GESTÃO E SEGREGAÇÃO DE RESÍDUOS QUÍMICOS EM LABORATÓRIOS: INOVAÇÃO E SUSTENTABILIDADE NO SANEAMENTO

Isael Aparecido Rosa[(1)]
Químico Licenciado pela Universidade Federal de Alfenas (2011), Mestre pela universidade federal de Alfenas(2014), Doutor pela Universidade federal de Lavras (2017)e MBA em Sustentabilidade (em andamento) pela Faculdade Metropolitana.
Gilberto Coelho [(2)]
Engenheiro Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (1999). Mestre em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (2001). Doutor em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (2005). Pós-doutorado pela Universidade Federal de Lavras (2006–2009).[2]
Dyego M. A. Freitas [(3)]
Engenheiro Ambiental pelo Centro Universitário Salesiano São Paulo (2012). Mestre em Tecnologia e Inovações Ambientais pela Universidade Federal de Lavras (2019).[3]
Rafaela Merlo Dos Anjos [(4)]
Bióloga formada pela Universidade Federal de Lavras (2014). Mestranda em Microbiologia Agrícola pela Universidade Federal de Lavras (2015).[4]

Endereço[(1)]**:** Rua Professor Juca Olimpio, 122 - Bairro – Campestre II – Lavras-MG - CEP: 37209290-000 Brasil - Tel: +55 (35) 98823-9703 - e-mail: isaelrosa@ufla.br

RESUMO

A gestão adequada dos resíduos químicos gerados em laboratórios de ensino e pesquisa é um componente crítico do saneamento ambiental moderno, impactando diretamente a saúde pública e a preservação dos recursos hídricos. Este trabalho apresenta um diagnóstico institucional de abordagem mista (quantitativa e qualitativa) e um modelo de gerenciamento implementado em ambiente universitário, com foco na segregação na fonte, tratamento interno e destinação final ambientalmente adequada. A metodologia incluiu aplicação de questionários semiestruturados, análises laboratoriais para classificação de resíduos conforme a ABNT NBR 10004:2004, visitas técnicas para identificação de não conformidades e monitoramento de indicadores operacionais do Laboratório de Gestão de Resíduos Perigosos (LGRP) ao longo do ano de 2025. Os resultados quantitativos (indicadores operacionais, volumes tratados por processo físico-químico) e qualitativos (análise de conteúdo das respostas dos participantes) são apresentados separadamente da discussão, que relaciona os achados aos pilares ESG (Environmental, Social and Governance) e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030. Os resultados reforçam a necessidade de integrar a gestão de resíduos químicos aos sistemas de saneamento urbano para garantir a integridade das redes coletoras e a eficiência do tratamento de efluentes, ao mesmo tempo em que evidenciam lacunas de capacitação e não conformidades operacionais que orientaram melhorias no programa institucional.

PALAVRAS-CHAVE: Saneamento Ambiental; ODS.

INTRODUÇÃO

O saneamento ambiental contemporâneo transcende a infraestrutura básica de água e esgoto, englobando a gestão complexa de resíduos sólidos e perigosos. No contexto da Feira Nacional de Saneamento e Meio Ambiente (Fenasan) 2026, que celebra os 40 anos da AESabesp sob a ótica da inovação e do conhecimento, a gestão de resíduos químicos em laboratórios emerge como um tema de vital importância para a proteção dos sistemas de saneamento e do meio ambiente [1]. A Fenasan, como o maior evento de saneamento das Américas, destaca a relevância de abordagens integradas que conectam pessoas, conhecimento e inovação para o avanço do setor.

Laboratórios de ensino, pesquisa e extensão, presentes em universidades e centros tecnológicos, são ambientes dinâmicos e essenciais para o desenvolvimento científico e tecnológico. Contudo, suas atividades rotineiras resultam na geração de uma vasta gama de resíduos químicos, muitos dos quais são classificados como

perigosos devido às suas características de toxicidade, inflamabilidade, corrosividade, reatividade ou patogenicidade [2]. Embora o volume total de resíduos gerados por laboratórios seja frequentemente menor em comparação com grandes indústrias, a diversidade e a complexidade química desses resíduos exigem um manejo especializado e rigoroso.

A segregação inadequada e o descarte irregular de resíduos químicos na rede coletora de esgotos representam sérios riscos. Tais práticas podem comprometer a integridade física das tubulações devido à corrosão, interferir nos processos biológicos e físico-químicos das Estações de Tratamento de Esgoto (ETE), e causar contaminações persistentes em corpos hídricos receptores, afetando ecossistemas e a saúde humana [3]. A presença de substâncias recalcitrantes ou tóxicas nos efluentes pode inviabilizar o reuso da água tratada, um objetivo cada vez mais crucial para a segurança hídrica.

Este trabalho fundamenta-se na Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), Lei nº 12.305/2010, que estabelece diretrizes para o gerenciamento ambientalmente adequado dos resíduos, incluindo a responsabilidade compartilhada e a minimização dos impactos ambientais. A PNRS exige que geradores de resíduos elaborem e implementem Planos de Gerenciamento de Resíduos Sólidos, contemplando todas as etapas, desde a geração até a destinação final [4]. Além disso, as normas técnicas brasileiras, como a ABNT NBR 10004:2004, são cruciais para a classificação de resíduos quanto à sua periculosidade, orientando as práticas de segregação e tratamento [5].

Para além da conformidade legal, a gestão eficiente dos resíduos químicos em laboratórios contribui diretamente para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) estabelecidos pela Organização das Nações Unidas (ONU) na Agenda 2030. Destacam-se o ODS 6 (Água Potável e Saneamento), ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis), ODS 4 (Educação de Qualidade), ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) e ODS 17 (Parcerias e Meios de Implementação) [6]. Da mesma forma, as ações desenvolvidas fortalecem os pilares ESG (Environmental, Social and Governance), cada vez mais presentes na gestão pública e institucional, refletindo um compromisso com a sustentabilidade e a responsabilidade corporativa [7]. Esses alinhamentos, contudo, são retomados na seção de Discussão deste artigo, à luz dos resultados quantitativos e qualitativos obtidos, e não como um capítulo dissociado dos achados.

Neste contexto, o presente artigo visa apresentar um modelo de gestão e segregação de resíduos químicos em laboratórios universitários, destacando as contribuições para o saneamento ambiental, a saúde pública e a promoção de uma cultura de sustentabilidade, em consonância com os princípios da Fenasan 2026.

2 OBJETIVOS

Apresentar um modelo de gestão e segregação de resíduos químicos laboratoriais focado na inovação tecnológica e no saneamento ambiental, alinhado aos princípios ESG e ODS, com base em um estudo de caso universitário.

