



Artigo de Revisão

e-ISSN 2177-4560

DOI: 10.19180/2177-4560.v19n22025p287-304

Submetido em: 03 out. 2025

Aceito em: 02 dez. 2025

.....

Gestão de resíduos químicos: uma revisão sistemática das práticas adotadas em instituições de ensino

Waste management in chemistry laboratories: a systematic review of practices adopted in educational institutions

Gestión de residuos químicos: una revisión sistemática de las prácticas adoptadas en instituciones educativas.

Jéssica Fabiane Faria Alves Santos Netto  <https://orcid.org/0009-0005-1358-2665>

Instituto Federal Fluminense

Mestranda em Engenharia Ambiental pelo Instituto Federal Fluminense.

E-mail: netto.jessica@gsuite.iff.edu.br

Marcos Antonio Cruz Moreira  <https://orcid.org/0000-0001-9928-7846>

Instituto Federal Fluminense

Doutor em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ). Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense (IFFluminense), Campus Macaé - Macaé/RJ – Brasil.

E-mail: moreira.a@gsuite.iff.edu.br

Gabriel de Pinna Mendez  <https://orcid.org/0000-0002-9692-830X>

Instituto Federal Fluminense

Doutorado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Fluminense Campus Macaé-RJ.

E-mail: gabriel.mendez@gsuite.iff.edu.br

Jose Augusto Ferreira da Silva  <https://orcid.org/0000-0002-1719-4740>

Instituto Federal Fluminense

Doutorado em Geografia pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Professor no Instituto Federal Fluminense.

E-mail: jaferreirasilva@gmail.com

Fernando Rufino de Barros  <https://orcid.org/0000-0002-6204-8873>

Instituto Federal Fluminense

Doutorado em Ciências Contábeis e Administração pelo FUCAPE. Administrador no Instituto Federal Fluminense.

E-mail: fernando.barros@gsuite.iff.edu.br

Resumo: A gestão de resíduos químicos em laboratórios acadêmicos representa um desafio crescente diante da ampliação das atividades experimentais e da diversidade de substâncias envolvidas, além das limitações gerenciais e orçamentárias de várias

instituições. O presente trabalho tem por objetivo compreender as principais dificuldades e desafios no gerenciamento dos resíduos de laboratórios de química em instituições de ensino; para tanto, foi utilizado como método a revisão sistemática da literatura utilizando o protocolo PRISMA, visando identificar e analisar as publicações referentes às estratégias adotadas pelas instituições de ensino na gestão desses resíduos, buscando compreender práticas, desafios e lacunas existentes. Após a aplicação do protocolo, foram selecionados 19 artigos que, após análise, foram organizados em três categorias principais. Os estudos analisados revelam uma crescente preocupação com o descarte correto de resíduos gerados nos laboratórios de química, com ênfase na importância de políticas institucionais, programas educativos e práticas sustentáveis. Apesar da diversidade de enfoques, identificou-se uma escassez de publicações especificamente voltadas à realidade dos laboratórios de química, o que reforça a necessidade de mais investigações. Ainda assim, os achados contribuem significativamente para o avanço do conhecimento e servem de base para a formulação de diretrizes mais eficazes. A gestão adequada desses resíduos nas instituições de ensino exige articulação entre aspectos técnicos, educacionais e administrativos, de modo a promover ambientes acadêmicos mais seguros, responsáveis e sustentáveis.

Palavras-chave: Gestão de resíduos químicos, Instituições de Ensino, Laboratórios.

