

CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTÔNIO SEABRA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA QUALIDADE

KELLY VIEIRA TANAKA
LARISSA FERNANDA SILVA LIMA

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL
PADRÃO (POP) PARA COLETA DE LUBRIFICANTES EM ÁREA EXTERNA
DE OPERAÇÃO: APLICAÇÃO NA MANUTENÇÃO PREDITIVA DE
EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS**

LINS/SP
2º SEMESTRE/2025



Assinado com Assinatura Eletrônica (Lei 14.063/2020 | Regulamento 910/2014/EC)
Hash SHA256 do original: ab2f33b7641dbea9e2fe826a78643eb9f59e96ed5540e5be2471e4b64cbfea02
Link de validação: <https://valida.ae/75a7114175209582ef545bbac197e297fd7598a90c6cfcb5d?sv>





CENTRO ESTADUAL DE EDUCAÇÃO TECNOLÓGICA PAULA SOUZA
FACULDADE DE TECNOLOGIA DE LINS PROF. ANTÔNIO SEABRA
CURSO SUPERIOR DE TECNOLOGIA EM GESTÃO DA QUALIDADE

KELLY VIEIRA TANAKA
LARISSA FERNANDA SILVA LIMA

**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL
PADRÃO (POP) PARA COLETA DE LUBRIFICANTES EM ÁREA EXTERNA
DE OPERAÇÃO: APLICAÇÃO NA MANUTENÇÃO PREDITIVA DE
EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Tecnologia de Lins Prof. Antônio
Seabra, para obtenção do Título de
Tecnólogo(a) em Gestão da Qualidade.

Orientador: Prof. Dr. Roberto Outa

LINS/SP
2º SEMESTRE/2025





Tanaka, Kelly Vieira

T161d Desenvolvimento e validação de um procedimento operacional padrão (POP) para coleta de lubrificantes em área externa de operação / Kelly Vieira Tanaka, Larissa Fernanda Silva Lima. — Lins, 2025.

21f.

Trabalho de Conclusão de Curso (Tecnologia em Gestão da Qualidade) — Faculdade de Tecnologia de Lins Professor Antonio Seabra: Lins, 2025.

Orientador(a): Dr. Roberto Outa

1. Manutenção preditiva. 2. Lubrificantes. 3. Procedimento operacional padrão. 4. Indústria 4.0. 5. Sustentabilidade. I. Lima, Larissa Fernanda Silva. II. Outa, Roberto. III. Faculdade de Tecnologia de Lins Professor Antonio Seabra. IV. Título.

CDD 658.562

Gerada automaticamente pelo módulo web de ficha catalográfica da FATEC Lins mediante dados fornecidos pelo(a) autor(a).






KELLY VIEIRA TANAKA
LARISSA FERNANDA SILVA LIMA


**DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL
PADRÃO (POP) PARA COLETA DE LUBRIFICANTES EM ÁREA EXTERNA
DE OPERAÇÃO: APLICAÇÃO NA MANUTENÇÃO PREDITIVA DE
EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à
Faculdade de Tecnologia de Lins Prof. Antônio
Seabra, como parte dos requisitos necessários
para a obtenção do título de Tecnólogo(a) em
Gestão da Qualidade sob orientação do Prof.
Roberto Outa.


Data de aprovação: / /


Roberto Outa
Data 23/12/2025 07:36
#f22c7464df9611f0800e42010a2b601f

Orientador Prof. Dr. Roberto Outa


Sandro da Silva Pinto
Data 22/12/2025 21:33
#1f69555df9611f0800e42010a2b601f

Me. Sandro da Silva Pinto


Reinaldo De Oliveira Nocchi
Data 22/12/2025 21:47
#f234f9aedf9611f0800e42010a2b601f

Me. Reinaldo de Oliveira Nocchi





SUMÁRIO

RESUMO	5
ABSTRACT	5
1 INTRODUÇÃO	6
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO E ANÁLISE DE LUBRIFICANTES	7
2.1 Fundamentação Teórica Aplicada às Ferramentas da Qualidade	8
3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL: ANÁLISE E CONSTRUÇÃO DE PROCEDIMENTOS	9
3.2 Fase I - Fundamentação e Determinação do Problema: Objeto do Trabalho	10
3.3 Fase II- Identificação e Priorização das Causas do Problema	12
3.4 Fase III – Estruturação e Detalhamento do Plano de Ação para Tratamento das Causas Prioritárias	16
4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS	17
5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS	18
5.1 Projetos Futuros	19
6 REFERÊNCIAS	19



DESENVOLVIMENTO E VALIDAÇÃO DE UM PROCEDIMENTO OPERACIONAL PADRÃO (POP) PARA COLETA DE LUBRIFICANTES EM ÁREA EXTERNA DE OPERAÇÃO: APLICAÇÃO NA MANUTENÇÃO PREDITIVA DE EQUIPAMENTOS INDUSTRIAIS

Kelly Vieira Tanaka¹, Larissa Fernanda Silva Lima²
Prof. Roberto Outa³

^{1,2} Acadêmicos do Curso de Gestão da Qualidade da Faculdade de Tecnologia de Lins Prof. Antônio Seabra – Fatec, Lins – SP, Brasil

³ Docente do Curso de Gestão da Qualidade da Faculdade de Tecnologia de Lins Prof. Antônio Seabra – Fatec, Lins – SP, Brasil

RESUMO

Este trabalho teve como objetivo desenvolver e validar um Procedimento Operacional Padrão (POP) para a coleta de lubrificantes em áreas externas de operação, assegurando a representatividade das amostras e apoiando a manutenção preditiva em equipamentos industriais. A metodologia experimental foi fundamentada na norma ISO 11171:2020 e utilizou ferramentas da qualidade para mapear falhas, priorizar causas e estruturar o processo de coleta. O estudo foi realizado em uma usina sucroenergética, com análise de 3.165 ordens de serviço, classificadas em conformes, de atenção e críticas, além do monitoramento dos principais contaminantes. Os resultados evidenciaram a efetividade do POP. O índice de conformidade aumentou de 77% para 82%, com acréscimo de 152 registros. As ocorrências de atenção caíram de 317 para 200 e os casos críticos reduziram de 400 para 365. Na análise por contaminantes, o silício apresentou eliminação total, passando de 152 ocorrências críticas para zero, enquanto ferro e cobre mostraram tendência de redução. Esses resultados comprovam que a padronização do processo e o treinamento da equipe aumentaram a confiabilidade dos diagnósticos, preservaram ativos e reduziram falhas que poderiam comprometer a disponibilidade dos equipamentos. O POP desenvolvido demonstrou benefícios em diferentes dimensões: para a indústria, maior disponibilidade de ativos e redução de custos corretivos; para a ciência, um modelo metodológico validado que integra normas técnicas, ferramentas de gestão da qualidade e aplicação prática; e para a sociedade, impactos positivos relacionados à sustentabilidade e ao uso racional de recursos.

Palavras-chaves: Manutenção preditiva; Lubrificantes; Procedimento Operacional Padrão; Indústria 4.0; Sustentabilidade.

ABSTRACT

This study aimed to develop and validate a Standard Operating Procedure (SOP) for the collection of lubricants in external operation areas, ensuring the representativeness of the samples and supporting predictive maintenance in industrial equipment. The experiment was based on ISO 11171:2020 standards and utilized quality tools to identify failures, prioritize causes, and structure the collection process. The study was conducted at a sugar-energy plant, analyzing 3,165 work orders, classified as compliant, under attention, and critical, in addition to monitoring the major

contaminants. The results highlighted the effectiveness of the SOP. The compliance rate increased from 77% to 82%, with an addition of 152 records. Warning cases dropped from 317 to 200, and critical cases were reduced from 400 to 365. In the contaminant analysis, silicon showed complete elimination, decreasing from 152 critical occurrences to zero, while iron and copper showed a reduction trend. These results confirm that process standardization and team training enhanced diagnostic reliability, preserved assets, and reduced failures that could compromise equipment availability. The developed SOP demonstrated benefits in different areas: for industry, greater asset availability and reduced corrective costs; for science, a validated methodological model that integrates technical standards, quality management tools, and practical application; and for society, positive impacts related to sustainability and the rational use of resources.

