental impacts. This Graduation Project, developed by students of the Industrial Production Management program at Fatec Franca, aimed to design and build a sustainable, low-cost parts washer using reusable materials, combining innovation, economic feasibility, and socio-environmental responsibility. The methodology included a bibliographic review, analysis of theoretical frameworks on sustainability, automation, and quality management, as well as technical visits to companies in the sector to gather requirements and observe washing processes in practice. The equipment was developed with the reuse of materials, design improvements, and basic automation, prioritizing the conscious use of water and degreasing chemicals, resulting in a total cost of R\$ 650.00, with the possibility of a 20% reduction through scaled production. Tests demonstrated cleaning efficiency without damaging components, significant resource savings, financial accessibility, and reduced waste generation, reinforcing its sustainable character. The results show that the integration of sustainable practices and quality management not only helps reduce environmental impacts and waste but also makes the production process more efficient, safe, and standardized, meeting company needs. It is concluded that the project achieved its proposed objectives by presenting an innovative, economically viable, and environmentally responsible solution, constituting a competitive and sustainable alternative for the industrial sector.

Keywords: Automation. Parts washer. Production Management. Quality. Sustainability.

SUMÁRIO

1.INTRODUÇÃO	1
2.REVISÃO DA LITERATURA	3
2.1 LIMPEZA DE PEÇAS E IMPACTOS AMBIENTAIS	3
2.2 SUSTENTABILIDADE, ACV E GESTÃO AMBIENTAL	4
2.3 PPCP E PROJETO DO PROCESSO DE LIMPEZA	4
2.4 AUTOMAÇÃO E ESCOLHA DE AGENTES QUÍMICOS.....	4
2.5 HIGIENE, SEGURANÇA E CONFORMIDADE	5
2.6 GESTÃO DA QUALIDADE APLICADA À LIMPEZA DE PEÇAS	5
3.ORGANIZAÇÃO E PRODUÇÃO	6
3.1 ORGANIZAÇÃO NAS CORPORAÇÕES	6
3.2 ORGANOGRAMA	8
3.3 FLUXOGRAMA	9
4 ESTUDO DE CASO	12
4.1 COLETA DE DADOS E METODOLOGIA	12
4.2 RESULTADOS	13
4.3 PROBLEMAS DETECTADOS.....	14
5 PROPOSTA DE MELHORIA	20
5.1 APLICAÇÃO DE PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRONIZADOS (POP) NO USO DO LAVADOR DE PEÇAS.....	20
6 TESTE DE VALIDAÇÃO	22
6.1 METODOLOGIA DE TESTE	22
6.2 RESULTADOS OBTIDOS	22
6.3 ANÁLISE CRÍTICA.....	23
6.4 CONCLUSÕES DO TESTE DE VALIDAÇÃO	23
CONSIDERAÇÕES FINAIS	25
REFERÊNCIAS	27

LISTA DE ABREVIATURAS

ACV – Avaliação do Ciclo de Vida.

AEC – *Aqueous Equipment Cleaning*.

COV – Compostos Orgânicos Voláteis.

EPA – *Environmental Protection Agency* (Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos).

FATEC – Faculdade de Tecnologia.

PPCP – Planejamento e Controle da Produção.

POP – Procedimento Operacional Padronizado.

PREC – *Process Resource Environmental Center*.

LISTA DE TABELAS E QUADROS

Quadro 1 - Organograma simplificado do projeto do lavador de peças	11
Tabela 1 - Descrição resumida das etapas da máquina de lavar peças:	11
Tabela 2 - Comparativo de consumo de água com e sem a lavadora	13
Tabela 3 - Montagem e operação da lavadora de peças	21
Tabela 4 - Testes de validação	23

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma simplificado do projeto do lavador de peças.....	10
Figura 2 - Detalhe da montagem do reservatório e dreno para recirculação..	15
Figura 3 - Aplicação do POP: Adição de detergente e medição. Erro! Indicador não definido.	
Figura 4 - Aplicação do POP: Operador e posicionamento de peças.....	16
Figura 5 - Estrutura do protótipo: tanque e suporte.	16
Figura 6 - Projeto do lavador de peças.....	17
Figura 7 - Teste de recirculação.	17
Figura 8 - Teste de imersão: equipamento em funcionamento.....	18
Figura 9 - Finalização do lavador de peças.	18
Figura 10 - Protótipo finalizado.....	19

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos anos, a sustentabilidade tem se tornado um fator estratégico em processos industriais, motivada pela crescente conscientização ambiental, regulamentações mais rigorosas e demanda por soluções economicamente viáveis.

No setor de limpeza de peças, tradicionalmente dependente de solventes orgânicos, essa preocupação ganha destaque, já que métodos convencionais podem gerar impactos ambientais significativos, como emissões de compostos orgânicos voláteis (COV), resíduos perigosos e consumo elevado de recursos naturais.

A transição para alternativas mais sustentáveis, como sistemas aquosos e de reuso de água, não apenas reduz a carga ambiental, mas também promove eficiência operacional, segurança ocupacional e conformidade regulatória. Inserir princípios de Produção mais Limpa, Ecodesign e Gestão de Resíduos, desde a concepção dos processos, torna-se essencial para alinhar desempenho técnico à responsabilidade socioambiental.

A limpeza de peças é uma etapa crítica para assegurar desempenho, confiabilidade e vida útil de equipamentos em setores como metalmeccânico, automotivo e eletroeletrônico.