Abstract: The management of chemical waste in academic laboratories presents a growing challenge due to the expansion of experimental activities, the diversity of substances involved, and the managerial and budgetary limitations faced by many institutions. This study aims to understand the main difficulties and challenges in managing chemical waste generated in chemistry laboratories at educational institutions. To achieve this goal, a systematic literature review was conducted following the PRISMA protocol. A total of 19 articles were selected and analyzed, resulting in the classification of findings into three main categories. The reviewed studies reveal an increasing concern regarding the proper disposal of chemical waste, highlighting the relevance of institutional policies, educational programs, and sustainable practices. Although the articles addressed various aspects of waste management, there is a notable lack of publications focused specifically on the reality of chemistry laboratories, indicating a need for further research. Nonetheless, the findings make a significant contribution to the advancement of knowledge in the field and provide a foundation for the development of more effective guidelines. Proper chemical waste management in educational settings requires the integration of technical, educational, and administrative aspects to foster safer, more responsible, and sustainable academic environments.

Keywords: Chemical waste management, Educational Institutions, Laboratories.

Resumen: La gestión de residuos químicos en laboratorios académicos representa un desafío creciente ante la expansión de las actividades experimentales y la diversidad de sustancias involucradas, además de las limitaciones administrativas y presupuestarias de varias instituciones. El presente trabajo tiene como objetivo comprender las principales dificultades y desafíos en la gestión de los residuos generados en laboratorios de química en instituciones educativas. Para ello, se utilizó como método la revisión sistemática de la literatura, siguiendo el protocolo PRISMA, con el fin de identificar y analizar las publicaciones sobre las estrategias adoptadas por las instituciones educativas en la gestión de estos residuos, buscando comprender prácticas, desafíos y vacíos existentes. Tras la aplicación del protocolo, se seleccionaron 19 artículos que, después del análisis, fueron organizados en tres categorías principales. Los estudios analizados revelan una creciente preocupación por la correcta disposición de los residuos generados en laboratorios de química, con énfasis en la importancia de políticas institucionales, programas educativos y prácticas sostenibles. A pesar de la diversidad de enfoques, se identificó una escasez de publicaciones específicamente centradas en la realidad de los laboratorios de química, lo que refuerza la necesidad de más investigaciones. No obstante, los hallazgos contribuyen significativamente al avance del conocimiento y sirven como base para la formulación de directrices más eficaces. La gestión adecuada de estos residuos en instituciones educativas requiere la articulación de aspectos técnicos, educativos y administrativos, a fin de promover entornos académicos más seguros, responsables y sostenibles.

Palabras clave: Gestión de residuos químicos; Instituciones educativas; Laboratorios.

1 Introdução

Nas últimas décadas, a intensificação das preocupações ambientais, impulsionada por fenômenos como o aquecimento global e o agravamento do efeito estufa, tem motivado reflexões sobre os impactos das atividades humanas no planeta. Embora as indústrias químicas sejam amplamente reconhecidas como grandes geradoras de resíduos perigosos, devido aos seus impactos negativos no meio ambiente e na segurança de colaboradores e comunidades (Nunes; Machado, 2024; Paulo et al., 2025; Santos et al., 2022), as instituições de ensino também desempenham um papel relevante nesse contexto, especialmente devido à

ampliação de laboratórios voltados ao ensino e à pesquisa (Junior; Almeida; Oesterreich, 2023; Santos et al., 2012).

A gestão de resíduos químicos em ambientes acadêmicos historicamente apresentou fragilidades (Junior; Almeida; Oesterreich, 2023), como a estocagem realizada de forma inadequada, o acúmulo de reagentes vencidos, a ausência de controle sistemático e o descarte inadequado (Junior; Almeida; Oesterreich, 2023; Oliveira et al., 2020). Apesar das instituições de ensino gerarem volumes relativamente baixos de resíduos (Junior; Almeida; Oesterreich, 2023), cerca de 1% do total industrial, segundo Tavares e Bendassolli (2005), sua diversidade varia desde resíduos comuns à resíduos perigosos (Rincón; Prieto, 2008), que incluem substâncias com propriedades tóxicas, corrosivas, inflamáveis e reativas (ARANTES et al., 2023) o que dificulta uma padronização da disposição final desses resíduos (ALBERGUINI et al., 2003). Além disso, a prática inadequada do manejo desse tipo de resíduo no ambiente acadêmico tem potencial de geração de dano a longo prazo, considerando que os futuros profissionais que atuarão em setores geradores de resíduos de grande complexidade e quantidade, poderão propagar essas práticas inadequadas causando dano ambiental.

