



INOVAÇÃO E PARCERIA NA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL: O DESENVOLVIMENTO DE SISTEMAS DE FILTRAGEM DE ÓLEO SOLÚVEL COMO PRÁTICA INTERDISCIPLINAR

INNOVATION AND PARTNERSHIP IN VOCATIONAL EDUCATION: THE DEVELOPMENT OF SOLUBLE OIL FILTRATION SYSTEMS AS AN INTERDISCIPLINARY PRACTICE

Gilderlon Fernandes Oliveira^{1 i}
Marcus Vinicius dos Reis Venditti^{2 ii}

Data de submissão: (13/03/2026) Data de aprovação: (10/08/2026)

RESUMO

Este artigo descreve um projeto educacional integrador realizado no segundo semestre de 2025 com estudantes de Tecnologia em Mecânica de Precisão do SENAI Suíço-Brasileira. O objetivo central foi o desenvolvimento de dispositivos de baixo custo para o tratamento e reutilização de óleos solúveis em máquinas CNC, visando mitigar problemas de contaminação física, química e biológica. A metodologia seguiu a Aprendizagem Baseada em Projetos (*Project-Based Learning* – PBL), estruturada em etapas que incluíram desde a concepção via *Project Canvas* até a fabricação de protótipos e *mock-ups* funcionais. Os alunos projetaram variadas soluções, como *skimmers* de correia, tanques de decantação passiva e sistemas de dosagem de biocidas. Os resultados demonstraram a eficácia da filtragem na redução de custos operacionais e no prolongamento da vida útil dos fluidos em até 40%, além de promoverem uma formação profissional conectada com as demandas de sustentabilidade e eficiência da Indústria 4.0. O engajamento dos discentes evidenciou a importância da integração entre teoria e prática para a resolução de desafios reais do mercado de trabalho.

Palavras-chave: ensino técnico, aprendizagem ativa, projeto integrador, óleo solúvel, inovação pedagógica.

ABSTRACT

This paper presents an integrative educational project carried out during the second semester of 2025 with undergraduate students from the Precision Mechanics Technology program at SENAI Suíço-Brasileira. The main objective was to design and develop low-cost devices for the treatment and reuse of soluble oils used in CNC machining processes, aiming to mitigate physical, chemical, and microbiological contamination. The methodological approach was based on Project-Based Learning (PBL), structured through stages that included problem diagnosis, literature review, Project Canvas development, 3D modeling, rapid prototyping, and experimental validation. The students developed different technical solutions, such as belt skimmers, passive decantation tanks, mechanical filtration systems, and controlled biocide

¹ Docente e Mestre em Ciências do Centro Universitário SENAI-SP - Campus Santo Amaro. E-mail: gilderlon.oliveira@sp.senai.br

² Docente e Mestre em Administração do Centro Universitário SENAI-SP - Campus Santo Amaro. E-mail: marcus.venditti@sp.senai.br

dosing mechanisms. The results demonstrated that the proposed systems were effective in extending the service life of soluble oils by up to 40%, reducing operational costs, minimizing the disposal of hazardous waste, and improving occupational health conditions. In addition, the project contributed significantly to vocational education by strengthening the integration between theory and practice, fostering interdisciplinary learning, and developing technical and socio-emotional competencies aligned with the principles of sustainability and Industry 4.0.

Keywords: technical education, active learning, integrative project, soluble oil, pedagogical innovation

1. INTRODUÇÃO

As transformações tecnológicas e organizacionais que caracterizam o cenário produtivo contemporâneo têm ampliado a necessidade de modelos formativos capazes de integrar conhecimentos científicos, competências técnicas e capacidades de resolução de problemas em contextos reais de trabalho. Nesse cenário, a educação profissional e tecnológica assume papel estratégico na preparação de profissionais aptos a atuar em ambientes industriais dinâmicos, marcados pela intensificação da automação, pela digitalização dos processos produtivos e pela crescente incorporação de princípios de sustentabilidade e inovação (Poirier; Remsen, 2017). Tais demandas têm impulsionado a adoção de abordagens pedagógicas que favoreçam a aprendizagem contextualizada e a aproximação entre formação acadêmica e prática profissional.

Entre essas abordagens, destaca-se a Aprendizagem Baseada em Projetos (*Project-Based Learning* – PBL), que propõe a construção do conhecimento a partir da investigação e da resolução de desafios autênticos. No âmbito da educação tecnológica, projetos integradores orientados por problemas reais da indústria constituem estratégias relevantes para o desenvolvimento de competências técnicas, investigativas e colaborativas, ao promoverem a articulação entre conteúdos teóricos e aplicações práticas em situações próximas às vivenciadas no exercício profissional (Bender, 2014; Massa et al., 2015). Essa perspectiva contribui para o fortalecimento do protagonismo discente e para a formação de profissionais mais preparados para lidar com a complexidade dos sistemas produtivos contemporâneos.

Nesse contexto formativo, a utilização de desafios tecnológicos relacionados a processos industriais configura-se como importante recurso pedagógico. Problemas associados à eficiência operacional, à gestão de insumos e à sustentabilidade produtiva podem ser explorados como dispositivos de aprendizagem aplicada, permitindo aos estudantes vivenciar etapas fundamentais do processo de engenharia, tais como diagnóstico, concepção, modelagem, prototipagem e análise de soluções. Assim, o desenvolvimento de sistemas técnicos voltados à melhoria de processos produtivos pode ser compreendido não apenas como atividade tecnológica, mas como estratégia didática capaz de potencializar a aprendizagem significativa e a integração entre ensino, pesquisa e inovação.

Diante desse cenário, o presente estudo foi desenvolvido no âmbito de um projeto integrador do curso superior de Tecnologia em Mecânica de Precisão, tendo como eixo estruturante a proposição de soluções técnicas para a filtragem de óleo solúvel em processos

de usinagem. A escolha desse desafio tecnológico fundamenta-se em sua relevância industrial e em seu potencial formativo, ao possibilitar a mobilização de conhecimentos interdisciplinares e o desenvolvimento de competências associadas à análise técnica, à criatividade aplicada e à tomada de decisão em contextos produtivos reais.

1.1 Problema de Pesquisa

Diante das transformações nos processos produtivos e das crescentes exigências por formação profissional alinhada às demandas tecnológicas contemporâneas, torna-se necessário investigar estratégias pedagógicas que promovam maior integração entre aprendizagem acadêmica e prática industrial. Nesse contexto, coloca-se a seguinte questão de pesquisa: De que maneira o desenvolvimento de soluções tecnológicas em projetos integradores baseados em problemas reais da indústria pode contribuir para a aprendizagem aplicada e para o desenvolvimento de competências profissionais em estudantes de cursos superiores de tecnologia?

1.2 Objetivo(s)

O objetivo geral deste estudo é analisar a contribuição do desenvolvimento de protótipos tecnológicos, no âmbito de um projeto integrador fundamentado na PBL, para o fortalecimento da aprendizagem aplicada e para o desenvolvimento de competências profissionais em estudantes do curso superior de Tecnologia em Mecânica de Precisão. Como objetivos específicos, destacam-se:

- estruturar e aplicar uma proposta pedagógica baseada na metodologia PBL voltada à resolução de problemas reais da indústria;
- desenvolver protótipos de sistemas de filtragem de óleo solúvel como meio para a integração entre conhecimentos teóricos e práticas tecnológicas;
- analisar o desenvolvimento de competências técnicas, investigativas e colaborativas dos estudantes durante a execução do projeto;
- avaliar as contribuições da experiência para a aproximação entre a formação acadêmica e as demandas do setor produtivo.

1.3 Justificativa

A realização deste estudo justifica-se pela necessidade de fortalecer práticas pedagógicas inovadoras na educação profissional e tecnológica, capazes de articular formação acadêmica, investigação aplicada e enfrentamento de problemas reais do contexto industrial. Nesse cenário, projetos integradores estruturados em metodologias ativas favorecem a construção de aprendizagens mais significativas, ao promoverem a mobilização de conhecimentos teóricos em situações práticas e contribuir para o desenvolvimento de competências alinhadas às exigências contemporâneas da indústria. Tais experiências ampliam, ainda, a capacidade de atuação dos futuros profissionais em ambientes produtivos complexos e em constante transformação (Moran, 2015; Bender, 2014).