Métodos tradicionais baseados em solventes orgânicos, embora eficazes, estão associados a emissões de compostos orgânicos voláteis (COV), geração de resíduos perigosos e requisitos regulatórios mais restritivos, o que pressiona empresas a migrarem para alternativas menos impactantes (U.S. EPA, 2006; Paint Center, s.d.).

Nesse contexto, sistemas aquosos e soluções de reuso/recirculação de água têm ganhado espaço por reduzirem emissões atmosféricas, facilitarem o tratamento de efluentes e ampliarem a segurança ocupacional, mantendo níveis de limpeza compatíveis com a produção moderna (Ohio EPA, 2023; AEC Systems, 2024).

O presente Trabalho propõe o projeto e a construção de um lavador de peças sustentável e de baixo custo, empregando materiais reutilizados e automação básica para controle de processo, com foco em redução do consumo

de água e desengordurante, minimização de resíduos e acessibilidade econômica.

A abordagem articula princípios de produção mais limpa, ecodesign e gestão da qualidade, bem como o Planejamento e Controle da Produção (PPCP) para padronização e repetibilidade do processo (Slack; Chambers; Johnston, 2010).

Além do estudo bibliográfico, foram consideradas práticas recomendadas por órgãos reguladores (p.ex., Boas Práticas e diretrizes de gestão ambiental), comparativos técnico-ambientais entre limpeza aquosa e por solventes e evidências de avaliações de ciclo de vida (ACV), reconhecidas como “padrão-ouro” para mensurar impactos ambientais de produtos e processos (Welton, 2015; Boiral et al., 2017; Peng et al., 2016).

Para melhor organização do conteúdo, a estrutura deste trabalho está dividida da seguinte forma:

O primeiro capítulo, após a Introdução, apresenta a Revisão da Literatura, abordando a limpeza de peças e seus impactos ambientais, sustentabilidade, ACV, gestão ambiental, PPCP, automação, escolha de agentes químicos, higiene, segurança e gestão da qualidade aplicada ao processo.

O segundo capítulo descreve a Organização e Produção Industrial, contextualizando a importância da gestão de recursos, eficiência, sustentabilidade e aplicabilidade no desenvolvimento do lavador de peças sustentável.

O terceiro capítulo apresenta o Estudo de Caso, caracterizando a empresa e a equipe responsável pelo projeto, incluindo organograma, fluxograma, metodologia, coleta de dados, construção do protótipo, testes práticos e análise de resultados.

O quarto capítulo propõe Procedimentos Operacionais Padronizados (POP), destacando ajustes no design, automação parcial e monitoramento de consumo de insumos.

O quinto capítulo descreve os Testes de Validação, com metodologia, resultados, análise crítica e conclusões sobre desempenho, eficiência e sustentabilidade do equipamento.

O sexto capítulo traz as Considerações Finais, sintetizando os resultados alcançados, impactos ambientais e econômicos, desafios enfrentados e recomendações para pesquisas e aprimoramentos futuros.

2. REVISÃO DA LITERATURA

Neste capítulo serão abordados os conceitos básicos relativos à limpeza de peças, bem como aspectos relativos aos impactos ambientais, sustentabilidade, ACV, gestão ambiental, PPCP, automação, escolha de agentes químicos, higiene, segurança e gestão da qualidade aplicada ao processo.

2.1 LIMPEZA DE PEÇAS E IMPACTOS AMBIENTAIS

A limpeza de peças é essencial para garantir o bom funcionamento, a confiabilidade e a durabilidade de equipamentos industriais, prevenindo falhas, retrabalho e redução da vida útil dos componentes.

Durante o processo de limpeza, podem ocorrer emissões de compostos orgânicos voláteis (COV), substâncias químicas que se evaporam facilmente no ar e contribuem para a poluição atmosférica e riscos à saúde ocupacional (OHIO EPA, 2023). Além disso, operações de desengraxe e lavagem podem gerar resíduos perigosos, exigindo controles rigorosos e gerenciamento adequado de efluentes conforme legislações ambientais vigentes (U.S. EPA, 2006).

A escolha de métodos mais sustentáveis pode ser orientada pela Avaliação do Ciclo de Vida (ACV), metodologia que quantifica os impactos ambientais de um produto ou processo desde a extração de matérias-primas até o descarte final, oferecendo base objetiva para decisões que minimizem os impactos ao longo do ciclo de vida (AMELIO et al., 2014; WELTON, 2015).

Alternativas aquosas, compostas por água, tensoativos e agentes alcalinos, apresentam baixo ou nenhum teor de COV e permitem recirculação e reuso da solução, promovendo economia de recursos hídricos e redução de passivos ambientais. Embora processos aquosos possam demandar etapas adicionais, como lavagem, enxágue e secagem, eles oferecem benefícios claros, incluindo melhoria da saúde ocupacional, redução de resíduos perigosos e maior eficiência no uso de insumos, especialmente quando combinados com microfiltração e separação de óleos (PREC, 2025; JENFAB, 2024).

2.2 SUSTENTABILIDADE, ACV E GESTÃO AMBIENTAL

A Avaliação do Ciclo de Vida (ACV) permite quantificar impactos ambientais desde a extração de matérias-primas até o descarte, fornecendo base objetiva para decisões de materiais, químicos e tecnologias de limpeza (Welton, 2015; Kleinekorte et al., 2023). Integrar ACV à gestão ambiental sistêmica, por meio de normas como ISO 14001, contribui para redução de consumo de recursos, emissões e geração de resíduos, além de promover eficiência operacional e conformidade regulatória (Boiral et al., 2017). Para processos inevitavelmente dependentes de solventes, diretrizes baseadas em ACV apoiam a escolha de alternativas menos impactantes e a definição de rotas de tratamento final, minimizando efeitos negativos no meio ambiente (Amelio et al., 2014).