Nesse contexto, a geração de resíduos químicos nos laboratórios configura um desafio particular, tanto pelos riscos à saúde humana quanto pelos danos ambientais potenciais (GIOVANNI et al., 2021). Segundo Nascimento et al. (2010), esse cenário reforça a importância da implementação de Programas de Gestão de Resíduos gerados nos laboratórios de química, a fim de assegurar o manejo adequado desses materiais. Além disso, como espaços formadores de profissionais e produtores de conhecimento, espera-se que essas instituições adotem práticas responsáveis e sustentáveis (Carneiro, 2024; Imbroisi et al., 2006; Leite; Alcantara; Afonso, 2008).

Entretanto, apesar da existência de legislações específicas e de algumas iniciativas bem-sucedidas, ainda há lacunas no entendimento e na aplicação de práticas eficientes. Conforme Omer (2024), muitas instituições de ensino enfrentam desafios significativos, como carência de infraestrutura adequada, limitação de recursos financeiros, ausência de normatizações internas consolidadas e necessidade contínua de capacitação de docentes e técnicos, dificultando o avanço nessa área.

Dessa forma, torna-se fundamental compreender de maneira abrangente o panorama atual da gestão de resíduos gerados nos laboratórios de química em ambientes acadêmicos, a fim de identificar as melhores práticas e promover a melhoria contínua nesta área crítica. Diante desse cenário, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão sistemática da literatura, seguindo o protocolo *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA), com a finalidade de identificar, analisar e categorizar as estratégias adotadas por instituições de ensino na gestão de resíduos gerados em laboratórios de ensino de Química.

2 Metodologia

A presente pesquisa utilizou a Revisão Sistemática da Literatura (RSL) como método para identificar, selecionar e analisar estudos sobre as práticas de gestão de resíduos químicos adotadas em laboratórios de Química de instituições de ensino. A RSL foi conduzida com base no protocolo PRISMA, com o intuito de garantir transparência, reproduzibilidade e rigor metodológico no processo de revisão.

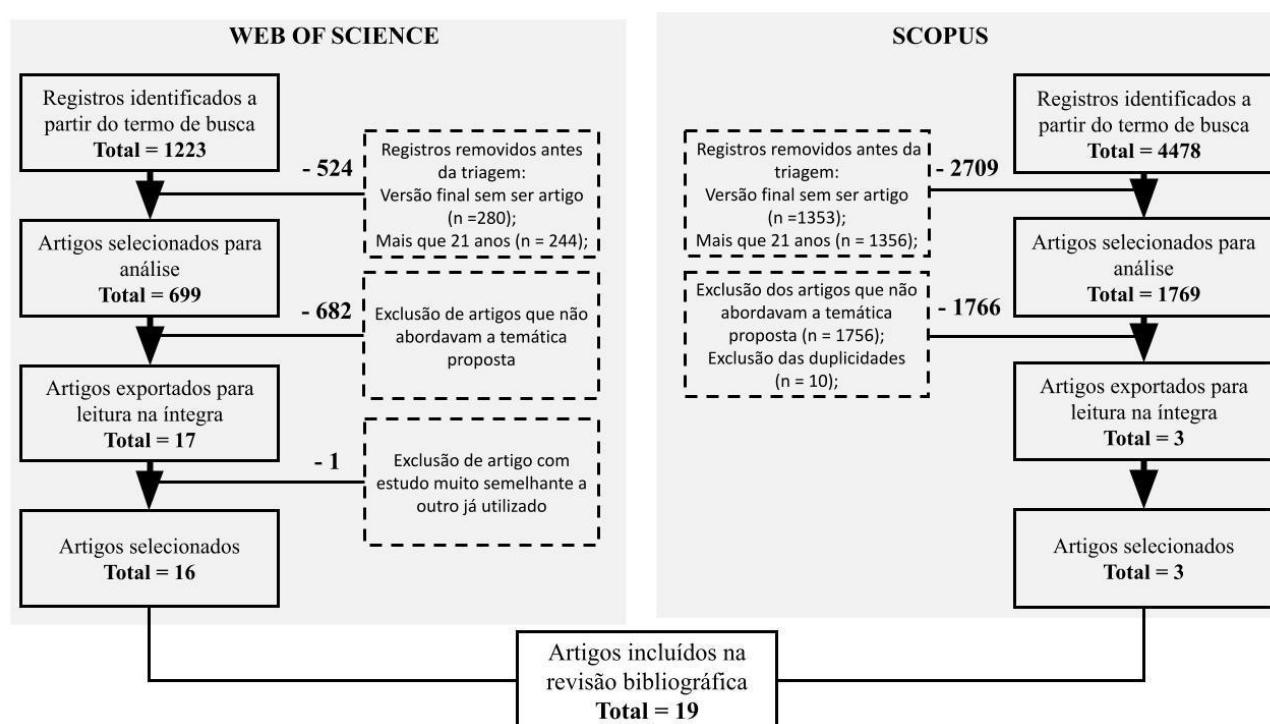
As bases de dados Scopus e Web of Science foram utilizadas, aplicando-se o descritor “chemical waste” e o recorte temporal de 2004 a 2025. A escolha das bases se deu pelo amplo reconhecimento e respeito na pesquisa acadêmica (Powell; Peterson, 2017). As buscas foram realizadas na Web of Science em 16 de fevereiro de 2025 e na Scopus em 24 de fevereiro de 2025.