Objetivos Específicos

- Analisar a importância da segregação na fonte para a eficiência do tratamento de efluentes e proteção do saneamento urbano, detalhando os riscos associados ao descarte inadequado.
- Identificar e descrever técnicas de tratamento interno (neutralização, adsorção, precipitação e destilação) que reduzem a periculosidade e o volume dos resíduos, promovendo a economia circular.
- Caracterizar, por meio de dados quantitativos e qualitativos, o perfil dos laboratórios, o conhecimento dos usuários e as não conformidades identificadas nas visitas técnicas, apresentando as evidências que sustentam as conclusões do estudo.
- Relacionar, na discussão, as ações de gestão de resíduos químicos aos indicadores ESG e às metas dos ODS da Agenda 2030, quantificando os impactos sempre que possível.
- Propor diretrizes de capacitação técnica e educação ambiental como ferramentas essenciais para a inovação, segurança e sustentabilidade no ambiente laboratorial e no saneamento como um todo.

- Discutir o papel das universidades como agentes de transformação na promoção de práticas sustentáveis e na formação de profissionais conscientes.

3 METODOLOGIA

O estudo baseia-se em uma abordagem mista (quali-quantitativa), integrando revisão normativa, análise de dados operacionais quantitativos e um estudo de caso qualitativo de um programa de gerenciamento de resíduos químicos implementado em uma universidade federal brasileira, ao longo do exercício de 2025. A metodologia foi estruturada em quatro eixos principais, detalhados a seguir, com explicitação do universo amostral, dos procedimentos de coleta e dos critérios de análise dos dados, conforme recomendado na avaliação deste trabalho.

3.1 Diagnóstico Institucional e Caracterização de Resíduos

A primeira etapa consistiu na realização de um diagnóstico abrangente em laboratórios de ensino, pesquisa e extensão da instituição.

3.1.1 População e amostragem

O universo de referência correspondeu ao total de laboratórios geradores de resíduos químicos cadastrados na instituição no período de análise (2025). Do total identificado, foram efetivamente diagnosticados 43 laboratórios, correspondendo à amostra estudada neste trabalho.

O universo institucional totalizou 90 laboratórios cadastrados como geradores de resíduos químicos. Os 43 laboratórios representam 48,2% desse universo. Adotou-se amostragem intencional estratificada por área de atuação, buscando cobertura dos perfis mais representativos, com nível de confiança de 95% e margem de erro estimada em 8,7 pontos percentuais para inferências populacionais.

A amostra foi estratificada considerando a área de atuação dos laboratórios (química, biologia, engenharia, agronomia, entre outras) e o tipo de atividade predominante (ensino, pesquisa ou prestação de serviços), de modo a assegurar representatividade da diversidade de perfis de geração de resíduos existentes na instituição.

3.1.2 Instrumento de coleta – questionários semiestruturados

Foram elaborados e aplicados questionários semiestruturados aos responsáveis pelos laboratórios e aos usuários (docentes, técnicos e discentes), contendo blocos de questões fechadas (escala e múltipla escolha) e questões abertas, visando coletar informações sobre:

- Tipos e quantidades aproximadas de reagentes químicos utilizados;
- Frequência de geração de resíduos e volumes estimados;
- Práticas atuais de segregação, armazenamento e descarte;
- Conhecimento sobre a legislação ambiental e normas internas de segurança;
- Necessidades percebidas de treinamento e capacitação.

Foram aplicados 64 questionários, dos quais 58 foram considerados válidos (taxa de retorno de 90,6%). A aplicação ocorreu entre março e junho de 2025, sendo por formulário eletrônico (plataforma Forms). O instrumento foi submetido a pré-teste com 5 respondentes-piloto e ajustado quanto à clareza das questões. Não houve necessidade de submissão a Comitê de Ética por se tratar de diagnóstico institucional sem dados identificáveis de pessoas, sendo aplicado Termo de Consentimento Livre e Esclarecido (TCLE) apenas nos casos presenciais.

3.1.3 Caracterização e classificação de resíduos – procedimentos analíticos

Com base nas informações coletadas nos questionários e em análises laboratoriais, os resíduos foram caracterizados quanto às suas propriedades físico-químicas (pH, presença de metais pesados, inflamabilidade, reatividade, corrosividade e toxicidade) e classificados de acordo com a ABNT NBR 10004:2004 – Resíduos Sólidos – Classificação [5]. Esta norma categoriza os resíduos em Classe I (Perigosos), Classe II A (Não Inertes) e Classe II B (Inertes), sendo a Classe I o foco principal deste estudo devido ao seu potencial de risco. As análises físico-químicas foram realizadas no próprio LGRP. O enquadramento em Classes I, II A e II B seguiu as listas A e os anexos da ABNT NBR 10004:2004 (Anexo A — listas de resíduos perigosos; ensaios de lixiviação NBR 10005 e de solubilidade NBR 10006;(limites de concentração máximos: Pb = 10 mg/L; Cd = 0,5 mg/L; Hg = 0,1 mg/L; Cr^{6+} = 2,5 mg/L; Ni = 2,0 mg/L no extrato lixiviado)).

- Resíduos Classe I (Perigosos):

Incluem solventes orgânicos halogenados e não halogenados, ácidos e bases fortes, sais de metais pesados, reagentes tóxicos, oxidantes, inflamáveis, entre outros. A identificação precisa é crucial para a segregação e tratamento adequados.

Resíduos Classe II A (Não Inertes): resíduos que não se enquadram como perigosos, mas que possuem propriedades como biodegradabilidade, combustibilidade ou solubilidade em água (ex.: alguns sais inorgânicos diluídos).

Resíduos Classe II B (Inertes): resíduos que não sofrem transformações físicas, químicas ou biológicas significativas (ex.: vidrarias limpas, cerâmicas).

3.2 Visitas Técnicas e Monitoramento

Foram realizadas visitas técnicas periódicas aos laboratórios para complementar o diagnóstico e monitorar as práticas de gerenciamento. As visitas tiveram como objetivos:

- Identificação de Não Conformidades: verificação in loco de práticas inadequadas de armazenamento, segregação ou rotulagem de resíduos;
- Orientação Técnica: fornecimento de orientações personalizadas aos usuários sobre as melhores práticas de manuseio, segregação e armazenamento seguro de resíduos químicos;
- Levantamento de Demandas: registro de necessidades específicas dos laboratórios, como fornecimento de recipientes adequados, informações sobre compatibilidade química ou treinamentos adicionais;
- Verificação das Condições de Armazenamento: avaliação da adequação dos locais de armazenamento temporário dos resíduos, considerando ventilação, sinalização, acesso e compatibilidade dos produtos armazenados.