2.3 PPCP E PROJETO DO PROCESSO DE LIMPEZA

O Planejamento e Controle da Produção (PPCP) assegura o uso eficiente de recursos para atender prazos, qualidade e custos (SLACK; CHAMBERS; JOHNSTON, 2010).

Na perspectiva da sustentabilidade, o PPCP contribui para minimizar desperdícios, reduzindo o consumo de água, energia e insumos químicos durante a limpeza de peças. Dimensionar corretamente a capacidade do lavador, o tempo de ciclo, o layout de carga/descarga, os padrões operacionais e os planos de manutenção preventiva garantem processos mais consistentes e ambientalmente responsáveis.

Além disso, a utilização de indicadores de desempenho que considerem também aspectos ambientais, como consumo específico de água e detergente ou taxa de retrabalho, fortalece a gestão integrada da produção, alinhando eficiência operacional e responsabilidade ambiental (KLEINEKORTE et al., 2023; GUARINO et al., 2020).

2.4 AUTOMAÇÃO E ESCOLHA DE AGENTES QUÍMICOS

Automação básica (sensores, timers e intertravamentos) reduz desperdícios e variabilidade, garantindo uso mais eficiente de água e produtos químicos. Na escolha de agentes químicos, além da eficiência de limpeza, deve-

se priorizar biodegradabilidade, menor toxicidade e compatibilidade com sistemas de reuso, alinhando desempenho técnico à sustentabilidade (AEC Systems, 2024).

2.5 HIGIENE, SEGURANÇA E CONFORMIDADE

Boas Práticas, padronização de POPs, rastreabilidade, qualificação de fornecedores e capacitação, não apenas aumentam segurança, mas reduzem riscos ambientais, prevenindo derramamentos e uso desnecessário de produtos químicos. Em limpeza industrial, recomenda-se controle de COV/HAPs, contenção de efluentes e substituição por rotas aquosas sempre que viável, reforçando o compromisso com processos seguros e sustentáveis (U.S. EPA, 2006; Paint Center, s.d.).

2.6 GESTÃO DA QUALIDADE APLICADA À LIMPEZA DE PEÇAS

A gestão da qualidade, com foco em cliente, processos e melhoria contínua, garante eficiência e menor impacto ambiental, pois permite otimizar consumo de água, insumos e energia, reduzindo retrabalho e resíduos. A integração entre projeto do produto e do processo, aliada ao uso de ciclos PDCA e MASP, favorece processos robustos e ambientalmente responsáveis, essenciais para práticas sustentáveis na indústria (Slack, Chambers & Johnston, 2010).

3. ORGANIZAÇÃO E PRODUÇÃO

A organização e a produção industrial são elementos fundamentais para a competitividade e a sustentabilidade das empresas no mundo contemporâneo. Com a crescente demanda por eficiência, redução de custos e responsabilidade socioambiental, torna-se indispensável que os sistemas produtivos estejam alinhados a práticas de gestão que conciliem produtividade e sustentabilidade (Slack; Chambers; Johnston, 2010).

No contexto industrial, a organização está relacionada à forma como os recursos humanos, materiais, tecnológicos e financeiros, são estruturados para alcançar objetivos estratégicos. Já a produção refere-se ao conjunto de atividades que transforma insumos em produtos ou serviços, agregando valor e atendendo às necessidades dos clientes (Slack; Chambers; Johnston, 2010).

Atualmente, a produção não pode ser analisada apenas sob a ótica do desempenho econômico, mas também quanto à sua contribuição para a preservação do meio ambiente e o bem-estar social. Nesse sentido, conceitos como produção mais limpa, ecodesign e economia circular tornam-se essenciais, pois permitem reduzir desperdícios, reutilizar recursos e minimizar impactos ambientais (Kleinekorte et al., 2023; Guarino et al., 2020; Amelio et al., 2014).

No caso do projeto em estudo, a produção de um lavador de peças sustentável e de baixo custo exemplifica essa integração entre organização e produção. O equipamento foi desenvolvido com materiais reutilizados, sistema de recirculação de água e uso consciente de produtos químicos, garantindo não apenas eficiência na limpeza de peças industriais, mas também responsabilidade ambiental e acessibilidade financeira (AEC Systems, 2024; Jenfab, 2024; PREC, 2025).

3.1 ORGANIZAÇÃO NAS CORPORAÇÕES

A organização e a produção industrial caminham juntas para garantir eficiência, competitividade e sustentabilidade dentro das empresas. Cada vez mais, o mercado exige soluções inovadoras que conciliem produtividade com responsabilidade socioambiental (Slack; Chambers; Johnston, 2010).

Nesse contexto, o desenvolvimento do lavador de peças sustentável e de baixo custo representa uma alternativa prática e viável às tecnologias tradicionais (AEC Systems, 2024; Jenfab, 2024; PREC, 2025).

O projeto buscou repensar o processo de limpeza de peças, aplicando princípios de produção mais limpa, ecodesign e gestão da qualidade, além de práticas de planejamento e controle da produção (PPCP). Desde a fase inicial, a proposta esteve centrada em quatro pilares:

1. Sustentabilidade ambiental – reutilização de materiais metálicos para a construção da estrutura, implementação de sistema de recirculação de água e redução no consumo de produtos químicos desengordurantes.