A aplicação dos critérios de inclusão e exclusão resultou na seleção de 19 artigos que abordam práticas de gestão de resíduos em laboratórios de química em instituições de ensino. Esses estudos foram identificados a partir de uma busca estruturada nas bases de dados definidas no protocolo metodológico, considerando critérios de inclusão como o foco na gestão de resíduos em ambientes acadêmicos, a clareza metodológica e a relevância para o contexto educacional.

Para a análise dos resultados, os artigos foram organizados por categorias temáticas, de modo a possibilitar uma compreensão mais aprofundada das abordagens nos diferentes contextos estudados.

O processo completo de triagem e seleção está representado na Figura 1.

Figura 1 – Percurso metodológico



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

3 Resultados

3.1 Visão geral do portfólio bibliográfico

A análise temporal dos estudos revela uma evolução significativa nas práticas de gestão de resíduos químicos em laboratórios acadêmicos, marcada por quatro fases principais: reconhecimento inicial do problema, estruturação de sistemas, sofisticação das práticas e avanços institucionais.

Em meados dos anos 2000, os primeiros estudos destacaram a gestão inadequada de substâncias perigosas e a falta de conhecimento técnico sobre toxicologia e descarte, resultando em práticas inseguras em instituições públicas brasileiras. Foram identificadas carências estruturais, como ausência de programas educacionais e apoio institucional.

No início da década de 2010, houve um avanço metodológico com foco na redução de riscos e na implementação de sistemas de gestão. As instituições passaram a adotar práticas como identificação e segregação de resíduos, aplicação de técnicas de neutralização e o fortalecimento da capacitação técnica de docentes e discentes, promovendo condutas alinhadas à legislação ambiental.

Entre 2017 e 2020, as práticas evoluíram para um patamar de maior sofisticação técnica e institucional, com a introdução de modelos de gestão baseados em ferramentas gerenciais. A gestão passou a incorporar princípios da química verde, iniciativas de reaproveitamento de reagentes e soluções inovadoras, como o uso de microescala e a biotecnologia para o tratamento de efluentes.

A partir de 2021, observa-se uma tendência à institucionalização mais ampla e governança ambiental integrada. As discussões passam a incluir a harmonização com normas internacionais e a formulação de modelos político-administrativos abrangentes. Além disso, cresce o interesse em substituição de reagentes perigosos, análise de risco e formação de políticas institucionais consistentes.