Adicionalmente, a exploração de desafios tecnológicos relacionados à eficiência operacional e à sustentabilidade dos processos produtivos contribui para a formação de uma



visão sistêmica acerca do papel da engenharia e da tecnologia no desenvolvimento industrial. Nesse contexto, o sistema de filtragem concebido no projeto configura-se como instrumento pedagógico para a aprendizagem aplicada, ao possibilitar a integração entre fundamentos científicos, habilidades técnicas e princípios de responsabilidade socioambiental no processo formativo dos estudantes.

Dessa maneira, o estudo apresenta relevância científica, educacional e social ao articular inovação tecnológica, sustentabilidade industrial e qualificação profissional, evidenciando o potencial dos projetos integradores como estratégias formativas alinhadas às demandas do setor produtivo contemporâneo.

2. Fundamentação Teórica

2.1 Aprendizagem Baseada em Projetos na formação tecnológica

A PBL tem se consolidado como uma abordagem particularmente relevante para a formação em engenharia, tecnologia e educação profissional, por promover a construção do conhecimento a partir de desafios autênticos, contextualizados e orientados à resolução de problemas. Diferentemente de modelos centrados na transmissão expositiva de conteúdos, a PBL mobiliza os estudantes em torno de situações abertas, que exigem investigação, tomada de decisão, integração de saberes e elaboração de soluções viáveis. Nesse processo, o estudante assume papel ativo na aprendizagem, enquanto o docente atua como mediador, orientador e organizador do percurso formativo, favorecendo o desenvolvimento de autonomia intelectual, colaboração e pensamento crítico (Massa *et al.*, 2015; Naseer *et al.*, 2025).

Na educação em engenharia, a PBL tem sido associada ao fortalecimento de competências que extrapolam o domínio técnico estrito, como comunicação, ética, trabalho em equipe, autorregulação, gestão de projetos e aprendizagem ao longo da vida. A revisão sistemática sobre parcerias industriais em iniciativas de PBL mostra que essa abordagem ganhou espaço também em função das demandas da indústria por perfis profissionais capazes de lidar com problemas reais, atuar colaborativamente e aplicar conhecimentos em contextos produtivos concretos (Maladzhi *et al.*, 2024). Na mesma direção, estudos sobre *future readiness* indicam que modelos de PBL enriquecidos com experiências externas tendem a ampliar o engajamento discente, a percepção de relevância do currículo e a preparação para contextos profissionais dinâmicos (Naseer *et al.*, 2025).

Os trabalhos de Massa *et al.* (2010, 2011, 2015), desenvolvidos no âmbito do *PHOTON* PBL e de projetos em tecnologias sustentáveis, são particularmente importantes para compreender o potencial da PBL em áreas tecnológicas. Esses estudos mostram que desafios reais, articulados a situações de prática profissional, favorecem a motivação dos estudantes, a integração entre teoria e aplicação e a ampliação do pipeline em STEM. Do mesmo modo, experiências mais recentes na área de ciência dos materiais demonstram que projetos desenvolvidos com base em problemas industriais fortalecem aprendizagens nos domínios cognitivo, afetivo e psicomotor, além de ampliarem a capacidade de investigação, prototipagem e validação técnica (Lee *et al.*, 2025).

Entretanto, a literatura também adverte que a efetividade da PBL depende de desenho pedagógico rigoroso, critérios de avaliação claros e acompanhamento contínuo. Não se trata apenas de “fazer projetos”, mas de organizar experiências formativas que articulem problema,

fundamentação teórica, experimentação, iteração, reflexão e avaliação de resultados. Por isso, a PBL mostra-se particularmente potente quando vinculada a desafios autênticos, a métricas de desempenho e a processos de feedback que permitam ao estudante compreender tanto o percurso quanto a qualidade da solução construída (Baveja; Greeley, 2023; Deighton; Kuys; Tyagi, 2023; Naseer *et al.*, 2025).

A pedagogia de projetos favorece aprendizagens contextualizadas e investigativas, aproximando os estudantes de problemas reais e promovendo maior protagonismo discente (Hernández, 1998).

A efetividade da Aprendizagem Baseada em Projetos depende da adoção de critérios avaliativos claros e de instrumentos que permitam acompanhar o desenvolvimento técnico e colaborativo dos estudantes (Baveja; Greeley, 2023).

Experiências educacionais fundamentadas em projetos reais favorecem processos de avaliação autêntica, aproximando o ambiente acadêmico das demandas profissionais contemporâneas (Deighton; Kuys; Tyagi, 2023).

2.2 Parcerias escola–indústria e sua contribuição no processo de aprendizagem

As parcerias entre instituições de ensino e setor produtivo vêm sendo reconhecidas como eixo estratégico para o fortalecimento da educação profissional e da formação em engenharia. Quando a indústria participa do processo educativo, seja por meio da definição de problemas, do compartilhamento de dados, da mentoria, do acompanhamento técnico ou da avaliação de soluções, amplia-se a autenticidade da aprendizagem e reduz-se a distância entre o currículo formal e as exigências do mundo do trabalho. Essa aproximação favorece a atualização curricular, a compreensão de restrições reais de projeto e o desenvolvimento de competências alinhadas às necessidades contemporâneas da produção industrial (Liang, 2023; Poirier; Remsen, 2017; Walsh, 2009).

No contexto da PBL, a parceria escola–indústria deixa de ser acessória e passa a constituir elemento estruturante da experiência formativa. Em estudo recente, Naseer *et al.* (2025) argumentam que o contato contínuo com perspectivas da indústria, por meio de projetos, mentorias, visitas e interlocução com stakeholders externos, contribui para o desenvolvimento de competências de prontidão profissional, motivação e alinhamento entre aprendizagem e empregabilidade. Resultados semelhantes aparecem em experiências em ciência dos materiais, nas quais os parceiros industriais apresentaram “*pain points*”, restrições operacionais, especificações técnicas e parâmetros de viabilidade, enquanto a academia organizou as fases de pesquisa, prototipagem e avaliação do projeto (Lee *et al.*, 2025).

A literatura também mostra que parcerias bem-sucedidas exigem gestão, continuidade e proposta de valor mútua. Pan *et al.* (2021) demonstram que a efetividade das colaborações depende não apenas da presença da indústria, mas da qualidade da gestão da parceria, da troca de conhecimento, da clareza de papéis e da retroalimentação contínua. Revisões recentes reforçam essa perspectiva ao apontar que experiências isoladas, episódicas ou pouco estruturadas tendem a produzir impactos mais limitados, ao passo que colaborações mais duradouras favorecem aprendizagem mais profunda, consciência profissional e melhor alinhamento entre formação, inovação e demandas produtivas (Maladzi *et al.*, 2024; Naseer *et al.*, 2025).

No caso da educação profissional, essa discussão é especialmente relevante porque o valor pedagógico da parceria reside justamente em possibilitar que o estudante lide com

problemas concretos, condicionados por custo, desempenho, segurança, manutenção, tempo e sustentabilidade. Assim, a parceria escola-indústria não apenas amplia a pertinência do currículo, mas também fortalece processos de socialização profissional, favorecendo a construção de identidade técnica e a compreensão de que soluções de engenharia precisam responder simultaneamente a critérios técnicos, econômicos, operacionais e ambientais.

2.3 Base tecnológica do projeto: fluidos de corte, filtragem de óleo solúvel e sustentabilidade em processos de usinagem

Os fluidos de corte constituem elementos centrais nos processos de usinagem contemporâneos, desempenhando funções essenciais relacionadas ao controle térmico, à lubrificação da interface ferramenta-peça, à remoção de cavacos e à proteção contra processos corrosivos. Entre esses fluidos, os óleos solúveis destacam-se por sua ampla aplicabilidade em máquinas CNC, em razão da combinação entre eficiência térmica e desempenho tribológico, características amplamente discutidas na literatura técnica nacional (Maia, 2007; Damasceno, 2009). Esses fundamentos sustentam a escolha do óleo solúvel como objeto empírico deste estudo e orientam as decisões metodológicas.

Do ponto de vista físico-químico, o óleo solúvel caracteriza-se como uma emulsão óleo em água estabilizada por aditivos específicos, tais como emulsificantes, anticorrosivos, biocidas e agentes antiespumantes. A estabilidade dessa emulsão depende do controle rigoroso de parâmetros operacionais, como concentração, temperatura e pH, cuja variação compromete diretamente o desempenho do fluido e acelera sua degradação (Damasceno, 2009). Esses parâmetros foram considerados como variáveis críticas no delineamento experimental adotado neste estudo.