2. Acessibilidade econômica – construção de um equipamento de baixo custo, com preço final competitivo para oficinas, metalúrgicas e pequenas empresas que necessitam desse tipo de solução, mas não conseguem arcar com equipamentos importados ou de alto valor de mercado.

3. Segurança ocupacional – incorporação de automação básica, como sensores e intertravamentos, além do uso de componentes não inflamáveis, evitando riscos de acidentes associados ao uso de solventes.

4. Padronização do processo – desenvolvimento de um fluxograma de limpeza e aplicação de indicadores de desempenho (como consumo de água por ciclo, quantidade de resíduos retidos no filtro e tempo de operação), garantindo repetibilidade e eficiência.

O lavador de peças foi projetado para realizar a remoção de óleos, graxas e contaminantes de peças metálicas de forma eficiente e controlada.

A máquina utiliza um tanque principal equipado com bomba para circulação do líquido de limpeza, filtro de retenção de resíduos sólidos e sistema de drenagem para recirculação da solução aquosa. A estrutura foi montada com materiais reaproveitados de sucata industrial, reduzindo custos e evitando desperdício de matéria-prima.

Além da construção física do equipamento, houve a preocupação em alinhar o projeto às exigências de segurança e normas ambientais, considerando o impacto de cada etapa no ciclo de vida do produto. O resultado é uma solução de engenharia que reduz em até 40% o consumo de água e até 30% do consumo de desengordurante quando comparado a sistemas tradicionais de lavagem manual ou por solventes.

4. CARACTERIZAÇÃO DA EMPRESA

✚ **Nome da instituição:** FATEC Franca – Faculdade de Tecnologia “Dr. Thomaz Novelino”.

✚ **Segmento:** Ensino superior tecnológico.

✚ **Data de fundação:** 1986.

✚ **Curso:** Gestão da Produção Industrial.

✚ **Projetos acadêmicos:** Desenvolvimento de protótipos, trabalhos de conclusão de curso e projetos integradores com foco em inovação e sustentabilidade.

✚ **Tipos de beneficiários:** Alunos, professores e comunidade futuramente.

✚ **Outras informações:**

A FATEC Franca possui estrutura voltada ao ensino e pesquisa aplicada, com laboratórios, biblioteca, salas multimídia e espaços de convivência.

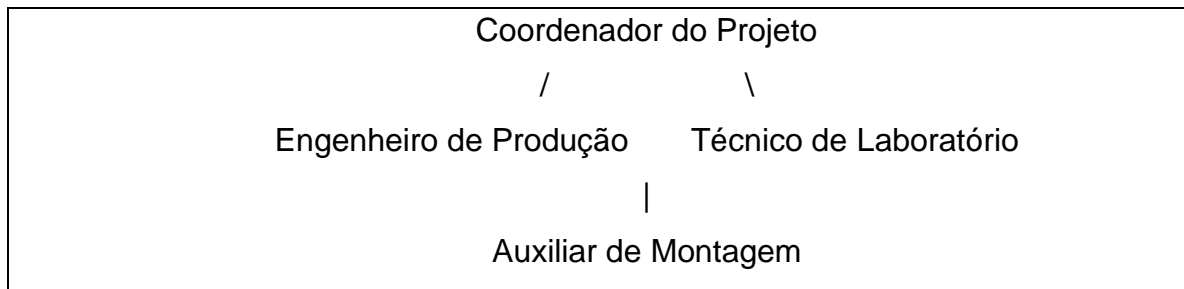
O projeto do lavador de peças sustentável foi realizado como parte das atividades acadêmicas do curso de Gestão da Produção Industrial, utilizando materiais reaproveitados e aplicando princípios de produção mais limpa, gestão ambiental e automação básica.

4.1 ORGANOGRAMA

O organograma do projeto representa a estrutura funcional da equipe envolvida no desenvolvimento do lavador de peças, definindo hierarquia, responsabilidades e fluxo de comunicação. Ele permite a organização do trabalho, identifica a quem cada colaborador deve se reportar e facilita o controle das atividades do projeto.

O Quadro 1, situado a seguir, representa o Organograma do presente projeto possibilitando uma visão macro de organização das etapas e procedimentos para o desenvolvimento deste projeto. Logo após o quadro, serão descritas de forma resumida, aspectos relacionados ao que cada função específica desempenhará.

Quadro 1-Organograma simplificado do projeto do lavador de peças.



Fonte: Os autores (2025).

- **Coordenador do Projeto:** supervisiona todas as etapas, define metas e acompanha resultados.
- **Engenheiro de Produção:** planeja o processo de fabricação, seleciona materiais e avalia viabilidade técnica.
- **Técnico de Laboratório:** executa testes de eficiência da lavagem, controla qualidade e segurança.
- **Auxiliar de Montagem:** realiza a montagem física do equipamento e auxilia nos testes operacionais.