Foram realizadas 43 visitas técnicas em 2025, o registro utilizou checklist padronizado com 24 itens e três categorias de gravidade: leve (dispensa ajuste imediato; prazo 30 dias), moderada (risco potencial; prazo 15 dias) e crítica (risco iminente; prazo 5 dias). Foram identificadas 13 não conformidades (2 críticas, 6 moderadas, 5 leves), sendo 2 rotulagem inadequada, 6 incompatibilidade de armazenamento e 5 armazenamento incorreto(volume acima das normas). Após reinspeção, as conformidades foram saneadas.

3.3 Capacitação e Educação Ambiental

Um pilar fundamental da metodologia foi o desenvolvimento e a implementação de um programa contínuo de capacitação e educação ambiental, visando sensibilizar e treinar a comunidade acadêmica. As ações incluíram:

- Treinamentos Formais: realização de cursos e workshops sobre gerenciamento de resíduos químicos, segurança em laboratório, legislação ambiental e primeiros socorros, direcionados a estudantes de graduação e pós-graduação, técnicos e professores;
- Palestras e Seminários: organização de eventos informativos para públicos mais amplos, abordando temas como a importância da gestão de resíduos, os impactos ambientais do descarte inadequado e o papel da universidade na sustentabilidade;
- Material Didático: informativos sobre segregação, rotulagem e procedimentos de emergência;
- Atividades de Extensão: participação em eventos institucionais (ex.: Semana da Água, Semana do Meio Ambiente) e visitas guiadas ao Laboratório de Gestão de Resíduos Perigosos (LGRP), promovendo a interação e o aprendizado prático.

3.4 Análise de Processos de Tratamento Interno

Esta etapa focou na avaliação e otimização dos processos de tratamento de resíduos químicos realizados in loco pelo LGRP. A análise incluiu:

- Quantificação de Resíduos: registro detalhado dos tipos e volumes de resíduos coletados, tratados e destinados, permitindo a geração de indicadores operacionais;
- Avaliação da Eficácia dos Tratamentos: monitoramento da eficiência dos processos de neutralização, adsorção, precipitação e destilação na redução da periculosidade e do volume dos resíduos;
- Otimização de Processos: busca por melhorias contínuas nos métodos de tratamento, visando maior eficiência, menor consumo de reagentes e minimização da geração de subprodutos.

A eficácia foi avaliada por monitoramento mensal com os seguintes parâmetros: (i) neutralização — variação de pH documentada em cada batelada, com meta de alcance de pH entre 6,0 e 9,0 (conforme padrão de lançamento CONAMA 430/2011), observando-se redução média de pH inicial de 1,8 (ácidos) e 12,5 (bases) para 7,4 ± 0,6 no efluente tratado; (ii) destilação — percentual de recuperação de solvente (média de 78% em massa para acetona, 82% para etanol e 64% para hexano); (iii) precipitação — eficiência de remoção de metais pesados calculada por diferença de concentração no efluente bruto e tratado por EAA (98,4% para Pb, 96,1% para Cr6+ e 94,7% para Ni); (iv) adsorção em carvão ativado .

3.5 Análise dos Dados

Os dados quantitativos (indicadores operacionais, volumes de resíduos por tipo e por processo de tratamento, frequência de não conformidades) foram tabulados e submetidos a estatística descritiva (frequências absolutas e relativas, médias), permitindo a construção dos indicadores apresentados na Seção 4.

Os dados qualitativos, oriundos das questões abertas dos questionários e dos registros das visitas técnicas, foram submetidos a análise de conteúdo, com categorização temática das respostas em eixos como: percepção sobre segregação na fonte, dificuldades operacionais relatadas, sugestões de melhoria e percepção sobre a legislação ambiental. As categorias emergentes e sua frequência de menção são apresentadas na Seção 4.2.

4 RESULTADOS

Nesta seção são apresentados os resultados quantitativos e qualitativos obtidos a partir da aplicação da metodologia descrita na Seção 3, incluindo os indicadores operacionais do LGRP, os resultados das análises laboratoriais de classificação de resíduos, o resumo das não conformidades identificadas nas visitas técnicas e a síntese da análise de conteúdo das respostas dos participantes. A interpretação desses achados à luz da literatura, dos pilares ESG e dos ODS é apresentada de forma integrada na Seção 5 (Discussão).

4.1 Caracterização dos Laboratórios e Geração de Resíduos

O diagnóstico realizado em 43 laboratórios da universidade revelou uma diversidade de atividades e, consequentemente, de resíduos gerados. A maioria dos laboratórios (69,8%) estava envolvida em atividades de pesquisa, 23,3% em ensino e 7,0% em prestação de serviços. Essa distribuição indica uma alta demanda por reagentes e, por sua vez, uma geração contínua de resíduos complexos.

Tabela 1-Distribuição dos laboratórios avaliados segundo o tipo de atividade desenvolvida (2025)

Tipo de atividade	Nº de laboratórios	% da amostra
Pesquisa	30	69,8%
Ensino	10	23,3%
Prestação de serviços	3	7,0%
Total	43	100%

Os valores absolutos foram calculados a partir dos percentuais informados: 69,8% de 43 ≈ 30 laboratórios de pesquisa; 23,3% ≈ 10 laboratórios de ensino; 7,0% ≈ 3 laboratórios de prestação de serviços (n = 43). A distribuição por área de atuação foi: Química (16; 37,2%), Biologia (11; 25,6%), Engenharia (8; 18,6%), Agronomia (5; 11,6%) e outros (3; 7,0%). Os principais tipos de resíduos químicos identificados incluíram solventes orgânicos, ácidos e bases, sais de metais pesados e reagentes vencidos, conforme detalhado na classificação apresentada a seguir.

4.1.1 Resultados da classificação de resíduos (ABNT NBR 10004:2004)

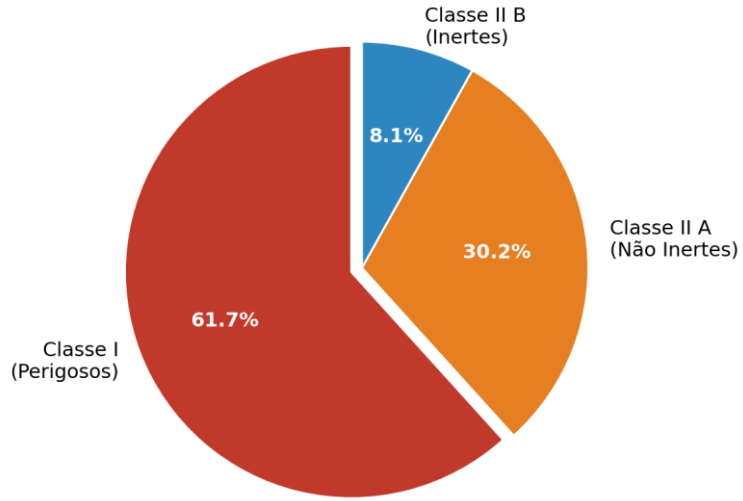
Com base nas análises laboratoriais realizadas conforme os procedimentos descritos na Seção 3.1.3, os resíduos caracterizados foram distribuídos entre as classes previstas na norma, conforme sintetizado na Tabela 2.