A degradação dos óleos solúveis ocorre predominantemente em função de processos de contaminação física, química e biológica, os quais atuam de forma sinérgica. A contaminação física decorre da presença de partículas metálicas, cavacos finos e resíduos abrasivos provenientes da usinagem. Essas partículas permanecem em suspensão no fluido e passam a atuar como agentes de desgaste secundário, elevando o coeficiente de atrito e acelerando o desgaste das ferramentas de corte (Ali *et al.*, 2017). Tal fenômeno fundamenta a necessidade de sistemas de separação sólido-líquido.

Além do impacto direto na tribologia do processo, a presença contínua de sólidos compromete a confiabilidade dos sistemas auxiliares das máquinas CNC, como bombas, válvulas e mangueiras, aumentando a incidência de falhas e a necessidade de manutenção corretiva. Estudos conduzidos em contexto industrial brasileiro indicam que a redução da carga particulada contribui significativamente para a estabilidade operacional e para o prolongamento da vida útil do fluido de corte (Castro, 2010).

A contaminação química, por sua vez, está fortemente associada à introdução de óleos estranhos ao sistema, denominados *tramp oil*. Esses contaminantes, geralmente oriundos de vazamentos de óleos hidráulicos e lubrificantes de barramentos, acumulam-se na superfície do reservatório, formando uma película que compromete a dissipação térmica e a oxigenação da emulsão (Khan; Broderick; Taylor, 2021). Esse mecanismo justificou a adoção de estratégias específicas de remoção superficial. A presença do *tramp oil* cria condições favoráveis ao desenvolvimento de microrganismos anaeróbios, intensificando a degradação microbiológica do fluido. A literatura aponta que esse processo resulta na produção de ácidos orgânicos, queda do pH e liberação de odores característicos, além de acelerar processos corrosivos em

componentes metálicos (Rabenstein *et al*, 2019; BIOLUB, 2019). Esses aspectos foram observados no diagnóstico inicial do sistema e utilizados como parâmetros de comparação nos resultados experimentais.

A contaminação biológica é reconhecida como uma das principais causas de falha prematura dos óleos solúveis. Bactérias e fungos utilizam os constituintes orgânicos da emulsão como fonte de nutrientes, promovendo sua desestabilização e comprometendo o desempenho funcional do fluido (Rabenstein *et al*, 2019). Sob a ótica da saúde ocupacional, a exposição a fluidos contaminados está associada a dermatites, reações alérgicas e distúrbios respiratórios, especialmente em ambientes com formação de névoas durante a usinagem (OSHA, 2001). A mitigação desses riscos constituiu critério qualitativo relevante na análise dos resultados deste estudo.

Diante desse cenário, a literatura técnica converge ao destacar a importância da adoção de sistemas contínuos de filtragem e tratamento dos óleos solúveis. Entre as técnicas mais acessíveis, a decantação heterogênea destaca-se por sua simplicidade operacional e baixo custo, baseando-se na ação da gravidade e na diferença de densidade entre fases sólidas e líquidas (Damasceno, 2009). Esse princípio físico fundamentou a concepção dos tanques e dispositivos passivos desenvolvidos neste trabalho.

Sistemas de decantação adequadamente dimensionados permitem a sedimentação gradual de partículas sólidas e a separação parcial de contaminantes líquidos, reduzindo a carga de impurezas antes da recirculação do fluido. A eficácia dessa abordagem foi avaliada por meio de ensaios práticos e discutida na Seção de Resultados e Discussão, corroborando achados de estudos nacionais (Barboza, 2018).

De forma complementar, os *oil skimmers* apresentam elevada eficiência na remoção seletiva de *tramp oil*, utilizando superfícies oleofílicas que aderem preferencialmente aos óleos contaminantes, com mínima perda da emulsão base (Aranda, 2017). Pesquisas nacionais indicam que a aplicação contínua desses dispositivos pode prolongar a vida útil do fluido em até 40%, além de reduzir significativamente odores e a necessidade de descarte frequente (Menezes; Lima, 2021), resultados que dialogam diretamente com os dados experimentais obtidos neste estudo. Outra estratégia amplamente discutida na literatura consiste no uso de sistemas de filtração mecânica e magnética, capazes de reter partículas metálicas ferrosas e não ferrosas. Esses sistemas contribuem para a redução do desgaste abrasivo e para a melhoria da estabilidade tribológica do processo de usinagem (Gonçalves, 2008). Os princípios associados a essas tecnologias orientaram a seleção dos elementos filtrantes empregados na etapa de prototipagem.

Embora técnicas mais avançadas, como microfiltração e ultrafiltração por membranas, apresentem elevada eficiência, seu custo de implantação e manutenção limita a aplicação em pequenas e médias empresas, conforme apontam estudos nacionais (Carrillo, 2018). Essa limitação reforça a relevância científica e social de pesquisas que investigam soluções acessíveis e replicáveis, como as propostas neste trabalho.

Do ponto de vista ambiental, a questão é mais delicada do que parece à primeira vista. Os óleos solúveis degradados se enquadram como resíduos perigosos pela ABNT NBR 10.004 (ABNT, 2015), o que significa que sua destinação envolve custos elevados e exige protocolos específicos de tratamento. Quando o fluido pode ser reaproveitado após filtragem e separação, esse cenário muda. Reduz-se o volume de resíduos Classe I gerados, diminui-se a pressão sobre os sistemas de descarte e cria-se uma rota produtiva mais próxima dos princípios da economia circular (Barbieri; Silva, 2011).

Os ganhos econômicos seguem na mesma direção. Pesquisas recentes mostram que o custo dos fluidos de corte, somado aos impactos ambientais e de saúde que eles geram, vem motivando a indústria a repensar profundamente sua gestão (Benedicto; Carou; Rubio, 2017). Prolongar a vida útil desses fluidos, portanto, não é apenas uma boa prática ambiental. É uma decisão estratégica que pesa diretamente nos custos de aquisição, transporte e tratamento de resíduos, fatores cada vez mais determinantes para a competitividade da indústria metalmeccânica.

Dessa forma, a fundamentação teórica apresentada consolida uma base conceitual robusta que sustenta as escolhas metodológicas adotadas (Seção de Metodologia) e a interpretação crítica dos resultados obtidos (Seção de Resultados e Discussão). Ao articular aspectos tribológicos, físico-químicos, ambientais e ocupacionais, o estudo posiciona o desenvolvimento de sistemas de filtragem de óleo solúvel como uma estratégia tecnicamente viável, economicamente justificável e cientificamente relevante.

Figura 1 – Estrutura da PBL aplicada



Fonte: Autores, 2026

3. Metodologia

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, com abordagem qualitativa e quantitativa, delineamento descritivo e exploratório, estruturada na forma de estudo de caso educacional associado ao desenvolvimento tecnológico (Lakatos; Marconi, 2017). O estudo foi conduzido no contexto do Projeto Integrador do curso superior de Tecnologia em Mecânica de Precisão, envolvendo estudantes do segundo semestre em ambiente real de ensino-aprendizagem e prática laboratorial. Essa configuração metodológica possibilitou a articulação entre formação acadêmica, investigação científica e resolução de demandas industriais,

aproximando o processo formativo das exigências contemporâneas da educação profissional e tecnológica.

A natureza aplicada da investigação fundamenta-se no desenvolvimento de um protótipo funcional de sistema de filtragem de óleo solúvel, com potencial de aplicação direta em processos de usinagem CNC, visando à melhoria da eficiência produtiva e à redução dos impactos ambientais e econômicos associados à gestão de fluidos de corte.

A abordagem pedagógica adotada baseou-se na PBL, metodologia ativa que posiciona o estudante como protagonista na construção do conhecimento e favorece a integração entre conteúdos teóricos e aplicações práticas. Nesse contexto, o problema técnico relacionado à degradação e à contaminação dos óleos solúveis constituiu o eixo estruturante do processo investigativo, orientando a definição dos objetivos, a seleção das estratégias experimentais e a análise dos resultados.

O projeto foi desenvolvido em parceria com uma empresa do setor metalmeccânico, que atuou como stakeholder tecnológico, contribuindo com dados operacionais, critérios de viabilidade técnica e validação preliminar das soluções propostas, o que reforçou a relevância social e industrial da pesquisa.