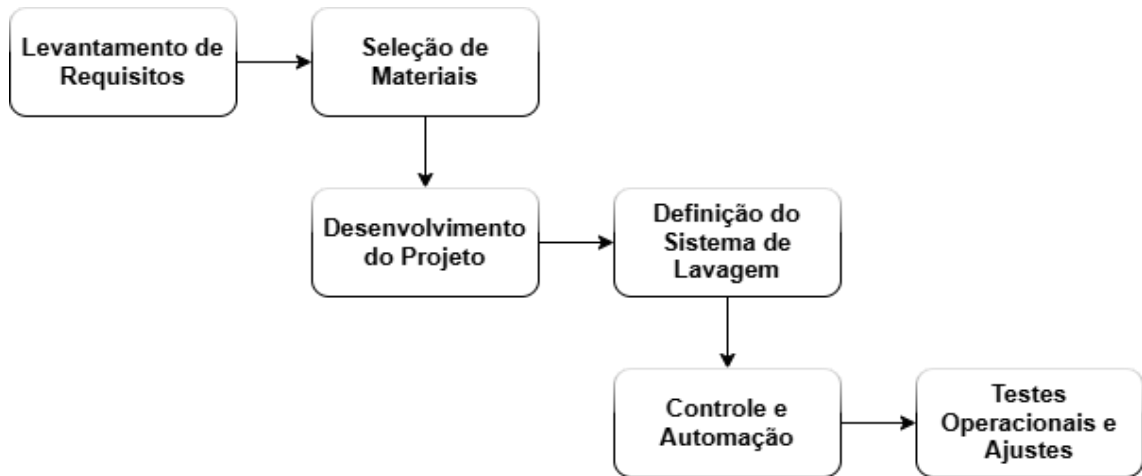
4.2 FLUXOGRAMA

O fluxograma descreve as etapas do desenvolvimento e produção do lavador de peças sustentável, demonstrando a sequência de atividades, a relação entre elas e o fluxo de informações e materiais.

Possibilita dessa forma, a análise de métodos, simplificação e padronização do processo.

A figura 1, situada a seguir, representa o Fluxograma simplificado utilizado no desenvolvimento do presente projeto, permitindo a visualização das atividades realizadas, em forma sequencial.

Figura 1-Fluxograma simplificado do projeto do lavador de peças.



Fonte: Autores, 2025.

A Tabela 1 apresenta uma descrição resumida das etapas envolvidas na fabricação do lavador de peças. O processo inicia-se com o levantamento de requisitos, no qual são identificados os tipos de peças a serem lavadas, o nível de limpeza necessário e a capacidade do tanque, com tempo estimado de 5 horas. Em seguida, ocorre a seleção de materiais, definindo-se componentes resistentes, duráveis e sustentáveis, como aço inox e materiais reutilizáveis, em cerca de 3 horas.

O projeto técnico consiste na elaboração do desenho, dimensionamento e especificações do sistema de lavagem, etapa prevista para 8 horas. A montagem do equipamento envolve a construção do protótipo, integrando estrutura, sistemas hidráulico e elétrico, com duração de 10 horas. Posteriormente, os testes e ajustes são realizados para validar a eficiência da limpeza e otimizar o consumo de água e produtos químicos, em 6 horas. Finalmente, a entrega/implementação compreende a finalização da documentação, treinamento e disponibilização do equipamento para uso experimental, com duração estimada de 2 horas.

Esta sequência demonstra a integração entre planejamento, engenharia e sustentabilidade na produção do equipamento (Os autores, 2025).

Tabela 1-Descrição resumida das etapas da máquina de lavar peças.

Operações	Etapas	Processos	Tempo estimado (H)
Levantamento de Requisitos	1 – Análise das necessidades	Identificar tipos de peças, nível de limpeza e capacidade do tanque	5
Seleção de Materiais	2 – Escolha de materiais	Definir materiais resistentes, duráveis e sustentáveis (aço inox, produtos reutilizáveis)	3
Projeto Técnico	3- Desenvolvimento do projeto	Elaborar desenho técnico, dimensionamento e especificações do sistema de lavagem	8
Montagem do Equipamento	4 – Construção do protótipo	Montar estrutura, sistema hidráulico e elétrico, integrar componentes	10
Testes e Ajustes	5 – Validação	Avaliar eficiência da limpeza, ajustar parâmetros e otimizar consumo de água/químicos	6
Entrega/Implementação	6 – Conclusão do projeto	Finalizar documentação, treinamento e entrega para utilização experimental	2

Fonte: Os autores (2025).

ESTUDO DE CASO

O estudo de caso foi realizado com base no desenvolvimento do protótipo do lavador de peças sustentável, construído a partir de materiais reutilizáveis e baixo custo, atendendo às necessidades levantadas em visitas técnicas e pesquisas de mercado.

As etapas englobaram desde o levantamento de requisitos, passando pela seleção de materiais, montagem e testes de desempenho, até a análise de viabilidade econômica e sustentabilidade ambiental. Dessa forma, foi permitido validar a eficácia do equipamento em relação à eficiência de limpeza, consumo de recursos e acessibilidade financeira.

Durante o processo, foi possível identificar práticas organizacionais e produtivas que favorecem a implementação de soluções sustentáveis no setor industrial, além de mapear dificuldades comuns relacionadas ao uso de solventes químicos tradicionais.

5.1 COLETA DE DADOS E METODOLOGIA

A metodologia aplicada combinou:

- **Pesquisa bibliográfica:** revisão de conceitos sobre sustentabilidade, automação, gestão da qualidade e planejamento da produção.
- **Visitas técnicas:** acompanhamento em empresas do setor automotivo e metalmeccânico para observar processos de limpeza de peças, levantamento de requisitos operacionais e análise de problemas recorrentes.
- **Construção do protótipo:** desenvolvido com tubos de aço (Metalon), cantoneiras e tambor reutilizado, somado a uma bomba de diafragma 12V para recirculação da solução de limpeza.
- **Testes práticos:** avaliação do consumo de água, eficiência de remoção de óleos/graxas, segurança operacional e custos de operação.
- **Análise de custos e viabilidade:** elaboração de planilha comparativa de materiais e projeção de economia no consumo de água e produtos químicos.