Keywords: Predictive Maintenance; Lubricants; Standard Operating Procedure; Industry 4.0; Sustainability.

1 INTRODUÇÃO

A análise de lubrificantes, fundamentada nos princípios da tribologia, possui uma trajetória que remonta à Antiguidade, quando óleos e gorduras eram empregados para reduzir o atrito entre superfícies. Com o advento da Revolução Industrial, o desenvolvimento das máquinas e o aprimoramento dos lubrificantes tornaram indispensável o estabelecimento de métodos mais precisos de monitoramento. Nas últimas décadas, impulsionada pelas tecnologias da Indústria 4.0 e pela adoção de norma internacional, como a ISO 11171:2020, a análise de lubrificantes consolidou-se como uma ferramenta essencial da manutenção preditiva, possibilitando a identificação precoce de falhas e a otimização da gestão de ativos industriais.

A relevância dessa prática é amplamente reconhecida na literatura. Segundo Obara (2018) a análise de lubrificantes desempenha papel fundamental na detecção de desgaste em motores de combustão interna, contribuindo para o aumento da vida útil dos componentes. Conforme Knaak et al. (2019), sua aplicação em motores navais demonstra elevada eficácia na identificação de falhas em ambientes de alta criticidade. Para aprimorar a interpretação dos resultados, Carvalho (2021) destaca que ferramentas de gestão são essenciais para garantir diagnósticos mais precisos. Schutz (2022) evidencia que a análise de óleo é determinante na prevenção de paradas não programadas em ativos industriais, enquanto Cavalcante Júnior e Couras (2024) reforçam sua importância na gestão de frotas de equipamentos pesados, demonstrando sua contribuição para a eficiência de grandes parques de máquinas.

Neste contexto, o presente trabalho tem como objetivo intrínseco desenvolver e validar um Procedimento Operacional Padrão (POP) para a coleta e análise de lubrificantes, assegurando a representatividade das amostras e a confiabilidade dos diagnósticos laboratoriais, especialmente em áreas externas onde a variabilidade dos procedimentos compromete o processo. Para tanto, pretende-se diagnosticar as causas dessa variabilidade, identificar e priorizar os fatores críticos que afetam a qualidade das amostras e estruturar o POP com base na norma ISO 11171:2020 e em ferramentas da qualidade. Fundamentado nessas diretrizes, o POP busca preservar as propriedades físico-químicas dos lubrificantes e fortalecer a confiabilidade das análises laboratoriais. Sua aplicação inicial será direcionada a usinas de açúcar e álcool, abrangendo equipamentos industriais, veículos pesados e sistemas hidráulicos, com potencial de expansão para setores como transporte,

mineração e petroquímica. A metodologia proposta possibilita o monitoramento contínuo das condições dos lubrificantes, permitindo a identificação de contaminantes, a avaliação da degradação química e a detecção de desgaste em componentes mecânicos.

A implementação desse processo padronizado trará benefícios significativos, entre eles a redução das variabilidades na coleta, a melhoria no planejamento da manutenção preditiva, a otimização do consumo de lubrificantes e a diminuição do impacto ambiental, alinhando-se às diretrizes de gestão sustentável e eficiência operacional. Ademais, a utilização de ferramentas da qualidade contribuirá para a rastreabilidade dos resultados analíticos e para uma tomada de decisão mais assertiva e baseada em dados confiáveis.

Dessa forma, este estudo busca demonstrar a adoção de um Procedimento Operacional Padrão (POP) não apenas eleva a confiabilidade das análises laboratoriais, mas também fortalece a manutenção centrada na confiabilidade, reduz custos operacionais e prolonga a vida útil dos equipamentos. Assim, o método proposto consolida-se como um modelo replicável, eficiente e inovador para o setor sucroenergético e demais segmentos industriais que visam aprimorar a gestão da qualidade e a manutenção preditiva de seus processos.

Por fim, o trabalho foi estruturado de forma lógica e progressiva. O Capítulo 2 apresenta a fundamentação teórica sobre engenharia de manutenção, análise de lubrificantes e ferramentas da qualidade aplicadas à padronização de processos, evidenciando sua importância na construção do POP e destacando os princípios técnicos que embasam o estudo. O Capítulo 3 descreve a metodologia experimental adotada, detalhando as etapas de diagnóstico, priorização das causas e elaboração do plano de ação.

Na sequência, o Capítulo 4 apresenta e analisa os resultados obtidos após a implementação do POP, avaliando seu impacto na confiabilidade das coletas e nos índices de conformidade. Por fim, o Capítulo 5 reúne as conclusões do estudo, ressaltando suas contribuições práticas e teóricas, além de propor diretrizes e projetos futuros voltados à ampliação e digitalização do método desenvolvido. Essa estrutura visa garantir clareza, coerência e continuidade lógica entre as etapas de desenvolvimento, aplicação e validação do trabalho.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA: ENGENHARIA DE MANUTENÇÃO E ANÁLISE DE LUBRIFICANTES

A engenharia de manutenção é um campo estratégico voltado à confiabilidade e disponibilidade dos sistemas produtivos. Segundo Kardec e Nascif (2009), mencionam que seu propósito é eliminar falhas crônicas e promover melhorias contínuas. Para Mobley, Higgins e Wikoff (2008) destacam que sua aplicação estruturada garante produtividade e segurança operacional. A ABNT NBR 5462 (1994) define manutenção como o conjunto de ações destinadas a manter ou restaurar a função de um item, enquanto Pontes (2015), reforça que sua execução assegura o funcionamento contínuo dos equipamentos.

A manutenção preditiva diferencia-se por utilizar medições periódicas que permitem antecipar falhas e otimizar intervenções. De acordo com Monchy (1987) explica que o acompanhamento das condições reais dos equipamentos garante conformidade com os parâmetros de projeto. Segundo Cyrino (2015; 2016) destaca

que o monitoramento contínuo identifica a evolução das falhas e possibilita ações preventivas. A escolha adequada das técnicas é essencial para a precisão dos diagnósticos, enquanto Viana (2008), Kardec e Nascif (2009) associam essa prática à redução de custos e aumento da eficiência.

Com o avanço da Indústria 4.0, sensores inteligentes, Internet das Coisas e análise de Big Data ampliaram o alcance da manutenção preditiva (Pittol, 2020). Segundo Cyrino (2016), essas tecnologias aumentam a agilidade na tomada de decisão e tornam o processo digital e contínuo. Entre as técnicas aplicadas, a análise de óleo lubrificante destaca-se pela capacidade de identificar desgaste interno e contaminações. De acordo com Thweatt e Bell (2006) afirmam que diagnósticos antecipados reduzem perdas de produtividade, enquanto Ramezani e Memariani (2011) confirmam sua eficácia na detecção de falhas incipientes.

A confiabilidade dos resultados depende da frequência e da qualidade das coletas. Para Carnero (2005) destaca que a padronização analítica é indispensável, e Cavalcante Júnior e Couras (2024) demonstram que o monitoramento sistemático de lubrificantes antecipa intervenções e reduz custos operacionais. Segundo Cardoso (2004) define a viscosidade como o principal parâmetro de desempenho, enquanto Farah (2012) relaciona a cor do óleo à uniformidade do produto. Schio (2011) indicam que a ferrografia permite avaliar partículas de desgaste, e a espectrometria, segundo Supreme Lubrificantes (2016), identifica metais e aditivos no óleo. A ABNT NBR 11348 (2005) estabelece o método Karl Fischer para determinar o teor de água, e a ISO 11171:2020 orienta os procedimentos de amostragem e calibração de partículas, assegurando representatividade e precisão analítica.

Essas normas, aliadas à ABNT NBR 10004 (1987) e ABNT NBR 5462 (1994), reforçam a importância da confiabilidade e da manutenibilidade no contexto industrial. Para Campos (2004) e Corrêa e Corrêa (2019) apontam que a integração entre padronização técnica e gestão da qualidade garante rastreabilidade e melhoria contínua, fundamentos que sustentam o desenvolvimento do Procedimento Operacional Padrão (POP) adotado neste trabalho.