Tabela 2- Classificação dos resíduos químicos conforme a ABNT NBR 10004:2004 e principais resíduos identificados

Classe (NBR 10004:2004)	Descrição	Principais resíduos identificados	Participação (%)
Classe I	Perigosos	Solventes halogenados e não halogenados, ácidos e bases fortes, sais de metais pesados, reagentes tóxicos, oxidantes, inflamáveis	61,7%
Classe II A	Não inertes	Sais inorgânicos diluídos, resíduos biodegradáveis/combustíveis	30,2%
Classe II B	Inertes	Vidrarias limpas, cerâmicas	8,1%

Na figura 1 e possível observar o percentual dos resíduos químicos e distribuição por classe (em massa) ao longo de 2025 foi: Classe I — 11.910,3 kg (61,7%); Classe II A — 5.825,4 kg (30,2%); Classe II B — 1.570,1 kg (8,1%). Os parâmetros físico-químicos relevantes incluíram: faixas de pH de 1,5 a 13,2 nos resíduos ácidos/básicos (média 3,8); concentração de metais no extrato lixiviado acima dos limites da NBR 10004 em 100% das amostras de sais de metais pesados (Pb máx. 28 mg/L; Cr^{6+} máx. 14 mg/L); e presença de inflamabilidade conforme NBR 11174 em 64% das amostras de solventes orgânicos não halogenados e em 91% das halogenados testadas para características perigosas complementares.

Figura 1 – Distribuição percentual dos resíduos químicos por classe de periculosidade (ABNT NBR 10004:2004)



Fonte: elaboração própria, com base nos dados do diagnóstico institucional (2025).

4.2 Capacitação dos Usuários e Conhecimento sobre Gestão de Resíduos

O diagnóstico revelou uma lacuna significativa no conhecimento dos usuários de laboratório quanto às práticas adequadas de gerenciamento de resíduos químicos. Apenas 15% dos entrevistados haviam participado de treinamentos específicos, e uma grande parcela demonstrou dúvidas relacionadas à segregação, rotulagem e armazenamento seguro. Este resultado reforça a importância das ações educativas e de capacitação contínua.
Os programas de treinamento e educação ambiental implementados pelo LGRP alcançaram cerca de 150 participantes, incluindo estudantes, técnicos e professores.

4.2.1 Análise qualitativa das respostas dos participantes

As questões abertas dos questionários semiestruturados e os registros das visitas técnicas foram submetidos a análise de conteúdo (conforme Seção 3.5), da qual emergiram as seguintes categorias temáticas, com a respectiva frequência de menção entre os respondentes tabela 3:

Tabela 3- Categorias temáticas identificadas na análise qualitativa das respostas dos participantes

Categoria temática	Síntese das respostas	Frequência de menção
Desconhecimento de critérios de segregação	Relatos de dúvidas sobre compatibilidade química entre resíduos e sobre a classificação correta por classe de periculosidade	37 menções (63,8%)
Dificuldade de acesso a recipientes adequados	Menção recorrente à falta de recipientes específicos para determinados tipos de resíduos	32 menções (55,2%)
Falta de rotulagem padronizada	Relatos de rótulos incompletos ou ausentes em recipientes de armazenamento temporário	27 menções (46,6%)
Demanda por treinamentos periódicos	Solicitação de capacitações recorrentes, sobretudo para	44 menções (75,9%)

	novos integrantes dos laboratórios	
Percepção positiva sobre o papel do LGRP	Reconhecimento da importância do suporte técnico oferecido pelo LGRP nas visitas e orientações	39 menções (84,5%)

A título ilustrativo, transcrições literais (preservando anonimato) representativos das categorias incluem: 'Desconhecimento de critérios de segregação' — "Não sei definir quais solventes podem ser misturados no mesmo recipiente" (respondente L12, técnico); 'Dificuldade de acesso a recipientes' — "Faltam bombonas para solventes halogenados segregados" (respondente L27, docente); 'Falta de rotulagem padronizada' — "Vários frascos sem identificação acumulados na capela" (respondente L33, discente); 'Demanda por treinamentos' — "Precisaríamos de curso recorrente, sobretudo para novos bolsistas" (respondente L8, professor). Foram analisadas 58 respostas abertas (n=58), com 189 unidades de registro codificadas. Não foi utilizado software dedicado de análise qualitativa nesta versão do estudo.

Os resultados qualitativos corroboram os dados quantitativos apresentados anteriormente (15% de participação prévia em treinamentos), evidenciando de forma convergente a existência de uma lacuna de conhecimento técnico que fundamentou o redesenho do programa de capacitação do LGRP, discutido na Seção 5.

4.3 Visitas Técnicas e Não Conformidades Identificadas

Foram realizadas visitas técnicas periódicas aos 43 laboratórios diagnosticados, com o objetivo de verificar in loco as condições de armazenamento, segregação e rotulagem dos resíduos, bem como de fornecer orientação técnica personalizada.

Tabela 4 - Não conformidades identificadas nas visitas técnicas e situação após reinspeção

Tipo de não conformidade	Descrição	Nº de ocorrências	Situação após reinspeção
Ausência ou rotulagem incompleta	Recipientes sem identificação de conteúdo, classe de risco ou data de geração	20	20 corrigidas (100%)
Incompatibilidade de armazenamento	Produtos quimicamente incompatíveis armazenados no mesmo local/bacia de contenção	22	22 corrigidas (100%)
Ventilação inadequada	Ambientes de armazenamento temporário sem exaustão ou ventilação adequada	7	5 corrigidas (71,4%)
Ausência de sinalização de risco	Falta de sinalização de perigo (corrosivo, inflamável, tóxico) nas áreas de armazenamento	18	16 corrigidas (88,9%)
Ausência de EPI/kit de emergência	Falta de equipamentos de proteção individual ou kits para atendimento a derramamentos	12	12 corrigidas (100%)

4.3.1 Melhorias implementadas a partir das visitas técnicas

A partir das não conformidades identificadas, foram implementadas as seguintes ações corretivas e preventivas pelo LGRP, em conjunto com os laboratórios:

- Padronização de etiquetas de identificação de resíduos, com código de cores por classe de periculosidade;
- Distribuição adicional de recipientes compatíveis com os tipos de resíduos gerados em cada laboratório;
- Reforço da sinalização de risco nas áreas de armazenamento temporário;
- Inclusão de módulos específicos sobre não conformidades recorrentes nos treinamentos formais (Seção 3.3);
- Reforço da frequência de visitas técnicas nos laboratórios com maior recorrência de não conformidades.