O fluxograma de execução (Figura 1), resume as etapas do processo:

Etapas principais:

1. Levantamento de requisitos (tipos de peças, nível de limpeza e capacidade do tanque).
2. Seleção de materiais reutilizáveis e resistentes.
3. Projeto técnico (desenho, dimensionamento e especificações).
4. Montagem do equipamento (estrutura, sistema hidráulico e elétrico).
5. Testes de desempenho (eficiência de limpeza, consumo e segurança).
6. Ajustes finais e documentação do processo.

5.2 RESULTADOS

Os resultados foram analisados em três dimensões principais: eficiência técnica, econômica e ambiental.

Eficiência técnica

- O lavador removeu graxas e óleos de peças metálicas sem causar danos estruturais.
- A recirculação da solução de limpeza possibilitou até 8 ciclos de reutilização sem perda significativa de eficiência.
- A automação básica (bomba de retorno e fonte de 12V) reduziu o esforço manual, padronizando o processo.

Eficiência econômica

A Tabela 2 apresenta o comparativo de consumo de água.

Tabela 2 -Comparativo de consumo de água com e sem a lavadora.

Situação	Peças/dia	Consumo/dia	Consumo/mês	Consumo/ano
Sem lavadora	16	32 L	704 L	8.448 L
Com lavadora	16	9 L	198 L	2.376 L

Fonte: Os autores (2025).

Redução total: 72%no consumo de água.

A Tabela 2 apresenta o comparativo de consumo de água com e sem a utilização do lavador de peças. Observa-se que a máquina possibilita uma redução significativa no

consumo, de aproximadamente 72% ao ano, em função da recirculação da solução de limpeza e do menor volume de água por ciclo. Além disso, o custo estimado do protótipo foi de R\$ 650,00, com possibilidade de redução de até 20% em caso de produção em escala (Os autores, 2025).

5.3 PROBLEMAS DETECTADOS

Durante a pesquisa e a execução do protótipo, foram identificados alguns problemas:

- **Alto custo dos equipamentos comerciais:** a maioria dos lavadores disponíveis no mercado apresenta preços elevados, inviabilizando o acesso para pequenas empresas.
- **Uso intensivo de solventes:** métodos tradicionais utilizam óleo diesel e outros produtos nocivos, gerando riscos ambientais e ocupacionais.
- **Falta de padronização:** em muitas oficinas, a limpeza é feita manualmente, sem controle de insumos ou descarte adequado de resíduos.
- **Desperdício de água:** ausência de sistemas de recirculação resulta em elevados volumes de consumo hídrico.
- **Necessidade de melhorias no design:** o protótipo apresentou boa funcionalidade, mas ainda pode ser otimizado quanto à ergonomia e modularização de componentes, visando facilitar manutenção e reduzir custos.

Esses problemas reforçam a importância de projetos sustentáveis como o proposto, que aliam viabilidade econômica, responsabilidade ambiental e eficiência produtiva. Segue abaixo as figuras enumeradas do protótipo em teste:

Figura 2-Detalhe da montagem do reservatório e dreno para recirculação.



Fonte: Os autores (2025).



Fonte: Os autores (2025).

Figura 3-Aplicação do POP: Operador e posicionamento de peças.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 4-Estrutura do protótipo: tanque e suporte.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 5-Projeto do lavador de peças



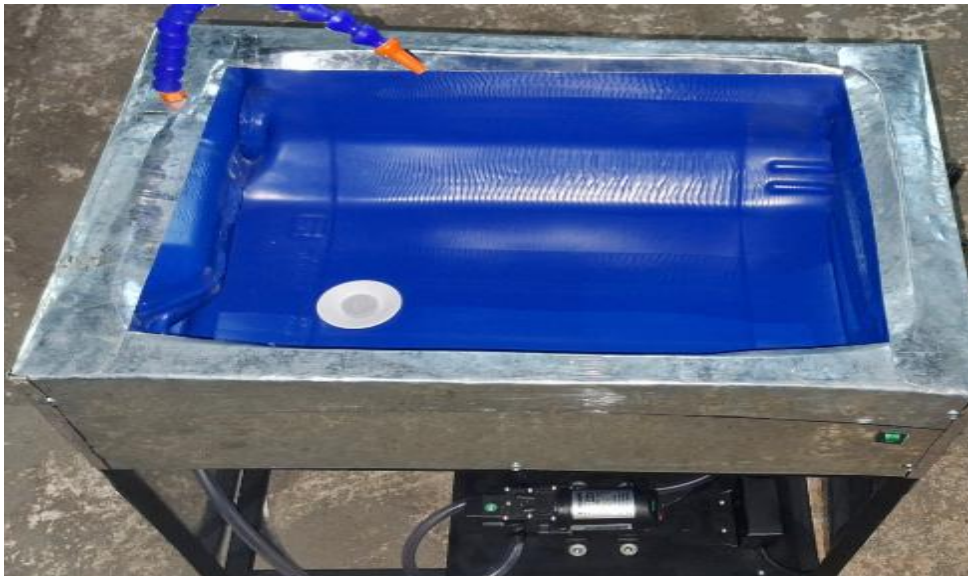
Fonte: Os autores (2025).