2.1 Fundamentação Teórica Aplicada às Ferramentas da Qualidade

As ferramentas da qualidade são instrumentos que auxiliam na análise e melhoria contínua dos processos industriais. Campos (2004) e Paladini (2019) afirmam que seu uso sistemático permite identificar causas de falhas e estabelecer prioridades de ação. Corrêa e Corrêa (2019) destacam que essas técnicas promovem rastreabilidade e confiabilidade, essenciais para a padronização de procedimentos como o POP.

O ciclo PDCA, conforme Paladini (2019), organiza a melhoria contínua nas etapas de planejar, executar, verificar e agir, enquanto Leonel (2008) ressalta que sua aplicação estimula o aprendizado organizacional. O brainstorming, criado por Osborn (2006), menciona a percepção coletiva de problemas e favorece a geração de soluções (Campos, 2004). O método dos cinco porquês, proposto por Ohno (1997), permite identificar causas raízes e evitar recorrência de falhas (Paladini, 2019).

O diagrama de Ishikawa, segundo Silva (2011), avalia e classificam as causas e categorias relacionadas ao processo, e Werkema (2021) reforça sua utilidade na análise colaborativa. A matriz GUT, de acordo com Campos (2004) e Pestana et al. (2016), prioriza problemas com base em gravidade, urgência e tendência. O fluxograma, conforme Werkema (2021), representam visualmente as etapas do

processo, enquanto segundo Corrêa e Corrêa (2019) destacam sua clareza na padronização operacional.

Para Campos (2004) e Corrêa e Corrêa (2019) descrevem o plano de ação como instrumento de desdobramento de metas, e Paladini (2019) observa que ele assegura o acompanhamento das melhorias. O método 5W1H, segundo Slack, Brandon-Jones e Johnston (2016), estrutura o planejamento das ações em seis perguntas essenciais, garantindo clareza e controle na execução.

Campos (2004) e Paladini (2019), constitui base metodológica sólida para a padronização de processos, permitindo o diagnóstico de causas, a definição de prioridades e a implementação de soluções sustentáveis em ambientes industriais.

3 METODOLOGIA EXPERIMENTAL: ANÁLISE E CONSTRUÇÃO DE PROCEDIMENTOS

A pesquisa experimental foi conduzida em uma usina de açúcar e álcool localizada no interior do estado de São Paulo, no setor de manutenção automotiva. Trata-se de um estudo com abordagem qualitativa e quantitativa, fundamentado na observação direta das atividades operacionais e na análise documental de registros anteriores. O levantamento de dados ocorreu por meio de reuniões técnicas, entrevistas e acompanhamento das equipes de lubrificação e do laboratório, com o objetivo de compreender e padronizar as práticas de coleta de amostras de lubrificantes.

O desenvolvimento metodológico foi estruturado em três fases complementares: (i) diagnóstico e identificação das causas do problema, (ii) priorização e análise das causas críticas e (iii) estruturação e validação do Procedimento Operacional Padrão (POP). As ferramentas da qualidade utilizadas, Brainstorming, Matriz GUT, Diagrama de Ishikawa, 5 Porquês, PDCA, 5W1H e Fluxograma, foram aplicadas de forma integrada, permitindo identificar falhas, hierarquizar causas e propor soluções de forma estruturada e rastreável.

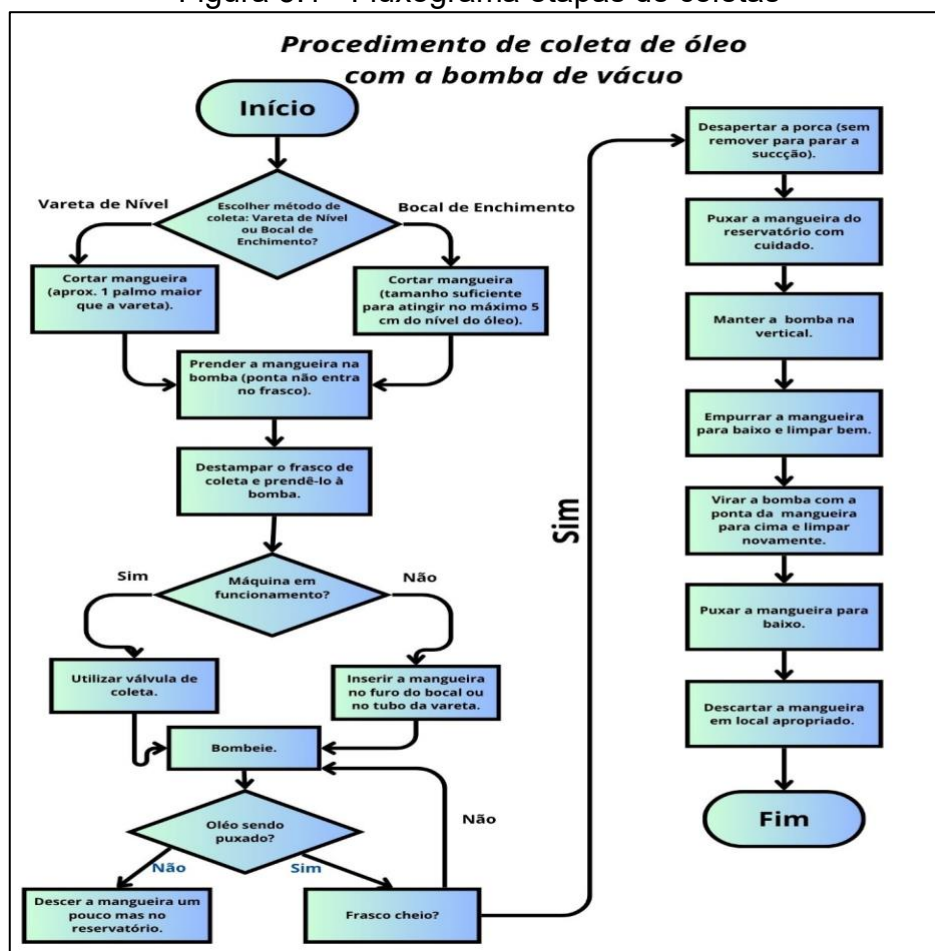
A elaboração do POP foi embasada na norma ISO 11171:2020, que definem diretrizes para amostragem e calibração de contadores automáticos de partículas em fluidos lubrificantes. Essas referências asseguram a rastreabilidade e a conformidade dos resultados com padrões internacionais, evitando contaminações cruzadas e assegurando a integridade das amostras coletadas.

Durante a fundamentação, verificou-se que a variabilidade dos resultados de análises laboratoriais de lubrificantes estava associada à ausência de procedimentos padronizados e à falta de capacitação uniforme das equipes. A aplicação do POP buscou reduzir essas inconsistências e elevar a confiabilidade das análises.

A pesquisa foi conduzida em três fases: diagnóstico (2 meses), elaboração do POP (1 mês) e acompanhamento pós-implementação (6 meses). As análises laboratoriais foram realizadas no software do espectrofotômetro de absorção atômica (Spectro AA) e tratadas no Power BI. No total, 3.165 ordens de serviço foram avaliadas, classificadas em conformes, de atenção ou críticas, além da identificação de contaminantes. O período anterior ao POP compreendeu outubro de 2024 a março de 2025, e o posterior, março a agosto de 2025. A Tabela 4.1 compara esses intervalos e evidencia o impacto do procedimento implementado.

A Figura 3.1 apresenta o fluxograma das etapas de coleta, consolidando o processo de amostragem, armazenamento e transporte.

Figura 3.1 - Fluxograma etapas de coletas



Fonte: Elaborada pelos autores

3.2 Fase I - Fundamentação e Determinação do Problema: Objeto do Trabalho

Na Fase I, foram identificadas e categorizadas as falhas no processo de coleta. Realizou-se um brainstorming com os técnicos de manutenção e laboratório, a fim de levantar as causas que comprometiam a representatividade das amostras e a rastreabilidade dos dados. As falhas levantadas foram organizadas na Tabela 3.2.1 onde mostram as possíveis falhas, apresentadas durante a coleta de amostra de lubrificantes.