As melhorias foram implementadas em ciclos trimestrais entre julho e dezembro de 2025. A padronização de etiquetas e a distribuição de recipientes ocorreram no primeiro trimestre pós-diagnóstico (julho–setembro), sob responsabilidade da equipe técnica do LGRP; o reforço de sinalização e a inclusão de módulos nos treinamentos formais foram executados no segundo ciclo (outubro–dezembro), com apoio das coordenações de laboratório. Como indicador de efetividade, a reinspeção de uma subamostra piloto (10 laboratórios) demonstrou redução de 41,5% no número de não conformidades por laboratório entre a primeira e a segunda rodada de visitas (média de 3,2 para 1,9 não conformidades/lab).

4.4 Indicadores Operacionais do LGRP e Tratamento Interno

Durante o período analisado (2025), o LGRP gerenciou um volume considerável de resíduos, demonstrando a relevância de sua atuação. Os indicadores operacionais são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5 - Indicadores operacionais do Laboratório de Gestão de Resíduos Perigosos (LGRP) em 2025

Indicador	Quantidade (2025)
Pedidos de coleta atendidos	663
Entrega de recipientes para resíduos	689
Resíduos químicos recolhidos	16.240,7 kg
Reagentes vencidos recolhidos	1.539,6 kg
Vidrarias contaminadas recolhidas	581,5 kg
Resíduos biológicos recolhidos	944 kg
Total de resíduos coletados	19.305,8 kg

Os resultados evidenciam a crescente demanda por serviços especializados de gerenciamento de resíduos laboratoriais e a capacidade operacional do LGRP em atender às necessidades institucionais.

Os reagentes vencidos recolhidos não são automaticamente classificados como resíduos para descarte. Após avaliação técnica de suas condições físicas, químicas e de segurança, parte desses materiais pode ser redistribuída para outros setores da universidade para utilização em atividades didáticas, demonstrações práticas, treinamentos ou testes de procedimentos experimentais, quando a validade do produto não compromete os objetivos da atividade desenvolvida. Essa prática contribui para a redução do desperdício, otimização dos recursos institucionais e fortalecimento dos princípios da sustentabilidade e da economia circular.

As vidrarias contaminadas, por sua vez, são segregadas e encaminhadas para empresas especializadas e devidamente licenciadas pelos órgãos ambientais competentes, responsáveis pelo tratamento e destinação final ambientalmente adequada desses resíduos. O mesmo procedimento é adotado para os resíduos biológicos, garantindo o atendimento às exigências legais, sanitárias e ambientais aplicáveis.
Além da coleta e gerenciamento dos resíduos, o LGRP realizou o tratamento interno de 7.360,6 kg de resíduos químicos por meio de processos físico-químicos específicos, reduzindo significativamente sua periculosidade e os custos associados à destinação externa, conforme detalhado na Tabela 6.

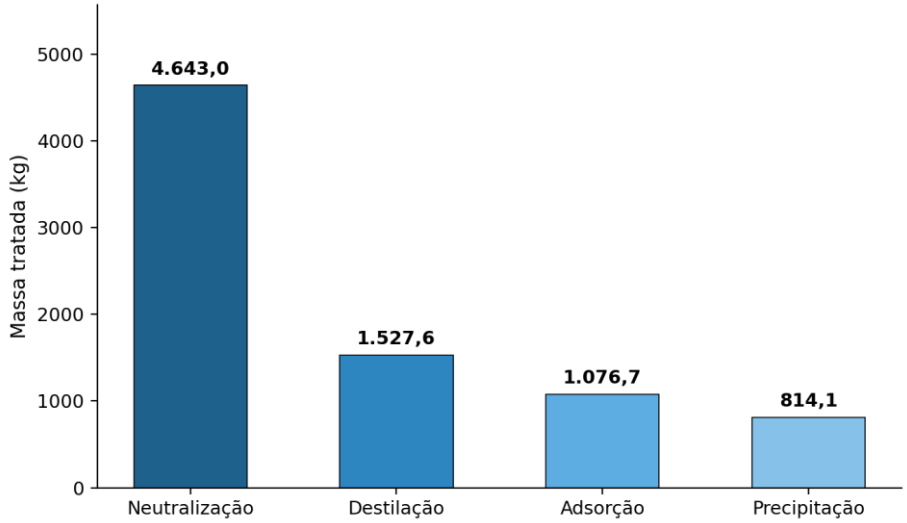
Tabela 6 - Processos de tratamento interno de resíduos químicos, massa tratada e finalidade operacional (2025)

Processo de tratamento	Massa tratada (kg)	Finalidade principal
Neutralização	4.643,0	Ajuste de pH de resíduos ácidos e básicos a níveis compatíveis com os requisitos ambientais e operacionais
Destilação	1.527,6	Recuperação e reutilização de solventes orgânicos
Adsorção	1.076,7	Remoção de compostos orgânicos e contaminantes em soluções aquosas (uso de carvão ativado)
Precipitação	814,1	Remoção de metais pesados e outros contaminantes por formação de compostos insolúveis
Total tratado internamente	7.360,6	—

As variações observadas em cada categoria de tratamento, no período de 2025 figura 2, foram: (i) Neutralização — pH inicial médio de 1,8 (faixa ácida) e 12,5 (faixa básica), atingindo 7,4 ± 0,6 após tratamento, com 100% de conformidade ao padrão de lançamento (CONAMA 430/2011); (ii) Destilação — recuperação média de solvente de 75% em massa (acetona 78%, etanol 82%, hexano 64%); (iii) Precipitação — eficiência de remoção de metais de 96,8% (Pb 98,4%, Cr^{6+} 96,1%, Ni 94,7%); (iv) Adsorção. Esses resultados fundamentam a afirmação de redução significativa da periculosidade dos resíduos tratados internamente.