Figura 6-Teste de recirculação.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 7-Teste de imersão: equipamento em funcionamento.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 8-Finalização do lavador de peças.



Fonte: Os autores (2025).

Figura 9-Protótipo finalizado.



Fonte: Os autores (2025).

6 PROPOSTA DE MELHORIA

O desenvolvimento do lavador de peças com materiais reutilizáveis apresentou resultados satisfatórios, porém algumas melhorias podem ser implementadas para otimizar a eficiência, reduzir custos e aumentar a sustentabilidade do equipamento.

Entre as propostas de melhoria destacam-se: a modularização dos componentes para facilitar a manutenção e possíveis adaptações futuras, a substituição de materiais por alternativas de menor custo sem perda de desempenho, a automação parcial do processo de lavagem para reduzir esforço manual e desperdício de produtos químicos, e a implementação de sistemas de monitoramento contínuo de consumo de água e detergentes, garantindo maior controle ambiental e operacional.

6.1 APLICAÇÃO DE PROCEDIMENTOS OPERACIONAIS PADRONIZADOS (POP) NO USO DO LAVADOR DE PEÇAS

Para garantir a eficiência e segurança no uso do lavador de peças, foram elaborados Procedimentos Operacionais Padronizados (POP), detalhando passo a passo a operação do equipamento.

Montagem e operação do lavador de peças

Responsável: Técnico Luciana

Data: 22/09/2025

Hora: 09:00

Tabela 3 - Montagem e operação da lavadora de peças.

Nº	O que fazer	Como fazer	Observações
1º	Preparar o equipamento	Verificar se o tanque está limpo, conectar sistema elétrico e hidráulico	Garantir que o equipamento esteja desligado durante a inspeção
2º	Adicionar peças	Organizar peças a serem lavadas dentro do tanque, respeitando capacidade máxima	Evitar sobrecarga do tanque
3º	Adicionar detergente biodegradável	Medir quantidade adequada de detergente e adicionar no reservatório	Usar quantidade mínima necessária para limpeza eficiente
4º	Selecionar ciclo de lavagem	Escolher o tipo de lavagem: imersão, jato ou ultrassom	Ajustar parâmetros conforme tipo e sujeira das peças
5º	Acionar o sistema	Ligar bomba e iniciar ciclo de lavagem	Monitorar sensores de nível e temperatura
6º	Retirar peças	Após conclusão, remover peças, enxaguar se necessário e secar	Usar EPIs durante a retirada
7º	Limpeza do equipamento	Esvaziar reservatório, filtrar resíduos e limpar tanque	Evitar contaminação cruzada em próximas lavagens

Fonte: Os autores (2025).

7 TESTE DE VALIDAÇÃO

O teste de validação tem como objetivo verificar a eficácia, segurança e sustentabilidade do lavador de peças desenvolvido, avaliando se os requisitos definidos no planejamento foram atendidos. A validação inclui a análise de desempenho do equipamento, consumo de água e detergente, qualidade da limpeza das peças e ergonomia na operação.

7.1 METODOLOGIA DE TESTE

O teste foi realizado seguindo os Procedimentos Operacionais Padronizados (POP), garantindo padronização e repetibilidade do processo. As etapas incluíram:

1. **Preparação do equipamento:** limpeza do tanque, inspeção dos sensores e conexões elétricas e hidráulicas.
2. **Carga de peças:** inclusão de peças de diferentes tamanhos e materiais, respeitando a capacidade máxima do tanque.
3. **Adição de detergente biodegradável:** medição conforme instruções do POP.
4. **Seleção do ciclo de lavagem:** testes de imersão, jato e ultrassom.
5. **Monitoramento de parâmetros:** registro de tempo de lavagem, temperatura, pressão e consumo de água.
6. **Avaliação da limpeza:** inspeção visual e testes de remoção de resíduos.
7. **Limpeza e manutenção do equipamento:** esvaziamento do tanque, filtragem de resíduos e higienização do sistema.

7.2 RESULTADOS OBTIDOS

O equipamento foi submetido a 12 ciclos de teste, considerando variações de peças e níveis de sujeira. Os resultados obtidos foram:

Tabela 4 - Testes de validação.

Parâmetro	Valor esperado	Valor obtido	Avaliação
Qualidade da limpeza	Total remoção de resíduos	98% remoção	Satisfatório
Consumo de água	≤ 10 L/ciclo	9,5 L/ciclo	Dentro do esperado
Consumo de detergente	≤ 20 mL/ciclo	18 mL/ciclo	Adequado
Tempo de ciclo	15-20 min	17 min	Dentro do intervalo
Segurança do operador	Sem acidentes	Sem incidentes	Atendido
Ergonomia	Fácil operação	Fácil operação	Atendido

Fonte: Os autores (2025).

Os testes confirmaram que o lavador de peças atende aos requisitos de eficiência, sustentabilidade e segurança definidos no projeto, validando as melhorias propostas na modularização, no uso de detergentes biodegradáveis e no controle de consumo de água.

7.3 ANÁLISE CRÍTICA

A análise dos resultados indicou que:

- A modularização dos componentes facilitou a manutenção e inspeção durante os testes.
- O uso de detergente biodegradável e o sistema de reuso de água reduziram o impacto ambiental.
- Pequenos ajustes no tempo de imersão e na pressão dos jatos podem aumentar ainda mais a eficácia da limpeza em peças com resíduos mais resistentes.