Tabela 3.2.1 – Possíveis falhas na coleta de amostra de lubrificantes

Identificação Ampla das Possíveis Fontes de Falhas na Coleta de Amostras de Lubrificantes
Brainstorming-Inicial
Amostra apresenta com partículas grandes visíveis ao olho nu
Resultados de análises não representam a condição real do equipamento
Diferença grande entre amostras coletadas por pessoas diferentes
Amostra do mesmo equipamento apresentam variação anormal entre períodos curtos
Não há documentação clara sobre coletar amostra corretamente
Não se sabe ao certo se a coleta foi feita no momento certo (antes ou depois da operação)
Treinamento sobre coleta não foi padronizado ou documentado
As análises espectrais acusam níveis de contaminação incompatíveis com o esperado

Fonte: Elaborada pelos autores.

Na segunda etapa, as falhas mapeadas são analisadas por meio da Matriz GUT (Gravidade, Urgência e Tendência), com o objetivo de identificar, de forma estruturada, as necessidades mais críticas da empresa. Cada falha recebe pontuações conforme critérios previamente definidos, permitindo estabelecer uma hierarquia de prioridade para tratamento. A sistematização dessa análise está representada na Tabela 3.2.2 abaixo.

Tabela 3.2.2 – Matriz GUT

Falha Identificada	Gravidade	Tendência	Urgência	G	U	T	G x U x T
Amostra apresenta com partículas grandes visíveis ao olho nu	Muito grave	Irá piorar a curto prazo	Urgente, merece atenção no curto prazo	4	3	4	48
Resultados de análises não representam a condição real do equipamento	Extremamente grave	Irá piorar a curto prazo	Muito urgente	5	4	4	80
Diferença grande entre amostras coletadas por pessoas diferentes	Muito grave	Irá piorar a curto prazo	Urgente, merece atenção no curto prazo	4	3	4	48
Amostra do mesmo equipamento apresentam variação anormal entre períodos curtos	Muito grave	Irá piorar a curto prazo	Urgente, merece atenção no curto prazo	4	3	4	48
Não há documentação clara sobre coletar amostra corretamente	Extremamente grave	Irá piorar rapidamente	Necessidade de ação imediata	5	5	5	125
Não se sabe ao certo se a coleta foi feita no momento certo (antes ou depois da operação)	Muito grave	Irá piorar a curto prazo	Muito urgente	4	4	4	64
Treinamento sobre coleta não foi padronizado ou documentado	Extremamente grave	Irá piorar rapidamente	Necessidade de ação imediata	5	5	5	125
As análises espectrais acusam níveis de contaminação incompatíveis com o esperado	Extremamente grave	Irá piorar a curto prazo	Muito urgente	5	4	4	80

Fonte: Elaborador pelos autores.

A partir das falhas previamente identificadas, aplica-se a Matriz GUT com base nos critérios de Gravidade, Urgência e Tendência, permitindo uma análise estruturada de priorização. Cada falha é pontuada conforme sua criticidade em cada critério, e os resultados obtidos encontram-se consolidados na Tabela 3.2.3 a seguir, orientando a definição das ações corretivas mais relevantes.

Tabela 3.2.3 - Matriz GUT pontuação das falhas e ações corretivas.

Falha Identificada	Gravidade	Tendência	Urgência	G	U	T	G x U x T
Resultados de análises não representam a condição real do equipamento	Extremamente grave	Irá piorar a curto prazo	Muito urgente	5	4	4	80
Não há documentação clara sobre coletar amostra corretamente	Extremamente grave	Irá piorar rapidamente	Necessidade de ação imediata	5	5	5	125
Treinamento sobre coleta não foi padronizado ou documentado	Extremamente grave	Irá piorar rapidamente	Necessidade de ação imediata	5	5	5	125
As análises espectrais acusam níveis de contaminação incompatíveis com o esperado	Extremamente grave	Irá piorar a curto prazo	Muito urgente	5	4	4	80

Fonte: Elaborada pelos autores.

A Figura 3 evidenciou como falhas centrais a ausência de documentação clara e de treinamento padronizado, comprometendo representatividade, rastreabilidade e confiabilidade das análises. Brainstorming e Matriz GUT confirmaram essas falhas como críticas (pontuação 125). Falhas secundárias, como incongruência entre resultados e condições reais e contaminações cruzadas (pontuação 80), também exigem atenção. Esse diagnóstico fundamenta o ciclo PDCA e a criação do POP, alinhado ao SGQ para garantir padronização, confiabilidade e conformidade.

3.3 Fase II- Identificação e Priorização das Causas do Problema

Nesta segunda fase, realiza-se um segundo brainstorming com o objetivo de identificar, de forma mais detalhada, os possíveis fatores que contribuem negativamente para o problema analisado. São apontadas na Figura 3.3.1 a Identificação e Priorização das causas do Problema mediante as seguintes razões:

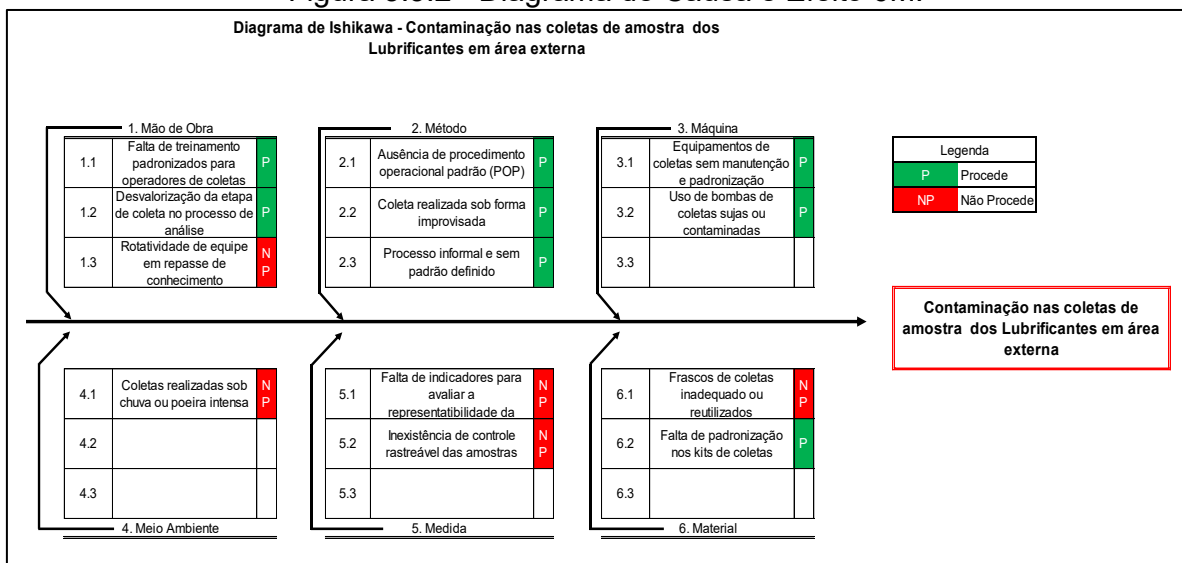
Figura 3.3.1- Identificação e Priorização das causas do Problema.

Motivos	
Ausência de procedimento operacional padrão (POP)	
Rotatividade de equipe em repasse de conhecimento	
Falta de treinamento padronizados para operadores de coletas	
Processo informal e sem padrão definido	
Desvalorização da etapa de coleta no processo de análise	
Coleta realizada sob forma improvisada	
Uso de bombas de coletas sujas ou contaminadas	
Equipamentos de coletas sem manutenção e padronização	
Falta de padronização nos kits de coletas	
Coletas realizadas sob chuva ou poeira intensa	
Falta de indicadores para avaliar a representatividade da amostra	
Inexistência de controle rastreável das amostras	
Possível contaminação cruzada por uso devido de ferramentas	
Frascos de coletas inadequado ou reutilizados	

Fonte: Elaborada pelos autores.

Após a identificação das causas potenciais, é elaborado um diagrama de Ishikawa para classificar essas causas, independentemente de sua relevância inicial, de acordo com os 6M do diagrama de Causa e Efeito. Assim apresentado na Figura 3.3.2 os respectivos dados, destacando a seguir.