O percurso metodológico, figura 2, foi estruturado em etapas progressivas:

1. **Diagnóstico e Project Canvas:** Identificação da contaminação cruzada e definição estruturada de parceiros, custos e metas de valor.
2. **Levantamento Bibliográfico e Benchmarking:** Pesquisa sobre composição química de óleos e análise de tecnologias comerciais existentes.
3. **Brainstorming:** Reuniões para definição da abordagem técnica (decantação passiva, filtragem mecânica ou sucção ativa).
4. **Modelagem 3D (SolidWorks):** Dimensionamento dos tanques e componentes. Simulação de montagem e vistas explodidas para detalhamento de fabricação.
5. **Mock-up e Protótipo Conceitual:** Construção de modelos em escala reduzida e protótipos funcionais utilizando impressão 3D em PLA/PETG e chapas metálicas.

Figura 2 – Mock-ups virtuais elaborados pelos grupos.



Fonte: Autores, 2026

6. **Planilha de Custos:** Levantamento rigoroso de materiais (Aço Inox, 1020, correias) para validação da viabilidade econômica frente a soluções industriais.
7. **Vídeos e Apresentação Final:** Documentação audiovisual do funcionamento dinâmico e defesa técnica dos resultados perante banca.
8. **Autoavaliação e Rubricas:** Aplicação de critérios de contextualização, relevância e consistência teórica para aferir o aprendizado.

Como instrumento complementar de avaliação educacional, foram utilizadas rubricas de desempenho e atividades de autoavaliação estruturadas, aplicadas ao longo do desenvolvimento dos projetos integradores. As rubricas contemplaram critérios relacionados à inovação da solução proposta, funcionalidade do protótipo, viabilidade técnica e econômica, qualidade da documentação técnica produzida e desempenho colaborativo das equipes. Paralelamente, os estudantes realizaram processos de autoavaliação reflexiva acerca das competências desenvolvidas durante o projeto, incluindo resolução de problemas, comunicação, trabalho em equipe e tomada de decisão. Com o objetivo de ampliar a transparência metodológica e fortalecer a rastreabilidade dos critérios avaliativos adotados, os modelos de rubricas e instrumentos de autoavaliação foram disponibilizados em apêndice ao final deste artigo.

Figura 3 - Fluxo Metodológico



Fonte: Autores, 2026

Na etapa de modelagem tridimensional, os desenhos técnicos foram elaborados conforme princípios de representação gráfica, especificação dimensional e documentação técnica recomendados pelas normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT, 2024), assegurando padronização, legibilidade e compatibilidade com práticas industriais contemporâneas. O planejamento da fabricação foi estruturado por meio da elaboração de planos de processo e fluxogramas produtivos, contemplando operações de usinagem,

ferramentas, parâmetros de corte e métodos de inspeção dimensional, assegurando rastreabilidade e padronização das etapas produtivas.

A construção dos protótipos ocorreu em ambiente laboratorial, integrando processos de manufatura convencional e fabricação aditiva para a produção de modelos conceituais e funcionais. Após a montagem, foram realizados ensaios experimentais com fluidos contaminados provenientes de processos reais de usinagem, com o objetivo de avaliar a eficiência do sistema quanto à remoção de partículas sólidas, à melhoria das propriedades físico-químicas do fluido e à potencial ampliação de sua vida útil operacional. Paralelamente, foi conduzida análise de custos de materiais e processos, permitindo a avaliação da viabilidade econômica da solução em comparação com tecnologias industriais consolidadas.

Considerando o caráter conceitual e educacional dos protótipos desenvolvidos, os ensaios experimentais tiveram como finalidade principal verificar preliminarmente a viabilidade funcional das soluções propostas para filtragem e separação de contaminantes em fluidos de corte. As avaliações contemplaram parâmetros físico-químicos e operacionais observáveis, como presença de partículas metálicas em suspensão, intensidade de odor, estabilidade visual da emulsão, presença de *tramp oil* e variações indicativas de pH. As análises foram realizadas de forma comparativa antes e após os processos de filtragem, utilizando medidor digital de pH, inspeção visual padronizada e observação qualitativa da turbidez do fluido. Por se tratar de protótipos conceituais voltados à aprendizagem aplicada e à validação inicial de princípios mecânicos e físico-químicos, os testes buscaram identificar tendências de desempenho e potencial de aplicação industrial, não configurando ensaios laboratoriais normatizados ou certificatórios.

A coleta e análise dos dados contemplaram indicadores técnicos, econômicos e educacionais, tais como desempenho do sistema de filtragem, redução estimada do descarte de resíduos, custos de implementação e desenvolvimento de competências técnicas pelos estudantes participantes. A avaliação educacional foi realizada por meio de instrumentos formativos, incluindo rubricas de desempenho, autoavaliação e apresentação técnica dos resultados, possibilitando verificar a contribuição do projeto para a aprendizagem significativa e para o desenvolvimento de competências profissionais alinhadas às demandas da Indústria 4.0.

A autoavaliação ocorreu em contexto coletivo de sala de aula, constituindo espaço de reflexão crítica e compartilhamento de experiências entre os grupos. Os estudantes relataram avanços no desenvolvimento de competências interpessoais, como comunicação, negociação e empatia, ao mesmo tempo em que identificaram aspectos passíveis de aprimoramento em projetos subsequentes. Essa estratégia contribuiu para a consolidação do aprendizado experiencial e para o fortalecimento de uma cultura orientada à melhoria contínua, em consonância com os pressupostos das metodologias ativas e da pedagogia de projetos (Hernández, 1998; Moran, 2015).

Os protótipos foram desenvolvidos utilizando modelagem tridimensional em software CAD (SolidWorks), impressão 3D em Poliacido Láctico (PLA) e Polietileno Tereftalato Glicol (PETG), além de componentes metálicos e eletroeletrônicos de baixo custo. Em função do caráter exploratório e formativo do projeto, os procedimentos experimentais priorizaram análises comparativas e observacionais, contemplando aspectos como presença de resíduos sólidos, formação de odores, separação gravitacional de contaminantes e funcionamento mecânico dos dispositivos. As avaliações ocorreram em ambiente laboratorial supervisionado,

permitindo aos estudantes compreender etapas de concepção, prototipagem, testes preliminares e análise de viabilidade técnica aplicada à realidade industrial.

O estudo apresenta caráter eminentemente educacional e formativo, estando inserido nas atividades pedagógicas regulares do curso de Tecnologia em Mecânica de Precisão do SENAI Suíço-Brasileira. Não houve intervenção clínica, manipulação de variáveis sensíveis ou procedimentos que implicassem riscos significativos aos participantes. As informações coletadas restringiram-se à observação do processo de aprendizagem, à análise de produtos acadêmicos desenvolvidos pelos estudantes e à aplicação de instrumentos de autoavaliação com finalidade educacional e científica. Assim, a pesquisa enquadra-se como investigação educacional de baixo risco, conforme as diretrizes da Resolução CNS nº 510/2016, sendo dispensada de apreciação por Comitê de Ética em Pesquisa. Ainda assim, os participantes foram previamente informados sobre os objetivos e procedimentos do estudo, tendo sua participação garantida de forma voluntária, mediante consentimento livre e esclarecido, assegurando-se anonimato, confidencialidade dos dados e respeito aos princípios éticos da pesquisa com seres humanos.

Com vistas ao aprimoramento da eficiência metodológica, a inteligência artificial foi empregada como ferramenta de apoio em três etapas centrais: na ampliação do levantamento bibliográfico, na sistematização das informações por meio do fichamento dos artigos selecionados e na revisão final do texto, com foco em aspectos ortográficos, gramaticais e de formatação. A utilização da IA teve caráter complementar, sendo todas as produções submetidas à análise crítica e validação dos autores, que mantiveram integral responsabilidade intelectual pelo conteúdo apresentado.

4. Resultados e Discussão

O ponto de partida do projeto foi um incômodo cotidiano que ninguém mais queria ignorar: o cheiro forte e a degradação acelerada do fluido nas máquinas CNC. A partir dessa observação no chão de fábrica, os alunos passaram a transformar o problema em algo investigável. Caracterizaram a contaminação microbiológica e física do óleo, levantaram dados, conversaram com operadores e, na sequência, aplicaram o Project Canvas para organizar metas, prazos e recursos disponíveis. O que começou como uma queixa virou um projeto com escopo definido.