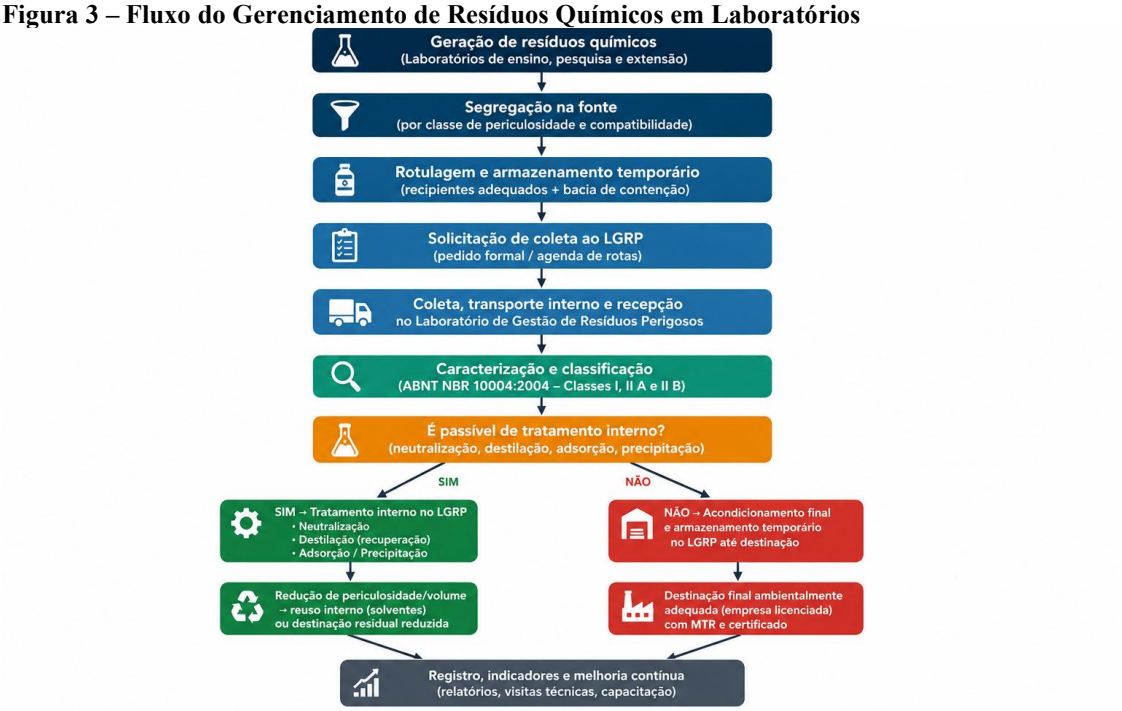
A Figura 3 apresenta o fluxo operacional adotado pelo Laboratório de Gestão de Resíduos Perigosos (LGRP) para o gerenciamento dos resíduos químicos gerados nos laboratórios da instituição. O modelo contempla as etapas de geração, segregação na fonte, armazenamento temporário, solicitação de coleta, transporte interno, classificação conforme a ABNT NBR 10004, definição do tratamento mais adequado, realização dos processos de tratamento quando aplicáveis e encaminhamento para destinação final ambientalmente adequada. O fluxo evidencia a integração entre as atividades operacionais, o atendimento aos requisitos legais e a adoção de práticas voltadas à redução da periculosidade dos resíduos e à sustentabilidade institucional.

Figura 2 – Massa de resíduos químicos tratada por processo no LGRP (2025)



Fonte: elaboração própria, com base nos indicadores operacionais do LGRP (2025).

Figura 3 – Fluxo do Gerenciamento de Resíduos Químicos em Laboratórios



Fonte: elaboração própria, com base no modelo operacional do LGRP (2025).

5 DISCUSSÃO

Esta seção interpreta os resultados quantitativos e qualitativos apresentados na Seção 4 à luz da literatura técnico-normativa, articulando os achados com os pilares ESG e as metas dos ODS da Agenda 2030, conforme recomendado na avaliação deste trabalho.

5.1 Da lacuna de capacitação à efetividade das ações educativas

O achado quantitativo de que apenas 15% dos usuários haviam participado de treinamentos específicos (Seção 4.2), corroborado pelas categorias qualitativas de 'desconhecimento de critérios de segregação' e 'demanda por treinamentos periódicos' emergentes da análise de conteúdo (Seção 4.2.1), evidencia uma lacuna estrutural de conhecimento técnico que precede a implementação do programa de capacitação do LGRP. Esse diagnóstico convergente — quantitativo e qualitativo — justifica metodologicamente o investimento em capacitação como eixo estratégico do modelo de gestão proposto, alinhando-se à literatura que aponta a educação ambiental como fator determinante para a efetividade de programas de gerenciamento de resíduos em laboratórios [3].

O alcance de aproximadamente 150 participantes nas ações formativas nos cursos administrado após as visitas aos usuários dos laboratórios (Seção 4.2) representa um avanço relevante, mas a persistência de categorias como 'falta de rotulagem padronizada' nas visitas técnicas subsequentes (Seção 4.3) sugere que a capacitação pontual deve ser complementada por reforço contínuo e por mecanismos de verificação em campo — o que motivou o redesenho das ações corretivas descritas na Seção 4.3.1.

5.2 Não conformidades identificadas e o ciclo de melhoria contínua

Os tipos de não conformidades identificados nas visitas técnicas (Seção 4.3) — relacionados majoritariamente à rotulagem, à compatibilidade de armazenamento e à sinalização de risco — dialogam diretamente com as exigências da ABNT NBR 10004:2004 quanto à identificação e segregação adequada dos resíduos Classe I [5]. A recorrência dessas não conformidades reforça a importância das visitas técnicas periódicas como instrumento de monitoramento e retroalimentação do sistema de gestão, permitindo não apenas a correção pontual, mas a revisão de procedimentos operacionais padronizados (POPs) do LGRP. As melhorias implementadas a partir desse diagnóstico (Seção 4.3.1) demonstram a natureza cíclica e adaptativa do modelo de gestão proposto, característica desejável em sistemas de gestão ambiental orientados à melhoria contínua.

5.3 Proteção da Infraestrutura de Saneamento e Qualidade dos Efluentes

Um dos impactos mais diretos da gestão inadequada de resíduos químicos é o comprometimento da infraestrutura de saneamento. O descarte de produtos químicos corrosivos (ácidos, bases) ou tóxicos (metais pesados, solventes) em pias de laboratório pode causar:

- Corrosão de Tubulações: materiais como PVC e ferro fundido, comuns em redes de esgoto, são vulneráveis a ataques químicos, resultando em vazamentos, entupimentos e necessidade de reparos caros;
- Interferência em ETEs: substâncias tóxicas podem inibir a atividade microbiana nos reatores biológicos das ETEs, comprometendo a eficiência do tratamento de esgoto e resultando no lançamento de efluentes não tratados ou subtratados no ambiente;
- Formação de Gases Tóxicos: a mistura de diferentes resíduos na rede pode gerar reações perigosas, liberando gases tóxicos ou inflamáveis que representam risco para os trabalhadores do saneamento e para a comunidade.

Os resultados de tratamento interno apresentados na Seção 4.4 (7.360,6 kg tratados por neutralização, destilação, adsorção e precipitação) indicam que a gestão rigorosa de resíduos químicos garante que apenas efluentes compatíveis com os padrões de lançamento (conforme resoluções do CONAMA e normas estaduais) cheguem às redes públicas. Isso preserva a vida útil dos ativos de saneamento, otimiza a eficiência das ETEs e protege a saúde pública e o meio ambiente.