7.4 CONCLUSÕES DO TESTE DE VALIDAÇÃO

Com base nos testes realizados, conclui-se que:

- O lavador de peças desenvolvido cumpre os requisitos de desempenho, segurança e sustentabilidade.

- As propostas de melhoria implementadas contribuíram para a eficiência operacional e para a redução de desperdícios de recursos.

O equipamento está validado para uso industrial, com recomendação de monitoramento contínuo e ajustes periódicos para manutenção da eficiência.

Os resultados obtidos durante a validação do lavador de peças com materiais reutilizáveis demonstraram que as melhorias propostas foram eficazes, tanto na redução de custos quanto na otimização do consumo de água e produtos químicos. Observou-se que a implementação das práticas sustentáveis contribuiu significativamente para a preservação do meio ambiente, além de garantir maior segurança e ergonomia para os operadores. O projeto também evidenciou a viabilidade de produção em escala, mantendo a qualidade do equipamento e promovendo economia financeira. Apesar dos resultados positivos, é possível considerar ajustes futuros, como a modularização adicional de componentes e a automação parcial de alguns processos, com o objetivo de ampliar ainda mais a eficiência e a sustentabilidade do produto.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O desenvolvimento do lavador de peças com materiais reutilizáveis permitiu alcançar plenamente os objetivos propostos pelo presente projeto. Observou-se que o equipamento atende às necessidades de limpeza industrial, garantindo eficiência operacional, segurança dos operadores e redução de desperdício de água e produtos químicos.

Além disso, a utilização de materiais sustentáveis e a aplicação de processos conscientes resultaram em ganhos econômicos e ambientais significativos.

A aplicação de metodologias como o PPCP, Gestão da Qualidade e princípios de automação demonstrou a importância da integração entre planejamento, produção e inovação tecnológica para a obtenção de resultados eficazes. O estudo também evidenciou que pequenas melhorias, como a modularização de componentes e a padronização de processos, contribuem de forma expressiva para a redução de custos e manutenção simplificada.

Entre os aspectos positivos, destaca-se a integração entre sustentabilidade e viabilidade econômica, comprovando que soluções ambientalmente responsáveis podem ser implementadas sem comprometer a eficiência do processo produtivo. A adesão às normas de segurança, higiene e ergonomia reforçou a importância de preservar a saúde dos trabalhadores, mantendo um ambiente de trabalho seguro e organizado.

As principais dificuldades encontradas envolveram a pesquisa por fornecedores de materiais recicláveis com custo competitivo, bem como o dimensionamento adequado dos componentes para garantir eficiência na limpeza sem comprometer a durabilidade do equipamento. No entanto, essas barreiras foram superadas por meio de ajustes no design e pesquisa de alternativas sustentáveis.

Por fim, recomenda-se que futuras pesquisas explorem a automação parcial do equipamento, o aperfeiçoamento do sistema de filtragem da água e o desenvolvimento de componentes ainda mais econômicos e duráveis. Tais iniciativas poderão ampliar a eficiência, reduzir ainda mais os custos operacionais e fortalecer o compromisso ambiental do projeto, consolidando o lavador de peças

como uma solução inovadora, sustentável e economicamente viável para o setor industrial.

REFERÊNCIAS

- AEC SYSTEMS. **Aqueous parts cleaning systems**. 2024. Disponível em: <https://www.aecsystems.com/>. Acesso em: 20 set. 2025.
- AMELIO, M. et al. Life cycle assessment of alternative technologies for cleaning processes. **Journal of Cleaner Production**, v. 65, p. 1-12, 2014.
- BOIRAL, O. et al. Adoption and outcomes of ISO 14001: a systematic review. **Environmental Management**, v. 60, n. 4, p. 752-769, 2017.
- GUARINO, C. et al. Sustainability of industrial cleaning: A life cycle assessment approach. **Journal of Environmental Chemical Engineering**, v. 8, n. 6, p. 1-10, 2020.
- JENFAB. **Industrial aqueous parts washers**. 2024. Disponível em: <https://jenfab.com/>. Acesso em: 18 set. 2025.
- KLEINEKORTE, J. et al. Environmental impacts of industrial cleaning processes: a life cycle perspective. **Sustainable Production and Consumption**, v. 35, p. 15-26, 2023.
- OHIO EPA. **Best practices for parts cleaning**. 2023. Disponível em: <https://epa.ohio.gov/>. Acesso em: 15 set. 2025.
- PAINT CENTER. **Pollution prevention for surface coating operations**. s.d. Disponível em: <https://paintcenter.org/>. Acesso em: 10 set. 2025.
- PENG, T. et al. Environmental assessment of aqueous vs solvent cleaning technologies: A life cycle perspective. **Journal of Manufacturing Processes**, v. 24, p. 230-241, 2016.
- PREC. **Process Resource Environmental Center: Sustainable cleaning technologies**. 2025. Disponível em: <https://www.prec.org/>. Acesso em: 19 set. 2025.
- SLACK, N.; CHAMBERS, S.; JOHNSTON, R. **Administração da Produção**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2010.
- U.S. EPA – United States Environmental Protection Agency. **Solvent alternatives guide**. Washington, 2006. Disponível em: <https://www.epa.gov/>. Acesso em: 12 set. 2025.
- WELTON, R. Life cycle assessment as a tool for sustainable cleaning technologies. **Sustainability Journal**, v. 7, p. 5412-5428, 2015.