Na etapa seguinte, a modelagem tridimensional no SolidWorks funcionou como uma espécie de bancada virtual. Foi ali que conceitos de mecânica de precisão deixaram o papel. Os estudantes tiveram que antecipar o comportamento do fluxo de óleo, calcular folgas, pensar na ergonomia de instalação e, sobretudo, lidar com uma restrição nada trivial: o espaço apertado dos tanques originais das máquinas. Validar tudo isso antes de cortar uma única peça evitou retrabalho e reduziu de forma considerável os riscos da fase de fabricação.

Após a modelagem, os grupos partiram para a construção de *mock-ups* e protótipos funcionais. Enquanto alguns grupos priorizaram a impressão 3D em PLA para validação rápida de geometria, outros avançaram para o uso de materiais definitivos como aço inox e componentes eletroeletrônicos industriais. Esta diversidade de abordagens permitiu uma comparação rica entre sistemas passivos e ativos.

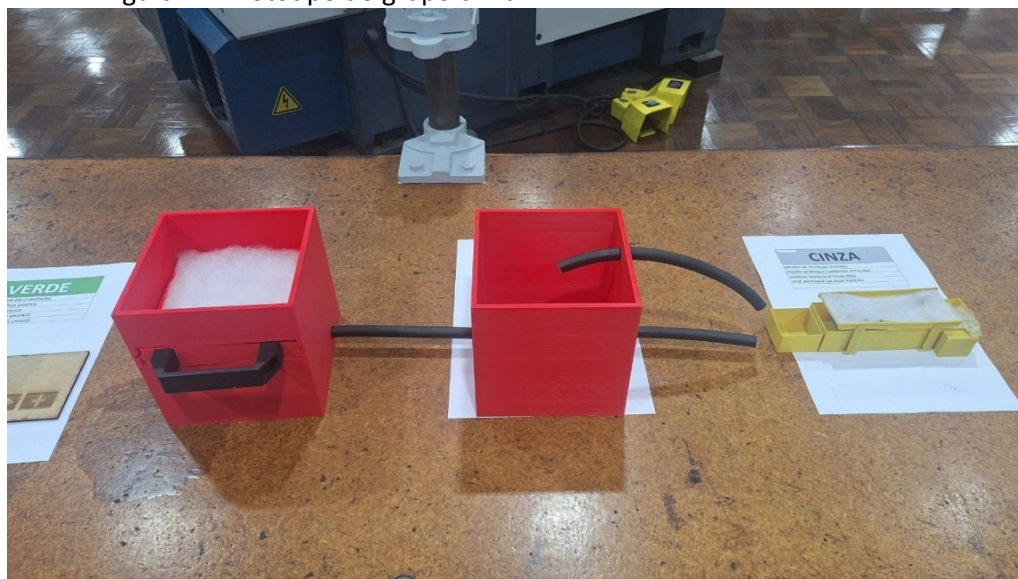
Produtos e Resultados por Grupo

Grupo Amarelo: O grupo desenvolveu um sistema integrador inédito que une a separação física do óleo sobrenadante a um controle químico preventivo. O dispositivo conta com um sensor de pH para monitoramento contínuo da acidez, permitindo ao operador agir antes que a degradação se torne irreversível. Além da detecção, o protótipo incorpora um mecanismo de dosagem controlada de biocidas, garantindo que o fluido permaneça livre de microrganismos SRB sem o desperdício de insumos químicos.

Grupo Azul: Focou na viabilidade extrema e na reciclagem simplificada, propondo um aparato de filtragem de baixo custo utilizando materiais de fácil acesso no mercado brasileiro. O resultado demonstrou que a filtração simples é capaz de preservar as propriedades lubrificantes e refrigerantes do óleo solúvel, reduzindo significativamente a rugosidade superficial das peças usinadas em comparação ao uso de fluidos contaminados.

Grupo Cinza (Fluido Tech): Este grupo entregou um sistema robusto de tripla separação, projetado para filtrar cavacos metálicos, óleo solúvel e óleo hidráulico de forma independente. O diferencial técnico foi a apresentação de uma planilha de custos detalhada (totalizando R\$ 6.525,00), evidenciando que, apesar do investimento inicial em aço inox e filtros tipo rolo, o retorno sobre o investimento (ROI) é garantido pela economia em manutenção de ferramentas e menor descarte de resíduos perigosos.

Figura 4 – Protótipo do grupo cinza



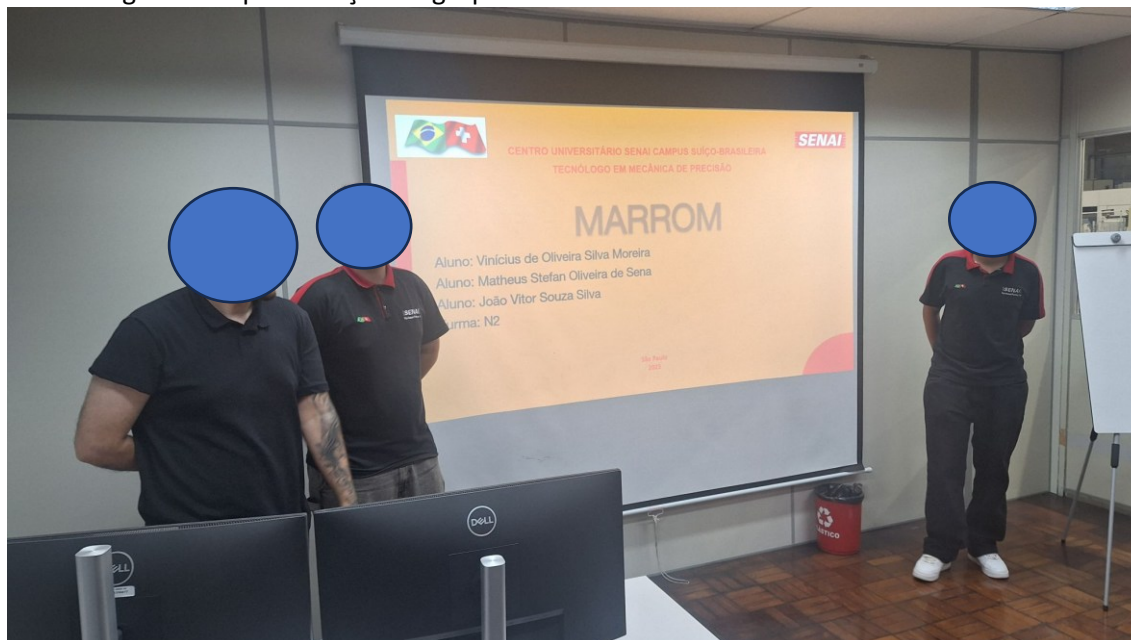
Fonte: Autores, 2026

Grupo Laranja: A inovação central deste grupo foi o desenvolvimento de uma "Chicana 3D" projetada para otimizar a dinâmica dos fluidos dentro do tanque de decantação. Ao desviar o fluxo e reduzir zonas de estagnação, o sistema minimizou a formação de bolhas e facilitou a ascensão do *tramp oil* para a superfície. A utilização de prototipagem em PLA permitiu ajustes rápidos na geometria interna, resultando em um separador compacto e de alta performance hidrodinâmica.

Grupo Marrom: Diferenciou-se pela criação de um sistema de "Captura Ativa", utilizando uma hélice de sucção que atrai o óleo contaminado mesmo em áreas distantes do ponto de coleta.

O protótipo foi equipado com um painel de controle eletrônico (via Arduino), permitindo ao operador ajustar a velocidade de rotação da hélice conforme a viscosidade específica do contaminante presente no dia. Essa flexibilidade garante que apenas o óleo indesejado seja removido, preservando o fluido refrigerante base.

Figura 5 – Apresentação do grupo Marrom



Fonte: Autores, 2026

Grupo Roxo: O produto final foi um *oil skimmer* de correia oleofílica de alta eficiência, focado na remoção de óleos de barramento (*way oil*) que costumam selar a superfície dos reservatórios. O grupo estabeleceu métricas SMART rigorosas, visando estender a troca total do fluido de 3 meses para um ano. O protótipo demonstrou ser uma solução sustentável que elimina o mau cheiro característico das bactérias anaeróbias ao restaurar a troca térmica do sistema.

Grupo Verde: O grupo apresentou uma solução de engenharia passiva, desenvolvendo um tanque de transbordamento que utiliza exclusivamente a gravidade para a separação. Ao eliminar a necessidade de motores e bombas adicionais, o projeto destacou-se pelo custo operacional zero e pela robustez mecânica. O sistema de compartimentos independentes para óleo sujo e limpo evitou a contaminação cruzada, provando ser uma alternativa sustentável ideal para oficinas com recursos energéticos limitados.