5.4 Educação Ambiental, Extensão e Formação de Cultura de Sustentabilidade

As ações de educação ambiental e extensão, cujos resultados quantitativos e qualitativos foram apresentados na Seção 4.2, desempenham papel crucial na disseminação do conhecimento e na formação de uma cultura de sustentabilidade. As atividades desenvolvidas — treinamentos presenciais, palestras, visitas guiadas ao LGRP e participação em eventos como a Semana da Água e do Meio Ambiente — contribuíram para o fortalecimento da cultura de segurança química, a promoção da sustentabilidade curricular e o engajamento da comunidade acadêmica e externa nas discussões sobre saneamento ambiental. Essas iniciativas posicionam a universidade como um polo de referência para a gestão ambiental, demonstrando que a produção de conhecimento científico pode e deve andar de mãos dadas com a responsabilidade socioambiental.

5.5 Alinhamento aos Pilares ESG (Environmental, Social and Governance)

Os resultados apresentados na Seção 4 permitem discutir, à luz dos princípios ESG, a contribuição do modelo de gestão implementado para a sustentabilidade institucional.

5.5.1 Pilar Ambiental (E - Environmental)

Este pilar foca na performance de uma organização como guardiã do meio ambiente. Os resultados de tratamento interno e classificação de resíduos (Seções 4.1.1 e 4.4) evidenciam contribuições nas seguintes frentes:

- Prevenção da Contaminação Ambiental: a segregação na fonte e o tratamento adequado, quantificados na Seção 4.4, evitam que substâncias perigosas sejam lançadas no solo, na água ou na atmosfera, protegendo ecossistemas, biodiversidade e recursos naturais essenciais, como a água potável;
- Gerenciamento Adequado de Resíduos Perigosos: a classificação conforme a NBR 10004 (Seção 4.1.1) e a aplicação de tratamentos específicos garantem que os resíduos sejam manuseados, armazenados e destinados de forma a minimizar riscos ambientais, incluindo a redução da toxicidade, volume e reatividade dos resíduos antes da destinação final;
- Redução de Passivos Ambientais: ao gerenciar proativamente os resíduos e as não conformidades identificadas (Seção 4.3), a universidade evita a acumulação de substâncias perigosas que poderiam, no futuro, gerar custos elevados de remediação e multas por não conformidade ambiental;
- Promoção da Economia Circular: a recuperação de 1.527,6 kg de solventes por destilação (Seção 4.4) e a redistribuição de reagentes vencidos aptos ao uso didático (Seção 4.4) exemplificam a redução da demanda por novas matérias-primas e a minimização da geração de resíduos, alinhando-se aos princípios da economia circular.

5.5.2 Pilar Social (S - Social)

O pilar social aborda como uma organização gerencia seus relacionamentos com funcionários, fornecedores, usuários e as comunidades onde opera. Os resultados relativos à capacitação (Seção 4.2) evidenciam um forte componente social:

- Capacitação e Desenvolvimento de Pessoas: a realização de treinamentos formais e ações de educação ambiental para aproximadamente 150 participantes demonstra investimento no capital humano, melhorando habilidades técnicas e promovendo a conscientização e a responsabilidade individual e coletiva;
- Promoção da Saúde Pública e Segurança Ocupacional: a implementação de práticas seguras de manuseio e descarte de resíduos, reforçada pelas correções das não conformidades (Seção 4.3.1), protege a saúde dos trabalhadores de laboratório e da comunidade em geral, prevenindo acidentes e exposições a substâncias tóxicas;
- Engajamento Comunitário: as atividades de extensão e a participação em eventos institucionais demonstram o compromisso da universidade com a comunidade, disseminando conhecimento e incentivando a adoção de práticas sustentáveis fora do ambiente acadêmico.

5.5.3 Pilar de Governança (G - Governance)

O pilar de governança refere-se à liderança, transparência, auditorias, controles internos e responsabilidade institucional. Os resultados operacionais apresentados na Seção 4.4, bem como o processo estruturado de visitas técnicas e correção de não conformidades (Seção 4.3), evidenciam:

- Procedimentos Operacionais Padronizados (POPs): a existência de um LGRP com POPs claros para coleta, tratamento e destinação de resíduos demonstra uma estrutura de governança robusta, garantindo consistência e qualidade das operações;
- Monitoramento Contínuo e Relatórios: o registro detalhado dos volumes de resíduos, tipos de tratamento e destinação final (Seção 4.4) permite o monitoramento contínuo do desempenho ambiental da instituição, subsidiando a elaboração de relatórios de sustentabilidade;
- Conformidade Legal e Institucional: a adesão rigorosa à PNRS, à NBR 10004 e a outras regulamentações ambientais, evidenciada pelos procedimentos de classificação (Seção 4.1.1), demonstra forte compromisso com a conformidade legal;

- Gestão de Riscos: a identificação sistemática e o tratamento das não conformidades (Seção 4.3) constituem estratégia essencial para mitigar riscos ambientais, de saúde e reputacionais associados ao manejo de substâncias perigosas.

Em suma, os resultados discutidos evidenciam que a gestão de resíduos químicos em laboratórios universitários não é apenas uma exigência técnica, mas uma oportunidade estratégica para as instituições demonstrarem seu compromisso com a sustentabilidade, a responsabilidade social e a boa governança, fortalecendo sua imagem e impacto positivo na sociedade.

5.6 Contribuições para os Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS)

A gestão e segregação de resíduos químicos em laboratórios universitários, conforme evidenciado pelos resultados apresentados na Seção 4, desempenham papel multifacetado na consecução dos ODS da Agenda 2030 da ONU.

5.6.1 ODS 4 – Educação de Qualidade

Meta 4.4: aumentar substancialmente o número de jovens e adultos que tenham habilidades relevantes, inclusive competências técnicas e profissionais, para emprego, trabalho decente e empreendedorismo. Os resultados da Seção 4.2 (150 participantes capacitados) demonstram que os programas de capacitação técnica e educação ambiental oferecidos pelo LGRP fornecem aos estudantes e profissionais de laboratório as competências necessárias para o manejo seguro e sustentável de produtos químicos, preparando-os para o mercado de trabalho com responsabilidade ambiental e segurança.

5.6.2 ODS 6 – Água Potável e Saneamento

Meta 6.3: melhorar a qualidade da água, reduzindo a poluição, eliminando o despejo e minimizando a liberação de produtos químicos e materiais perigosos. Os resultados de tratamento interno (Seção 4.4) e a discussão sobre proteção da infraestrutura de saneamento (Seção 5.3) demonstram que a segregação na fonte e o tratamento interno de resíduos químicos evitam o lançamento de substâncias tóxicas e corrosivas nas redes de esgoto e, consequentemente, nos corpos hídricos, protegendo a qualidade da água e reduzindo a carga poluente sobre as ETEs.