Figura 3.3.2 - Diagrama de Causa e Efeito 6M.



Fonte: Elaborada pelos autores

Tendo estabelecida a hierarquia entre os motivos e os efeitos, é elaborada uma tabela para determinar as principais causas do problema, utilizando a técnica dos 5 Porquês aplicada ao problema estudado. A Tabela 3.3.3 a seguir destacam o detalhamento dessas principais causas.

Tabela 3.3.3 - 5 Porquês detalhamento das principais causas do problema.

Falha Diagnosticada	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?	Por quê?
Ausência de procedimento operacional padrão (POP)	Nunca foi desenvolvido um documento padronizando o processo	A empresa não possui uma cultura consolidada de padronização de atividades operacionais	O foco está mais na execução prática do serviço do que na formalização e controle dos processos	Há ausência de treinamento sobre a importância dos procedimentos documentados e seus impactos nos resultados	Não há uma política estruturada de capacitação contínua e gestão do conhecimento na empresa
Processo informal e sem padrão definido	Os colaboradores executam as atividades de acordo com a experiência, sem orientação documentada	Não existe um procedimento formal (POP) que unifica as práticas	A empresa ainda não estruturou uma metodologia de padronização dos processos críticos	Há ausência de uma política de gestão da qualidade voltada a padronização e melhoria contínua	A alta gestão ainda não priorizou recursos e esforços para estruturar um sistema de gestão da qualidade (SGQ)
Coleta realizada sob forma improvisada		Falta um (POP), procedimento operacional padrão, que oriente passo a passo como a coleta deve ser realizada	A empresa não priorizou a padronização dessa atividade como arte essencial da qualidade do processo	Há baixa percepção sobre impactos que erros nas coletas podem causar nos resultados laboratoriais e decisões de manutenção	Não há ações de capacitação, indicadores de falha ou análises de causa-raiz vinculadas à coleta inadequada a prejuízos operacionais
Falta de treinamento padronizados para operadores de coletas	Não há capacitação específica	Coleta é tratada como atividade secundária	Não há plano de qualificação técnica	Não há exigência mínima de capacitação	Qualidade é responsabilidade difusa
Uso de bombas de coletas sujas ou contaminadas			A importância da integridade da bomba na representatividade da amostra não foi considerada na elaboração dos processos	Há falta de capacitação dos operadores sobre os riscos de contaminação cruzada e sua consequência	Não existe um programa estruturado de treinamentos contínuo voltado a coleta e manipulação dos equipamentos
Equipamentos de coletas sem manutenção e padronização				A coleta de lubrificante não foi tratada como um processo crítico com necessidade de controle de qualidade	Há baixo conhecimento sobre o impacto da coleta inadequada nos diagnósticos laboratoriais e na manutenção preditiva
Falta de padronização nos kits de coletas		Não há uma lista de verificação (checklist) ou instrução formal sobre os itens obrigatórios	Não foi elaborado um procedimento operacional padrão (POP) para a preparação dos kits	A empresa não tratou o kit de coleta como um item crítico que impacta na qualidade da amostra	Falta de conscientização sobre o impacto da padronização dos kits na confiabilidade das análises laboratoriais
Desvalorização da etapa de coleta no processo de análise			Os operadores não foram devidamente instruídos sobre o impacto das coletas na confiabilidade das análises laboratoriais	A empresa não possui um programa estruturado e treinamento técnico específico para amostragem	A ausência de métrica e histórico documentado impedem a identificação dos impactos das falhas de coletas nos resultados operacionais

Fonte: Elaborada pelos autores



Aplicando os dados na Matriz GUT, são estabelecidas as prioridades de cada problema identificado no processo, o que permite definir as estratégias de ação a serem implementadas com base no cálculo de gravidade que a matriz oferece para a tomada de decisões. A Tabela 3.3.4 a seguir destaca a definição das estratégias com base na gravidade de cada problema em questão como mostra a seguir.

Tabela 3.3.4 - Matriz GUT definição das estratégias com base no cálculo da gravidade dos problemas.

Falha Diagnosticada	Causa Raiz	Gravidade	Tendência	Plano de Ação	Urgência	G	U	T	G x U x T
Há ausência de treinamento sobre a importância dos procedimentos documentados e seus impactos nos resultados	Não há uma política estruturada de capacitação contínua e gestão do conhecimento na empresa	Extremamente grave	Irá piorar rapidamente	Implementação de programa estruturado de capacitação contínua sobre procedimentos documentados e sua importância nos resultados operacionais	Muito urgente	5	4	5	100
Há ausência de uma política de gestão da qualidade voltada a padronização e melhoria contínua	A alta gestão ainda não priorizou recursos e esforços para estruturar um sistema de gestão da qualidade (SGQ)	Extremamente grave	Irá piorar rapidamente	Atualizar os treinamentos com foco no ponto correto de coleta e elaborar um Procedimento Operacional Padrão (POP) com fotos e instruções detalhadas dos pontos de coleta dos equipamentos.	Muito urgente	5	4	5	100
Há baixa percepção sobre impactos que erros nas coletas podem causar nos resultados laboratoriais e decisões de manutenção	Não há ações de capacitação, indicadores de falha ou análises de causa-raiz vinculado coleta inadequada a prejuízos operacionais	Extremamente grave	Irá piorar a curto prazo	Realizar treinamentos sobre os impactos dos erros de coleta nos resultados laboratoriais e decisões de manutenção, e implantar indicadores e análises de causa-raiz que associem falhas na coleta a prejuízos operacionais.	Muito urgente	5	4	4	80
Não há exigência mínima de capacitação	Qualidade é responsabilidade difusa	Muito grave	Irá piorar a curto prazo	Definir requisitos mínimos para desempenho de funções críticas e atribuir responsabilidades formais pela garantia da qualidade em cada setor	Muito urgente	4	4	4	64
Há falta de capacitação dos operadores sobre os riscos de contaminação cruzadas e sua consequência	Não existe um programa estruturado de treinamentos contínuo voltado a coleta e manipulação dos equipamentos	Extremamente grave	Irá piorar a curto prazo	Desenvolver e aplicar treinamentos periódicos para os operadores com foco em boas práticas de coleta e manuseio dos equipamentos, incluindo exemplos práticos e consequências da contaminação	Muito urgente	5	4	4	80
A coleta de lubrificante não foi tratada como um processo crítico com necessidade de controle de qualidade	Há baixo conhecimento sobre o impacto da coleta inadequada nos diagnósticos laboratoriais e na manutenção preditiva	Extremamente grave	Irá piorar a curto prazo	Estabelecer controle de qualidade para a coleta, incluir a atividade como parte do SGQ e promover treinamentos para conscientizar a equipe sobre seu impacto nos diagnósticos e na manutenção preditiva.	Muito urgente	5	4	4	80
A empresa não tratou o kit de coleta como um item crítico que impacta na qualidade da amostra	Falta de conscientização sobre o impacto da padronização dos kits na confiabilidade das análises laboratoriais	Muito grave	Irá piorar a curto prazo	Estabelecer um modelo padrão de kit de coleta, com materiais e instruções definidas, e realizar treinamentos práticos destacando sua influência na qualidade e confiabilidade das análises.	Urgente, merece atenção no curto prazo	4	3	4	48
A empresa não possui um programa estruturado e treinamento técnico específico para amostragem	A ausência de métrica e histórico documentado impedem a identificação dos impactos das falhas de coletas nos resultados operacionais	Extremamente grave	Irá piorar a curto prazo	Criar e aplicar um programa de capacitação voltado à coleta e amostragem, com indicadores de desempenho e histórico documentado para monitorar os impactos nos resultados operacionais.	Muito urgente	5	4	4	80

Fonte: Elaborada pelos autores.

3.4 Fase III – Estruturação e Detalhamento do Plano de Ação para Tratamento das Causas Prioritárias

Com a definição das criticidades das falhas, são realizadas as tratativas por meio da ferramenta 5W1H, na qual são definidos as ações, os responsáveis, os resultados esperados e os locais de implantação dos planos de ação. Na Tabela 3.4.1 a seguir mostra de forma clara, o detalhamento do plano de ação junto a ferramenta 5W1H.