Grupo Vermelho: Desenvolveu um filtro auxiliar especializado na retenção de partículas metálicas microscópicas (Fe, Al, Cu) que atuam como abrasivos secundários. O resultado prático foi a redução drástica do coeficiente de atrito na interface ferramenta-peça, o que prolonga a precisão dimensional das peças. A aplicação de filtros de tela e barreiras tribológicas demonstrou que a limpeza do fluido é tão importante para a precisão quanto a calibração da própria máquina CNC.

Figura 6 - Exposição dos protótipos.



Fonte: Autores, 2026

Análise da Participação e Engajamento

O engajamento discente foi notável, impulsionado pela natureza real do desafio proposto. A transição de um problema olfativo e visual (óleo escuro e com mau cheiro) para a construção de um dispositivo mecânico funcional gerou um senso de propósito. A colaboração interdisciplinar permitiu que alunos com diferentes habilidades (modelagem, química e eletrônica) contribuíssem equitativamente.

As dificuldades enfrentadas, como o ajuste preciso da velocidade de tração das correias ou a vedação de tanques feitos por impressão 3D, foram superadas através de ciclos iterativos de testes e erros. Este processo reforçou a resiliência dos estudantes e a compreensão de que falhas no protótipo são partes essenciais do refinamento tecnológico.

Relação com os Objetivos e a Teoria

Os resultados obtidos validaram as hipóteses iniciais de que sistemas de filtragem de baixo custo são técnica e economicamente viáveis. A aplicação prática confirmou as teorias de decantação heterogênea e separação por coalescência discutidas na literatura. Além disso, a redução projetada de 40% no descarte de resíduos Classe I alinha-se diretamente com as diretrizes da NBR 10.004 e da ISO 14.001.

A integração com a Indústria 4.0 foi evidenciada nos projetos que utilizaram sensores e automação, demonstrando que a gestão de fluidos pode ser preditiva e não apenas reativa. O projeto cumpriu seu papel pedagógico ao conectar a teoria de sala de aula com as exigências de eficiência e sustentabilidade do mercado de trabalho contemporâneo.

Os resultados obtidos pelos grupos de pesquisa demonstram uma convergência significativa com a fundamentação teórica levantada, validando a eficácia de sistemas simplificados na gestão de fluidos de corte. Enquanto a literatura técnica identifica o *tramp oil* e as partículas sólidas como os principais catalisadores da acidificação e perda de lubrificidade da emulsão, os protótipos desenvolvidos, como o *skimmer* de correia do Grupo Roxo e o sistema de sucção ativa do Grupo Marrom,

comprovaram na prática a capacidade de remover esses contaminantes antes que a degradação biológica se tornasse irreversível. Adicionalmente, o foco do Grupo Vermelho na retenção de partículas metálicas microscópicas corroborou diretamente os estudos de Ali *et al.* (2017), confirmando que a remoção de impurezas sólidas é vital para reduzir o coeficiente de atrito e evitar o desgaste abrasivo secundário nas ferramentas de corte, garantindo a precisão dimensional preconizada pela teoria tribológica.

Sob a perspectiva da sustentabilidade e viabilidade econômica, o confronto dos resultados com a teoria reforça a importância da inovação de baixo custo para o setor produtivo. A literatura aponta que tecnologias avançadas de flotação (DAF) são financeiramente inacessíveis para pequenas e médias empresas, criando um "vácuo tecnológico" que os alunos buscaram preencher. Os sistemas passivos baseados em decantação heterogênea, propostos pelos Grupos Azul e Verde, demonstraram que é possível atingir altos níveis de pureza sem consumo energético adicional, alinhando-se aos princípios de eficiência energética de Denkena *et al.* (2018). A redução projetada de até 40% no descarte de resíduos perigosos (Classe I) e a extensão da vida útil do fluido de 3 para 12 meses confirmam que as metas estabelecidas via métricas SMART são alcançáveis, cumprindo as exigências normativas da ISO 14001 e promovendo a economia circular discutida na fundamentação teórica.

Quadro 1 – Comparativo dos Resultados

Grupo	Solução Desenvolvida	Princípio de Funcionamento	Principais Materiais/ Tecnologias	Benefícios Técnicos Observados	Benefícios Ambientais	Viabilidade Econômica
Grupo Amarelo	Sistema de monitoramento de pH com dosagem automática de biocida	Controle químico preventivo e monitoramento contínuo da acidez do fluido	Sensor de pH, Arduino, reservatório de biocida, sistema dosador	Redução da degradação microbiológica e aumento da estabilidade da emulsão	Menor descarte prematuro do fluido contaminado	Baixo custo de implementação e redução do consumo de produtos químicos
Grupo Azul	Sistema simplificado de filtração mecânica	Filtração física de partículas sólidas suspensas	Elementos filtrantes comerciais e materiais recicláveis	Redução da rugosidade superficial das peças e preservação das propriedades lubrificantes	Redução da geração de resíduos contaminados	Alta viabilidade devido ao uso de materiais acessíveis
Grupo Cinza (Fluido Tech)	Sistema de tripla separação	Separação simultânea de cavacos, óleo hidráulico e óleo solúvel	Estrutura em aço inox, filtros tipo rolo, reservatórios independentes	Maior eficiência de separação e aumento da vida útil das ferramentas	Redução significativa do descarte de resíduos Classe I	ROI estimado em menos de 6 meses, apesar do maior investimento inicial
Grupo Laranja	Chicana 3D para otimização hidrodinâmica	Controle do fluxo interno e redução de turbulência	Protótipos em PLA, modelagem CAD e impressão 3D	Melhoria da separação gravitacional e redução de bolhas no sistema	Maior eficiência na separação do tramp oil	Protótipo de baixo custo e rápida prototipagem
Grupo Marrom	Sistema de captura ativa por sucção	Remoção ativa de óleo contaminado via hélice motorizada	Hélice de sucção, Arduino, motor elétrico e painel de controle	Ajuste dinâmico da remoção conforme viscosidade do contaminante	Redução da contaminação cruzada do fluido	Viável para aplicações industriais que exigem maior controle operacional
Grupo Roxo	Oil skimmer de correia oleofílica	Remoção seletiva do tramp oil superficial	Correia oleofílica, motor elétrico e estrutura metálica	Aumento da oxigenação da emulsão e redução de odores	Ampliação da vida útil do fluido de 3 para até 12 meses	Alta eficiência com baixo custo operacional

Grupo Verde	Tanque de decantação passiva	Separação gravitacional sem consumo energético	Reservatórios metálicos e divisórias internas	Separação eficiente de contaminantes sólidos e líquidos	Ausência de consumo energético adicional	Excelente custo-benefício para pequenas oficinas
Grupo Vermelho	Sistema de retenção de partículas metálicas	Filtração mecânica e barreiras tribológicas	Filtros metálicos, telas filtrantes e barreiras magnéticas	Redução do desgaste abrasivo e aumento da precisão dimensional	Menor contaminação do fluido por partículas metálicas	Solução simples e de manutenção reduzida

Fonte: Autores, 2026

Os resultados apresentados evidenciam que os diferentes grupos desenvolveram soluções tecnicamente viáveis e alinhadas aos princípios de sustentabilidade industrial e manufatura enxuta. Observa-se predominância de sistemas híbridos envolvendo separação mecânica, decantação gravitacional e automação de baixo custo, demonstrando forte integração interdisciplinar entre mecânica, eletrônica, química e manufatura aditiva. Destacam-se os grupos Roxo e Cinza, cujas soluções apresentaram maior potencial de aplicação industrial devido à ampliação significativa da vida útil do fluido e à redução dos custos operacionais relacionados à manutenção e descarte de resíduos. Paralelamente, os grupos Verde e Azul demonstraram que soluções passivas e simplificadas podem alcançar desempenho satisfatório com investimentos reduzidos, ampliando a acessibilidade tecnológica para pequenas e médias empresas. De forma geral, os protótipos validaram os fundamentos teóricos relacionados à separação de contaminantes, controle microbiológico e preservação tribológica dos fluidos de corte, reforçando o potencial pedagógico e tecnológico da PBL aplicada à educação profissional.