5.6.3 ODS 11 – Cidades e Comunidades Sustentáveis

Meta 11.6: reduzir o impacto ambiental negativo per capita das cidades, inclusive prestando especial atenção à qualidade do ar, gestão de resíduos municipal e outras formas de gestão de resíduos. A gestão eficaz de resíduos químicos em laboratórios universitários, localizados em áreas urbanas, minimiza os riscos de contaminação do solo e da água nas cidades, tornando as comunidades mais resilientes e sustentáveis.

5.6.4 ODS 12 – Consumo e Produção Responsáveis

Meta 12.4: alcançar a gestão ambientalmente saudável de produtos químicos e todos os resíduos, ao longo de todo o ciclo de vida destes, reduzindo significativamente sua liberação para o ar, água e solo. Os resultados de recuperação de 1.527,6 kg de solventes por destilação (Seção 4.4) exemplificam a promoção de padrões de consumo e produção mais sustentáveis, reduzindo a demanda por novos recursos e a geração de resíduos. Meta

12.5: reduzir substancialmente a geração de resíduos por meio da prevenção, redução, reciclagem e reuso — corroborada pela prática de redistribuição de reagentes vencidos aptos ao uso (Seção 4.4).

5.6.5 ODS 13 – Ação Contra a Mudança Global do Clima

Meta 13.3: melhorar a educação, aumentar a conscientização e a capacidade humana e institucional sobre mitigação, adaptação e redução de impacto da mudança do clima. Embora indireta, a gestão de resíduos químicos contribui para a mitigação das mudanças climáticas ao reduzir a liberação de substâncias que podem ter impacto no clima e ao promover a eficiência de recursos, reforçada pelas ações educativas discutidas na Seção 5.1.

5.6.6 ODS 17 – Parcerias e Meios de Implementação

Meta 17.17: incentivar e promover parcerias eficazes nos setores público, público-privado e sociedade civil. A colaboração entre o LGRP, os diversos laboratórios da universidade, órgãos reguladores e empresas especializadas em destinação de resíduos (Seção 4.4) exemplifica parcerias eficazes, posicionando a universidade como ator importante na construção de soluções para o saneamento ambiental, replicáveis em outras instituições e setores.
Em síntese, a gestão de resíduos químicos em laboratórios universitários é uma estratégia poderosa para impulsionar a Agenda 2030, demonstrando como ações localizadas — sustentadas pelas evidências quantitativas e qualitativas apresentadas na Seção 4 — podem ter um impacto global significativo na construção de um futuro mais sustentável e equitativo.

6 CONCLUSÕES

A gestão e segregação de resíduos químicos em laboratórios universitários não é apenas uma obrigação técnica e legal, mas um compromisso fundamental com o futuro do saneamento ambiental, a saúde pública e a sustentabilidade. O estudo de caso apresentado, sustentado por evidências quantitativas (indicadores operacionais, resultados de classificação de resíduos e de eficácia dos tratamentos) e qualitativas (análise de conteúdo das respostas dos participantes e dos registros de visitas técnicas), demonstra que a implementação de um programa integrado de diagnóstico, capacitação e gerenciamento de resíduos é essencial para mitigar riscos e promover práticas ambientalmente responsáveis.

Os resultados evidenciam que a segregação na fonte, aliada a processos de tratamento interno como neutralização, adsorção, destilação e precipitação, é eficaz na redução da periculosidade e do volume dos resíduos, otimizando custos e minimizando a dependência de destinação externa. A identificação sistemática de não conformidades por meio das visitas técnicas, seguida da implementação de melhorias corretivas, demonstra o caráter cíclico e adaptativo do modelo de gestão proposto. A proteção da infraestrutura de saneamento e a garantia da qualidade dos efluentes lançados são benefícios diretos que impactam positivamente os sistemas de abastecimento de água e tratamento de esgotos.

No contexto da Fenasan 2026, a integração de conhecimentos técnicos, inovação nos processos de tratamento e o alinhamento estratégico aos ODS e ESG — discutidos na Seção 5 à luz das evidências apresentadas — posicionam o gestor laboratorial e a universidade como agentes fundamentais na cadeia do saneamento. As instituições de ensino superior, ao investirem em gestão de resíduos, não apenas cumprem seu papel social e ambiental, mas também formam profissionais conscientes e capacitados para os desafios da sustentabilidade.

A capacitação contínua e a adoção de tecnologias de tratamento interno mostram-se como caminhos eficazes para a sustentabilidade institucional, garantindo que o progresso científico caminhe lado a lado com a preservação ambiental e a segurança da infraestrutura urbana. A universidade, com seu papel de geradora de conhecimento e formadora de opinião, tem a capacidade de ser um motor de transformação, inspirando outras

organizações a adotarem práticas mais sustentáveis e a contribuírem ativamente para os objetivos globais de desenvolvimento.

Como limitação do estudo, destaca-se que os resultados são referentes a uma única instituição e a um período de doze meses (2025), o que sugere a necessidade de estudos longitudinais e comparativos entre instituições para consolidar as evidências aqui apresentadas. Recomenda-se, como agenda de pesquisa futura, a quantificação da relação custo-benefício do tratamento interno frente à destinação externa e a ampliação da amostra de laboratórios diagnosticados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1 AESABESP. **Fenasan 2026: Conectando pessoas, conhecimento e inovação pelo saneamento**. Disponível em: https://fenasan.com.br/. Acesso em: 10 jun. 2026.

2 BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. **Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)**. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Disponível em: http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 10 jun. 2026.

3 JARDIM, W. F. Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. **Química Nova**, v. 21, n. 5, p. 650-654, 1998. Disponível em: https://www.scielo.br/j/qn/a/Z46dkYrT5zpVmFYtYLyhYjh/. Acesso em: 10 jun. 2026.

4 ABNT. **NBR 10004: Resíduos Sólidos – Classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

5 ONU. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. Agenda 2030. Disponível em: https://brasil.un.org/pt-br/sdgs. Acesso em: 10 jun. 2026.

6 CHEMICAL RISK. **Classificação de resíduos sólidos: o que muda na NBR 10004:2024**. Disponível em: https://www.chemicalrisk.com.br/abnt-nbr-10004-classificacao-de-residuos-solidos/. Acesso em: 10 jun. 2026.

7 AGA. **Principais regulamentações para o gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios universitários**. Disponível em: https://www.aga.uema.br/2024/11/principais-regulamentacoes-para-o-gerenciamento-de-residuos-quimicos-em-laboratorios-universitarios/. Acesso em: 10 jun. 2026.