Tabela 3.4.1 Fase III - Detalhamento do Plano de Ação tratativas por meio da ferramenta 5W1H.

Prioridade	Problema	Criticidade		Plano de Ação (What)	Resultado Esperado (Why)	Onde ? (Where)	Quando? (When)	Responsável (Who)	Como (How)
1	Há ausência de treinamento sobre a importância dos procedimentos documentados e seus impactos nos resultados	100	Altíssima	Implementação de programa estruturado de capacitação contínua sobre procedimentos documentados e sua importância nos resultados operacionais	Garantir o entendimento e a aplicação correta dos procedimentos para aumentar a confiabilidade das análises e reduzir falhas operacionais	Setores de Lubrificação e Combóio	Próximo Trimestre	Departamento do SGQ, Engenharia da Manutenção e Laboratório	Desenvolver materiais conforme os requisitos do SGQ, promover treinamentos, verificar a eficácia e manter registros controlados.
2	Há ausência de uma política de gestão da qualidade voltada a padronização e melhoria contínua	100	Altíssima	Atualizar os treinamentos com foco no ponto correto de coleta e elaborar um Procedimento Operacional Padrão (POP) com fotos e instruções detalhadas dos pontos de coleta dos equipamentos.	Assegurar a padronização do processo de coleta, minimizando falhas operacionais, garantindo maior representatividade das amostras e aumentando a confiabilidade dos resultados laboratoriais e diagnósticos	Setores de Manutenção e Laboratório de Análises, abrangendo todas as frentes de coleta de lubrificantes	Início em até 30 dias, com acompanhamento contínuo e revisão do procedimento a cada semestre	Engenharia de Manutenção, líderes da primária e líder do laboratório	Elaborar POP com fotos e instruções claras para cada ponto de coleta; revisar conteúdos dos treinamentos; aplicar capacitação teórica e prática; registrar participação e desempenho; e acompanhar periodicamente a aplicação correta do procedimento.
3	Há baixa percepção sobre impactos que erros nas coletas podem causar nos resultados laboratoriais e decisões de manutenção	80	Altíssima	Realizar treinamentos sobre os impactos dos erros de coleta nos resultados laboratoriais e decisões de manutenção, e implantar indicadores e análises de causa-raiz que associem falhas na coleta a prejuízos operacionais.	Aumentar a percepção dos colaboradores sobre as consequências dos erros de coleta, promovendo decisões de manutenção mais assertivas e reduzindo prejuízos operacionais.	Área de manutenção, operação e laboratório de análises.	Início em até 30 dias, com reforço trimestral nos treinamentos.	Engenharia de Manutenção, líderes da primária, líder do laboratório, consultoria especializada	Ministrar treinamentos teóricos e práticos sobre impactos de erros de coleta; criar indicadores de falhas e seus impactos; realizar análises de causa-raiz periódicas; e divulgar resultados para conscientização contínua.
4	Há falta de capacitação dos operadores sobre os riscos de contaminação cruzada e sua consequência	80	Altíssima	Desenvolver e aplicar treinamentos periódicos para os operadores com foco em boas práticas de coleta e manuseio dos equipamentos, incluindo exemplos práticos e consequências da contaminação	Reduzir riscos de contaminação cruzada, garantindo a integridade das amostras, a confiabilidade dos resultados laboratoriais e a segurança operacional.	Na base de manutenção primária (lubrificação e combóio)	No próximo trimestre, com treinamentos de reciclagem a cada 6 meses.	Engenharia de manutenção, líder do laboratório e Consultoria especializada	Desenvolver material de treinamento com exemplos práticos, realizar capacitações teóricas e práticas, aplicar avaliações para medir o aprendizado e registrar a participação de todos os operadores
5	A coleta de lubrificante não foi tratada como um processo crítico com necessidade de controle de qualidade	80	Altíssima	Estabelecer controle de qualidade para a coleta, incluir a atividade como parte do SGQ e promover treinamentos para conscientizar a equipe sobre seu impacto nos diagnósticos e na manutenção preditiva.	Assegurar que a coleta de lubrificante seja reconhecida e conduzida como uma etapa estratégica para a manutenção preditiva, com procedimentos controlados que eliminem variabilidades, previnam contaminações e garantam diagnósticos laboratoriais mais precisos.	Na base de manutenção primária (lubrificação e combóio)	Início em até 30 dias, com revisões trimestrais.	Engenharia de manutenção, coordenador e líderes da primária	Implantar controles de qualidade específicos para o processo de coleta, incluir a atividade formalmente no Sistema de Gestão da Qualidade (SGQ), ministrar treinamentos teóricos e práticos sobre a importância da coleta para diagnósticos e manutenção preditiva, e registrar a participação da equipe.
6	A empresa não possui um programa estruturado e treinamento técnico específico para amostragem	80	Altíssima	Criar e aplicar um programa de capacitação voltado à coleta e amostragem, com indicadores de desempenho e histórico documentado para monitorar os impactos nos resultados operacionais.	Estruturar e formalizar um programa corporativo de coleta e amostragem que integre procedimentos padronizados, treinamento contínuo e gestão de conhecimento, garantindo rastreabilidade e consistência nos resultados das análises.	Toda a cadeia de coleta e amostragem, abrangendo campo, oficina e laboratório.	Implantação em até 60 dias, com revisões semestrais do conteúdo e métodos.	Coordenação de Qualidade, em conjunto com Supervisão de Manutenção.	Mapear e documentar o fluxo de coleta, criar banco de lições aprendidas, padronizar ferramentas e kits de amostragem, implementar um sistema de registro e acompanhamento de não conformidades e associar indicadores de qualidade à performance do programa.
7	Não há exigência mínima de capacitação	64	Altíssima	Definir requisitos mínimos para desempenho de funções críticas e atribuir responsabilidades formais pela garantia da qualidade em cada setor	Garantir que apenas profissionais devidamente capacitados e certificados desempenhem funções críticas, assegurando padrões elevados de qualidade e segurança operacional.	Todos os setores que realizam atividades críticas ligadas à coleta, amostragem, análise e manutenção.	Estabelecer critérios e iniciar aplicação em até 45 dias, com revalidação anual.	Coordenação de RH e Qualidade, em conjunto com Supervisores de Setor.	Criar matriz de competências por função, definir treinamentos obrigatórios, estabelecer prova prática e teórica para certificação interna, registrar habilitação dos operadores e bloquear a execução de atividades críticas por pessoas não certificadas.
8	A empresa não tratou o kit de coleta como um item crítico que impacta na qualidade da amostra	48	Média	Estabelecer um modelo padrão de kit de coleta, com materiais e instruções definidas, e realizar treinamentos práticos destacando sua influência na qualidade e confiabilidade das análises.	Garantir que todos os kits de coleta sejam padronizados e atendam aos requisitos de qualidade, evitando variações que comprometam a representatividade das amostras.	Todos os setores responsáveis pela coleta de lubrificantes e amostragem para análise.	Implantar padronização e treinamento em até 60 dias, com revisão semestral.	Setor de Manutenção Preditiva, em parceria com o Controle de Qualidade.	efinir lista oficial de componentes do kit de coleta, criar manual ilustrado de montagem e uso, treinar operadores com prática supervisionada e implementar controle de estoque para assegurar que somente kits conformes sejam utilizados.

Fonte: Elaborada pelos autores.



4 DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

A implementação do Procedimento Operacional Padrão (POP), associada ao treinamento da equipe, demonstrou impacto direto na qualidade das coletas de lubrificantes. A padronização permitiu reduzir falhas recorrentes, diminuir variabilidades no processo e aumentar a confiabilidade das análises laboratoriais, transformando um procedimento até então instável em um processo controlado e previsível.

Para verificar os efeitos da aplicação do POP, foram analisadas 3.165 ordens de serviço, classificadas em conformes, de atenção ou críticas, além da identificação de contaminantes relevantes. A Tabela 4.1 apresenta a comparação entre a situação observada antes e depois da aplicação do POP, possibilitando avaliar de forma quantitativa os resultados alcançados e evidenciar a contribuição prática da pesquisa.