Quadro 2 – Comparativo de Custos

Grupo	Sistema Desenvolvido	Principais Tecnologias/Componentes	Custo Total Estimado (R\$)
Grupo Vermelho	Sistema de retenção de partículas metálicas	Motor 12 RPM, correia de poliuretano, tecido de polipropileno, alumínio 6061, aço 1020 e componentes impressos em PLA	901,16
Grupo Marrom	Sistema de captura ativa por sucção	Arduino, servo motores, hélice, transmissão mecânica, painel eletrônico e componentes metálicos	872,00 a 924,00
Grupo Laranja	Chicana 3D com reservatório e skimmer	Estruturas em PLA impressas em 3D, reservatório, skimmer comercial e fixadores	2.225,48
Grupo Cinza (Fluido Tech)	Sistema industrial de tripla separação	Tanques em aço inox, esteiras, filtros TNT, skimmer e sistema de coleta de resíduos	6.525,00
Grupo Roxo	Oil skimmer de correia oleofílica	Correia oleofílica, motor, estrutura metálica e sistema de coleta superficial	551,63 (valor comercial sugerido)
Grupo Azul	Sistema simplificado de filtragem mecânica	Elementos filtrantes comerciais e materiais recicláveis	~400,00 a 700,00 (estimado)
Grupo Verde	Tanque de decantação passiva	Reservatórios metálicos e divisórias internas	~600,00 a 1.000,00 (estimado)
Grupo Amarelo	Sistema de monitoramento químico e dosagem automática	Sensor de pH, Arduino, dosador de biocida e reservatórios	~1.200,00 a 1.800,00 (estimado)

Fonte: Autores, 2026

A análise comparativa dos custos evidencia diferentes estratégias de desenvolvimento tecnológico adotadas pelos grupos, variando desde soluções simplificadas e acessíveis até sistemas robustos de caráter industrial. O Grupo Roxo apresentou o menor custo estimado de comercialização, demonstrando excelente relação entre viabilidade econômica e eficiência operacional, especialmente na remoção de *tramp oil*. Em contrapartida, o Grupo Cinza

desenvolveu o sistema mais complexo e de maior investimento inicial, utilizando predominantemente aço inoxidável e componentes industriais, o que elevou significativamente os custos, porém aumentou a robustez, durabilidade e capacidade operacional do equipamento.

Os grupos Verde e Azul destacaram-se pela adoção de soluções passivas e simplificadas, demonstrando que tecnologias de separação gravitacional e filtragem mecânica podem ser implementadas com baixo investimento, tornando-se alternativas viáveis para pequenas e médias empresas. Já os grupos Marrom e Amarelo incorporaram automação, sensores e sistemas eletrônicos de controle, aproximando os protótipos dos conceitos de manufatura inteligente e Indústria 4.0, ainda que com aumento moderado dos custos de implementação.

De maneira geral, os resultados demonstram que sistemas de filtragem de óleo solúvel podem ser desenvolvidos com diferentes níveis de sofisticação tecnológica e investimento financeiro, permitindo adaptação às necessidades operacionais e econômicas de distintos ambientes industriais. Além disso, os projetos evidenciam que a adoção de soluções de baixo custo possui potencial significativo para redução do descarte de resíduos, ampliação da vida útil dos fluidos e melhoria das condições operacionais em processos de usinagem CNC.

5. Considerações Finais

O projeto integrador mostrou que a PBL funciona bem quando o objetivo é aproximar teoria e prática na educação profissional e tecnológica. Ao unir conhecimentos de Química, Física, Mecânica e Eletrônica, foi possível transformar um problema concreto do chão de fábrica, a degradação dos fluidos de corte em máquinas CNC, em uma experiência de aprendizagem que dialoga com sustentabilidade, inovação e desenvolvimento tecnológico. Do ponto de vista técnico, os resultados apontaram um caminho promissor. Mesmo sistemas simples de filtragem e separação já são capazes de prolongar de forma expressiva a vida útil dos óleos solúveis, contendo a contaminação física, química e microbiológica. As soluções construídas pelos grupos mostraram que é viável reduzir custos operacionais, diminuir o descarte de resíduos Classe I e melhorar as condições gerais dos processos de usinagem. Esses ganhos se traduzem tanto em eficiência produtiva quanto em menor impacto ambiental.

No âmbito pedagógico, o projeto favoreceu o desenvolvimento de competências técnicas e socioemocionais essenciais à formação profissional contemporânea, tais como trabalho em equipe, resolução de problemas, modelagem 3D, prototipagem e tomada de decisão. O contato com desafios reais da indústria também fortaleceu o protagonismo discente e aproximou os estudantes das demandas associadas à Indústria 4.0, especialmente nos projetos que incorporaram sensores, automação e sistemas eletrônicos de monitoramento.

Além das contribuições educacionais e tecnológicas, o estudo evidenciou que soluções de baixo custo podem representar alternativas viáveis para pequenas e médias empresas, permitindo maior controle da contaminação dos fluidos sem necessidade de investimentos elevados em tecnologias industriais complexas. Dessa forma, os protótipos desenvolvidos apresentam potencial de replicabilidade e adaptação em diferentes contextos produtivos.

Como perspectivas futuras, recomenda-se o aprofundamento dos ensaios experimentais em ambiente industrial contínuo, a integração de sistemas IoT para monitoramento remoto dos fluidos e a ampliação dos estudos para diferentes tipos de óleos



de corte e materiais filtrantes. Conclui-se, portanto, que o desenvolvimento de sistemas de filtragem de óleo solúvel ultrapassa a dimensão puramente técnica, constituindo-se também como prática interdisciplinar capaz de promover inovação pedagógica, responsabilidade socioambiental e formação profissional alinhada às demandas contemporâneas da indústria.

REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10004:2004: Resíduos sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 14001:2015: Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso**. Rio de Janeiro, 2015.

ALI, M. K. A. et al. Effect of lubricant contaminants on tribological characteristics during boundary lubrication reciprocating sliding. **Tribology International**, v. 120, p. 340–351, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.triboint.2017.12.032>. Acesso em: 10 fev. 26.

ARANDA, F. **Aplicação de skimmers na remoção de óleo sobrenadante em processos de usinagem**. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 2017.

BARBIERI, J. C.; SILVA, D. **Desenvolvimento sustentável e educação ambiental: desafios para o século XXI**. São Paulo: Atlas, 2011.

BARBOZA, Gabriel Araujo. **Reaproveitamento de fluidos de corte na indústria metalúrgica**. 2018. 51 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2018.

BAVEJA, Satinder; GREELEY, Andrew. Project-based learning assessment strategies in engineering education. **Journal of Engineering Education**, Hoboken, v. 112, n. 3, p. 455-472, 2023. Disponível em: <https://onlinelibrary.wiley.com/journal/21689830>. Acesso em: 10 fev. 26.

BENDER, W. N. **Aprendizagem baseada em projetos: educação diferenciada para o século XXI**. Porto Alegre: Penso, 2014.

BENEDICTO, E.; CAROU, D.; RUBIO, E.M. Technical, Economic and Environmental Review of the Lubrication/Cooling Systems Used in Machining Processes. **Procedia Engineering**, v. 184, p. 99-116, 2017. Elsevier BV. <http://dx.doi.org/10.1016/j.proeng.2017.04.075> . Acesso em: 10 fev. 26.

BIOLUB. **Contaminação biológica do óleo solúvel: fundamentos e impactos industriais**. 2019. Disponível em: <https://www.biolub.com.br>. Acesso em: 10 jan. 2026.



CASTRO, Alessandra. **Reaproveitamento dos resíduos de usinagem**: Estudo de caso na indústria automotiva. 2010. 44 p. TCC (Bacharelado em Engenharia dos Materiais) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2010. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/25804>. Acesso em: 10 fev. 2026.

DAMASCENO, Ricardo Fernando. **Análise da influência da profundidade de corte e de diferentes métodos de lubri-refrigeração na retificação plana de aço ABNT 4340**. 2010. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Bauru, 2010. Disponível em: [Repositório Institucional da UNESP – PDF completo](#). Acesso em: 10 fev. 2026.

DEIGHTON, Mark; KUYS, Blair; TYAGI, Arun. Authentic assessment and project-based learning in higher engineering education. **International Journal of Technology and Design Education**, Dordrecht, v. 33, n. 4, p. 987-1008, 2023. Disponível em: <https://link.springer.com/journal/10798> . Acesso em: 10 fev. 26.

DENKANA, B. et al. **Energy efficiency in machining processes**. CIRP Annals – Manufacturing Technology, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2018.05.007>

HERNÁNDEZ, Fernando. **Transgressão e mudança na educação**: os projetos de trabalho. Porto Alegre: ArtMed, 1998.

GONÇALVES, Penha Suely de Castro. **Boas práticas ambientais na utilização de fluidos de corte nos processos de usinagem**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista, Bauru, 2008.

KHAN, T.; BRODERICK, M.; TAYLOR, C. M. Investigating the industrial impact of hydraulic oil contamination on tool wear during machining and the development of a novel quantification methodology. **The International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, v. 112, n. 1–2, p. 589–600, 2021. DOI: 10.1007/s00170-020-06370-y. Disponível em: [Springer Nature – artigo completo](#). Acesso em: 10 fev. 26.

LAKATOS, E. M.; MARCONI, M. A. **Metodologia do trabalho científico**. 8. ed. São Paulo: Atlas, 2017.

LEE, Low Bee; TEO, Gilbert; NG, Suxiu; NG, Ting Ting; ONG, Joe; GOH, Zhen Ke. Transforming the landscape: how project-based learning is evolving material science education. **The Asian Conference on Education Official Conference Proceedings**, p. 913-924, 2025. The International Academic Forum (IAFOR). Disponível em: <https://papers.iafor.org/proceedings/conference-proceedings-ace/>. Acesso em: 10 fev. 26.

LIANG, Yuming. Curriculum reform and innovation for CNC lathe and milling processing certificate under the “1+X”. **Region - Educational Research And Reviews**, v. 5, n. 5, p. 206, 22 dez. 2023. Frontier Scientific Publishing Pte Ltd. <https://doi.org/10.32629/rerr.v5i5.1475>. Acesso em: 10 fev. 26.



MAIA, J. Óleos solúveis: propriedades e aplicações na usinagem. **Máquinas & Metais**, São Paulo, v. 48, n. 6, p. 12–19, 2007.

MALADZHI, Rendani Wilson; TSOE, Moholo Samuel; NTUNKA, Mbuyu Germain; MTHOMBENI, Nomcebo Happiness; MOLOI, Katlego; NEMAVHOLA, Fulufhelo. Examining the impact of industry partnerships on Project-Based Learning initiatives within engineering education: a systematic literature review. *In: WORLD ENGINEERING EDUCATION FORUM - GLOBAL ENGINEERING DEANS COUNCIL (WEEF-GEDC)*, p. 1-7, 2 dez. 2024. IEEE. <http://dx.doi.org/10.1109/weef-gedc63419.2024.10854941>. Acesso em: 10 jan. 2026.

MASSA, Nicholas; AUDET, Richard; DONNELLY, Judith; HANES, Fenna; KEHRHAHN, Marijke. PHOTON PBL: problem-based learning in photonics technology education. **Spie Proceedings**, v. 9665, p. 966514, 3 ago. 2015. SPIE. <http://dx.doi.org/10.1117/12.2207514>. Acesso em: 10 jan. 26.

MASSA, Nicholas; DISCHINO, Michele; DONNELLY, Judith; HANES, Fenna. Problem Based Learning In Sustainable Technologies: increasing the stem pipeline. *In: ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION PROCEEDINGS*, p. 1-17, 2010. ASEE Conferences. <http://dx.doi.org/10.18260/1-2--16686>. Acesso em: 10 fev. 26.

MASSA, Nicholas; DISCHINO, Michele; DONNELLY, Judith; HANES, Fenna. Creating Real-World Problem-Based Learning Challenges in Sustainable Technologies to Increase the STEM Pipeline. *In: ASEE ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION PROCEEDINGS*, p. 1-19, 2011. ASEE Conferences. <http://dx.doi.org/10.18260/1-2--17678>. Acesso em: 10 fev. 26.

MENEZES, Samuel de Lima; LIMA, Ramsés Otto Cunha. Estudo sobre a reciclagem de fluidos de corte aplicados no processo de torneamento por um filtro confeccionado com materiais de fácil acesso. **Revista Eletrônica de Engenharia Elétrica e Engenharia Mecânica**, v. 3, n. 1, p. 13-24, 15 fev. 2021. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.21708/issn27635325.v3n1.a9962.2021>. Acesso em: 10 fev. 26.

MORAN, J. M. Metodologias ativas para uma aprendizagem mais profunda. **Revista Novas Tecnologias na Educação**, v. 13, n. 2, p. 1–10, 2015. Disponível em: <https://seer.ufrgs.br/renote/article/view/57623>. Acesso em: 10 fev. 26.

NASEER, Fawad; TARIQ, Rasikh; ALSHAHRANI, Haya Mesfer; ALRUWAIS, Nuha; AL-WESABI, Fahd N.. Project based learning framework integrating industry collaboration to enhance student future readiness in higher education. **Scientific Reports**, v. 15, n. 1, p. 1-25, 10 jul. 2025. Springer Science and Business Media LLC. DOI: <http://dx.doi.org/10.1038/s41598-025-10385-4>. Acesso em: 10 fev. 26.

OCCUPATIONAL SAFETY AND HEALTH ADMINISTRATION - OSHA. **Metalworking fluids: safety and health best practices manual**. Washington, 2001.

PAN, Gary; SEOW, Poh-Sun; SHANKARARAMAN, Venky; KOH, Kevin. Essence of partnership management in project-based learning: insights from a university's global project programme. **Journal Of International Education In Business**, v. 14, n. 2, p. 297-319, 28 out. 2021. DOI: <http://dx.doi.org/10.1108/jieb-04-2020-0031>. Acesso em: 10 fev. 26.

POIRIER, Sandra L.; REMSEN, Mary Ann. Technical and vocational education and training. **Advances in Higher Education and Professional Development**, p. 284-310, 2017. IGI Global. DOI: <http://dx.doi.org/10.4018/978-1-5225-1811-2.ch013>. Acesso em: 10 fev. 26.

RABENSTEIN, Andreas; KOCH, Thomas; REMESCH, Markko; BRINKSMEIER, Ekkard; KUEVER, Jan. Microbial degradation of water miscible metal working fluids. **International Biodeterioration & Biodegradation**, v. 63, n. 8, p. 1023–1029, 2009. DOI: 10.1016/j.ibiod.2009.07.005. Disponível em: [ScienceDirect – Microbial degradation of water miscible metal working fluids](https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096465600900005). Acesso em: 30 ago

VÁSQUEZ CARRILLO, Maria Cecilia. **Avaliação comparativa da sustentabilidade da produção de biocombustível de aviação a partir do hidroprocessamento dos óleos de dendê e soja nas condições brasileiras**. 2018. 160 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Energia) – Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2018. Disponível em: https://repositorio.unifei.edu.br/jspui/bitstream/123456789/2426/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o_2018101.pdf. Acesso em: 10 fev. 26.

WALSH, Daniel. Developing Successful Industrial Interactions In Support of Project Based Learning: An Organic Model. *In*: ANNUAL CONFERENCE & EXPOSITION. 2009. p. 14.459. 1-14.459. 11. Disponível em: <https://peer.asee.org/5387.pdf>. Acesso em: 10 fev. 26.

Sobre os Autores

ⁱ Gilderlon Fernandes Oliveira



Possui Mestrado em Ciências (2014) e Bacharelado em Física (2009) pelo Instituto de Física da Universidade de São Paulo (IFUSP). Atua na UniSENAI-SP – Campus Santo Amaro como docente do Ensino Superior e coordenador do Curso Superior de Tecnologia em Mecânica de Precisão e da Pós-Graduação em Engenharia da Qualidade e Produtividade, desenvolvendo atividades relacionadas ao ensino, à orientação acadêmica e à formação de profissionais nas áreas de ciências exatas, engenharia, tecnologia e educação. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7607-1732>



ii Marcus Vinicius dos Reis Venditti



Profissional com formação em Tecnologia Mecânica pela Faculdade de Tecnologia de São Paulo (1996) e Administração na Uninter (2025). Pós-graduação, em Gestão em Governança Corporativa e Socioambiental (2024), Energias Renováveis (2024) pela Uninter, e Mestrado em Administração pela USCS (2017). Com vasta experiência profissional, atuou como Tecnólogo Mecânico em Governança Corporativa e Contratações na Sabesp S/A. Na área acadêmica, é Professor Universitário nos Centros Universitários Senac e SENAI SP. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-0779-9914>