Tabela 4.1 – Comparação dos Resultados

Indicador	Antes do POP	Depois do POP	Variação observada
Total de ordens de serviço avaliadas	3.165	3.165	—
Classificação Conformes	2.448 (77%)	2.600 (82%)	+152 registros / +5 p.p.
Classificação de Atenção	317 (10%)	200 (6%)	-117 registros / -4 p.p.
Classificação Críticas	400 (13%)	365 (12%)	-35 registros / -1 p.p.
Ocorrências Críticas de Silício	152	0	Redução total
Ocorrências Críticas de Ferro	132	Tendência de redução	Redução parcial observada
Ocorrências Críticas de Cobre	44	Tendência de redução	Redução parcial observada

Fonte: Elaborada pelos autores.

Note que, os resultados da Tabela 1 mostram aumento do índice de conformidade de 2.448 registros (77%) para 2.600 registros (82%), o que representa acréscimo de 152 amostras e crescimento de 5 pontos percentuais. As amostras classificadas como de atenção caíram de 317 (10%) para 200 (6%), evidenciando redução de 117 registros. Já os casos críticos reduziram de 400 (13%) para 365 (12%), representando 35 ocorrências a menos.

Na análise específica dos contaminantes, o silício apresentou redução completa, passando de 152 ocorrências críticas para zero após a aplicação do POP. O ferro e o cobre, que antes apresentavam respectivamente 132 e 44 ocorrências críticas, mostraram tendência de queda, reforçando que o novo procedimento contribuiu para o controle progressivo de diferentes elementos contaminantes.

Os resultados obtidos caracterizam uma mudança do processo de coleta de um estado parcialmente instável para um processo mais controlado. A redução conjunta das categorias de Atenção e Críticas representa 9% do total de análises, indicando diminuição de variabilidade operacional e maior previsibilidade dos diagnósticos. A eliminação do silício como contaminante crítico reflete ganho direto de rastreabilidade, associando a melhoria à aplicação da ISO 11171:2020. O comportamento decrescente de ferro e cobre sugere uma tendência de estabilização observada é compatível com um processo em fase de controle dentro do ciclo PDCA.

Considerando o volume total analisado, a confiabilidade do processo apresenta crescimento estatisticamente relevante, evidenciado pelo aumento de 5 pontos percentuais no índice de conformidade, demonstrando que o POP contribuiu para decisões mais seguras na manutenção preditiva.

Esses resultados mostram que a adoção do POP não apenas organizou o processo de coleta, mas também gerou efeitos mensuráveis que reforçam a manutenção preditiva. A combinação de treinamento, padronização e monitoramento sistemático elevou a confiabilidade dos diagnósticos, preservou ativos e preveniu falhas que poderiam comprometer a disponibilidade dos equipamentos. A análise numérica apresentada na Tabela 1 confirma esses ganhos, revelando que o POP contribuiu tanto para a eficiência operacional quanto para a sustentabilidade ao reduzir desperdícios e minimizar o descarte de lubrificantes.

Esses resultados convergem com os fundamentos da manutenção preditiva e da gestão da qualidade, especialmente os princípios do ciclo PDCA e da ISO 9001, que ressaltam a importância da padronização, da análise de dados e da melhoria contínua. Estudos como os de Carnero (2005), Malpica (2007) e Cyrino (2015) reforçam que a análise de lubrificantes é ferramenta eficaz para prolongar a vida útil dos equipamentos e ampliar a disponibilidade operacional.

O estudo foi conduzido em um período delimitado de safra e entressafra e aplicado a uma frota específica, o que reduz a generalização dos resultados. Variáveis externas, como qualidade do combustível e condições ambientais, também podem ter influenciado parte das análises. Ainda assim, os dados confirmam que a padronização da coleta por meio do POP representa um avanço significativo, elevando a confiabilidade dos diagnósticos, reduzindo riscos operacionais e aproximando a gestão de ativos das diretrizes tecnológicas da Indústria 4.0.

5 CONCLUSÃO E TRABALHOS FUTUROS

Este trabalho teve como finalidade desenvolver e validar um Procedimento Operacional Padrão (POP) para a coleta de lubrificantes em áreas externas de operação, assegurando a representatividade das amostras e oferecendo suporte confiável à manutenção preditiva. A metodologia, fundamentada em normas internacionais e apoiada por ferramentas da qualidade, possibilitou mapear falhas críticas no processo de coleta, priorizá-las e estruturar um procedimento padronizado capaz de reduzir variabilidades e ampliar a confiabilidade das análises laboratoriais.

Os resultados obtidos, evidenciados na Tabela 4.1, confirmaram a efetividade do POP. Do total de 3.165 ordens de serviço avaliadas, a conformidade aumentou de 77% para 82%, representando 152 registros adicionais. As ocorrências de atenção reduziram de 317 para 200, e as críticas passaram de 400 para 365. Na análise por contaminantes, destacou-se a eliminação completa do silício, que caiu de 152 ocorrências críticas para zero, além da tendência de redução observada para ferro e cobre. Esses dados comprovam que a padronização e o treinamento da equipe elevaram a precisão dos diagnósticos e contribuíram para prevenir falhas que poderiam comprometer a disponibilidade dos equipamentos.

Os benefícios alcançados apresentam relevância em diferentes dimensões. Para a indústria, o POP viabiliza maior disponibilidade de ativos, redução de custos com manutenções corretivas e aprimoramento do planejamento estratégico de paradas. Para a ciência, representa um modelo metodológico validado que integra normas técnicas, ferramentas de gestão da qualidade e aplicação prática em campo, oferecendo base para novas pesquisas e aplicações. Para a sociedade, promove

impactos positivos relacionados ao uso racional de recursos, à diminuição de riscos ambientais e à adoção de práticas produtivas sustentáveis alinhadas aos princípios da Indústria 4.0.

O POP desenvolvido apresenta elevado potencial replicável, podendo ser aplicado em diferentes segmentos industriais devido ao seu formato documentado, modular e baseado em evidências. Também possui forte potencial digitalizável, permitindo integração a sistemas de gestão da manutenção (CMMS), plataformas ERP, soluções IoT e dashboards analíticos, ampliando a rastreabilidade e o controle do processo.

Como recomendação prática, sugere-se a realização de auditorias internas periódicas, a busca por certificações de qualidade (como ISO 9001) e a integração do POP a sistemas digitais corporativos, garantindo monitoramento contínuo e maior governança operacional.

Conclui-se que o POP cumpriu plenamente seu objetivo, demonstrando aplicabilidade, replicabilidade e potencial de digitalização, fortalecendo a manutenção preditiva e consolidando-se como referência para o setor sucroenergético e demais segmentos industriais.

5.1 Projetos Futuros

A continuidade deste trabalho pode ser direcionada para duas frentes principais de pesquisa e aplicação prática. A primeira consiste na expansão do Procedimento Operacional Padrão (POP) para outros setores industriais além do sucroenergético, como mineração, transporte rodoviário e construção civil, que utilizam grandes volumes de lubrificantes e operam em condições severas. Essa ampliação permitirá avaliar a robustez do procedimento em diferentes ambientes produtivos e validar sua adaptabilidade a distintas realidades operacionais.

A segunda frente envolve a integração do POP com recursos digitais alinhados à Indústria 4.0, por meio da instalação de sensores inteligentes para monitoramento contínuo e da criação de painéis interativos de gestão, capazes de fornecer dados em tempo real sobre parâmetros críticos dos lubrificantes. Essa abordagem digital favorece diagnósticos mais precisos e suporte imediato às decisões de manutenção.

6 REFERÊNCIAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5462: Confiabilidade e manutenção – Terminologia**. Rio de Janeiro: ABNT, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10004: **Produto de petróleo e gás - classificação**. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 11348: **Produtos líquidos de petróleo – Determinação de água pelo reagente de Karl Fischer**. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 5462: **Confiabilidade e manutenibilidade**. Rio de Janeiro, 1994.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR ISO 9001:2015 - **Sistemas de gestão da qualidade - Requisitos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2024.

CAMPOS, Vicente Falconi. **TQC: controle da qualidade total (no estilo japonês)**. 9. ed. Belo Horizonte: INDG, 2004.

CARDOSO, Luiz Cláudio. **Logística do petróleo: transporte e armazenamento**. 1. ed. Rio de Janeiro: Editora Interciência, 2004.

CARNERO, M. C. **Selection of diagnostic techniques and instrumentation in a predictive maintenance program: a case study**. Decision Support Systems, [S.l.], v. 38, n. 4, p. 539–555, 2005.
COMPANHIA ATLANTIC DE PETRÓLEO. **Lubrificação e lubrificantes: material para treinamento**. [S.l.], [s.d.]. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0167923603001283>. Acesso em: 12 mar. 2025.

CARVALHO, C. M. **UTILIZAÇÃO DA ANÁLISE DE ÓLEO LUBRIFICANTE COMO PARTE DO PROGRAMA DE MANUTENÇÃO PREDITIVA DE MÁQUINAS DE TRAÇÃO ENGRENADAS**. 2021. 29 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal - RN, 2021. Disponível em: <https://repositorio.ufrn.br/server/api/core/bitstreams/c17a0c0b-141f-4beb-9308-6fc5f65e7a63/content>. Acesso em: 15 abr. 2025.

CAVALCANTE JÚNIOR, F. A. P.; COURAS, J. R. **Manutenção preditiva por análise de óleo em equipamentos pesados: estudo de caso**. Revista de Engenharia da Manutenção, v. 1, n. 1, p. 1-15, 2024. Disponível em: <https://repositorio.ufersa.edu.br/server/api/core/bitstreams/b643349c-466f-4993-9138-7ec426d870d9/content>. Acesso em: 10 abr. 2025.

CORRÊA, Henrique L.; CORRÊA, Carlos A. **Gestão da qualidade: conceitos e técnicas**. 3. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

CYRINO, L. **Ensaio não destrutivo – END**. 27 out. 2016. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/ensaios-nao-destrutivos-end/>. Acesso em: 12 mar. 2025.

CYRINO, L. **Manutenção preditiva: conceito e aplicação**. 28 fev. 2015. Disponível em: <https://www.manutencaoemfoco.com.br/manutencao-preditiva/>. Acesso em: 12 mar. 2025.

FARAH, Marco Antônio. **Petróleo e seus derivados: definição, constituição, especificações, características de qualidade**. Rio de Janeiro: LTC, 2012.

ISO 11171:2020. Calibration of automatic particle counters for liquids.

KARDEC, Alan; NASCIF, Júlio. **Manutenção: função estratégica**. 3. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 2009.

KNAAK, M. P. et al. **Análise de lubrificantes como ferramenta de manutenção preditiva em motores de embarcações**. Revista de Engenharia Naval, v. 14, n. 2, p. 1-15, 2019.

LEONEL, P.H. **Aplicação Prática da Técnica do PDCA e das Ferramentas da Qualidade no Gerenciamento de Processos Industriais para Melhoria e Manutenção de Resultados**, Juiz de Fora: UFJF, 2008. Disponível em: https://www2.ufjf.br/ep/files/2014/07/2008_1_Paulo-Henrique-Leonel.pdf. Acesso em: 08 ago.2025.

MALPICA, L. G. **Manutenção preditiva de motores de combustão interna, à gasolina, através da técnica de análise de lubrificantes**. 2007. 97 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2007. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/entities/publication/b477468b-0b69-4313-9808-c959598dd82f>. Acesso em: 10 ago.2025.

MOBLEY, R. Keith; HIGGINS, Lindley R.; WIKOFF, Darrin J. **Maintenance engineering handbook**. 7. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

MONCHY, François. **A função manutenção: formação para a gerência da manutenção industrial**. 1. ed. São Paulo: Durban, 1987.

OHNO, T. **O sistema Toyota de produção além da produção em larga escala**. Porto Alegre: Bookman, 1997.

OSBORN, Alex F. **Imaginando melhor: guia para o pensamento criativo**. São Paulo: Cultrix, 2006.
PALADINI, E. P. **Gestão da qualidade: teoria e prática**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 2019.

PESTANA, Marcelo Diniz *et al.* **Aplicação Integrada da Matriz Gut e da Matriz da Qualidade em uma Empresa de Consultoria Ambiental. Um Estudo de Caso para Elaboração de Propostas de Melhorias.: artigos brasileiros**. *Gestão de Serviços*, Belo Horizonte, v. 2, p. 1-251, ago. 2016. 1 Edição. Disponível em: [https://www.researchgate.net/profile/Elga-Batista-Da-Silva/publication/322527146_Gestao_de_servicos_-_Volume_2/links/5a5e2782a6fdcc68fa991a41//Ge](https://www.researchgate.net/profile/Elga-Batista-Da-Silva/publication/322527146_Gestao_de_servicos_-_Volume_2/links/5a5e2782a6fdcc68fa991a41//Ge%20stao-de-servicos-Volume-2.pdf#page=7) stao-de-servicos-Volume-2.pdf#page=7. Acesso em: 21 ago. 2025.

OBARA, Rafael Brisolla. **Avaliação do desgaste em cilindros de motores de combustão interna – : mapeamento de mecanismos e quantificação do desgaste**. Mapeamento de mecanismos e quantificação do desgaste. 2018. São Paulo. Disponível em: https://www.researchgate.net/publication/325206002_Avaliacao_do_desgaste_em_cilindros_de_motores_de_combustao_interna_-_Mapeamento_de_mecanismos_e_quantificacao_do_desgaste. Acesso em: 10 ago. 2025.

PITTOL, R. **Manutenção preditiva dentro da Indústria 4.0**. 18 fev. 2020. Disponível em: <https://www.linkedin.com/pulse/manuten%C3%A7%C3%A3o-preditiva-dentro-da-ind%C3%BAstria-40-renato-pittol/>. Acesso em: 18 ago.2025

PONTES, A. **Introdução à manutenção de máquinas e equipamentos**. 28 abr. 2015. Disponível em: <https://pt.slideshare.net/dissonpontes/introduo-a-manuteno-demquinas-e-equipamentos>. Acesso em: 12 mar. 2025.

RAMEZANI; MEMARIANI. **A fuzzy rule based system for fault diagnosis using oil analysis results**. *International Journal of Industrial Engineering & Production Research*, v. 22, n. 2, p. 91–98, jun. 2011. Disponível em: http://ijiepr.iust.ac.ir/browse.php?a_code=A-10-15-1&slc_lang=en&sid=1. Acesso em: 25 abr.2025.

SCHIO, L. J. **Construção de um ferrografo**. 2011. 16 f. TCC (Graduação) – Curso Superior de Tecnologia em Eletromecânica – Modalidade Manutenção Preditiva, Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira /Pr, 2011. Disponível em: <https://repositorio2.utfpr.edu.br/items/0b7afc61-57f4-4396-82e9-5ebb69e06461>. Acesso em: 25 abr. 2025.

SILVA, Reinaldo Dias da. **Ferramentas da qualidade: fundamentos e aplicações**. São Paulo: Atlas, 2011.

SLACK, Nigel; BRANDON-JONES, Alistair; JOHNSTON, Robert. **Operations management**. 8. ed. Harlow: Pearson Education, 2016.

SCHUTZ D. B. **Utilização da Análise de Óleo Lubrificante como Ferramenta da Engenharia de Manutenção**. 2022. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2022. Disponível em: <https://lume.ufrgs.br/handle/10183/258450>. Acesso em: 12 abr.2025.

SUPREME LUBRIFICANTES. **Análise de óleo**. Blumenau, 2016. Disponível em: http://www.supremelub.com.br/downloads/tecnicas/analise_de_oleo.pdf. Acesso em: 27mai.2025.

THWEATT, D.; BELL, T. **Interpreting heavy-duty motor oil analysis reports**. In: *Practicing Oil Analysis*. [S.l.: s.n.], 2006.

VIANA, J. G. **Manutenção: função estratégica**. São Paulo: Atlas, 2008.

WERKEMA, C. **Ferramentas da qualidade: análise e controle estatístico de processos**. 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2021.