Por fim, os estudos mais recentes, como os publicados em 2024, indicam que, embora haja avanços relevantes em alguns países, persistem desafios estruturais significativos. Assim, a evolução das práticas de gestão de resíduos químicos em laboratórios acadêmicos reflete não apenas avanços técnicos e normativos, mas também desigualdades estruturais e a necessidade contínua de fortalecimento institucional, formação crítica e investimentos em sustentabilidade no ensino superior.

Quanto à abrangência, os artigos selecionados contemplam diferentes regiões geográficas, incluindo estudos realizados na América Latina, Ásia, África e América do Norte, o que permitiu uma visão ampla sobre os desafios e práticas adotadas por instituições de ensino ao redor do mundo. As metodologias variam entre estudos de caso, análises qualitativas, investigações experimentais e revisões descritivas, refletindo a diversidade de abordagens utilizadas para tratar a temática.

De forma geral, os trabalhos analisados contribuíram para identificar não apenas os procedimentos adotados na gestão de resíduos, mas também aspectos relacionados à formação acadêmica, à cultura

institucional de segurança, às políticas públicas e às iniciativas voltadas para a minimização da geração de resíduos nos laboratórios. Esses achados oferecem subsídios importantes para compreender o atual panorama da gestão de resíduos em laboratórios acadêmicos, evidenciando avanços, limitações e oportunidades de aprimoramento.

3.2 Categorias analíticas da gestão de resíduos químicos em Instituições de Ensino

Com base na leitura e análise dos 19 artigos selecionados, foi possível agrupar os estudos em três categorias principais, de acordo com a abordagem predominante de cada um em relação à gestão de resíduos químicos em instituições de ensino:

Modelos e Programas de Gestão de Resíduos Químicos em IE:

Esta categoria engloba estudos que propõem, implementam e avaliam sistemas estruturados de gerenciamento de resíduos, considerando aspectos político-administrativos, organizacionais e institucionais.

Quadro 1 – Artigos classificados como Modelos e Programas de Gestão de Resíduos Químicos em IE

AUTORES	PAÍS	INSTITUIÇÃO	METODOLOGIA E RESULTADOS
Leoneti et al. (2020)	Brasil	Universidade de São Paulo (USP)	O estudo propôs e aplicou um framework de gestão de processos em um Laboratório de Tratamento de Resíduos Químicos da USP. A metodologia incluiu análise ABC, matriz de processo (variedade x volume) e mapeamento de processos. Os resultados revelaram que a alta variabilidade da demanda exige flexibilidade, sendo a intervenção humana crucial para processos impactantes como dissolução de sais e degradação de tóxicos. A aplicação das teorias de gestão de operações mostrou-se útil para melhorar a eficiência do laboratório.
Arantesa e Güntherb (2023)	Brasil	Universidade de São Paulo (USP)	Os autores propuseram um modelo de Boas Práticas Sustentáveis de Gestão de Resíduos Químicos (BPSG) para instituições de ensino superior, com base em normas federais, da ABNT e acordos internacionais. O modelo, estruturado em 14 itens mínimos e baseado no ciclo PDCA, visa à gestão segura e sustentável dos resíduos químicos, otimizando sua minimização, valorização e redução de periculosidade. O modelo cobre desde a política ambiental institucional até a educação e os indicadores de desempenho.
Fagnani e Guimarães (2017)	Brasil	Universidade de Campinas (UNICAMP)	Na FEC/UNICAMP, entre 2003 e 2013, foi implementado um plano de gestão de resíduos baseado no Ciclo de Melhoria Contínua. O estudo comparou cenários anteriores e posteriores a uma campanha de

			conscientização ambiental, utilizando dados qualitativos e quantitativos, além de auditorias periódicas. Os resultados demonstraram a eficácia e a viabilidade econômica do plano, com redução do descarte inadequado de materiais recicláveis de 60% para 15,3%, bem como uma diminuição de 22% no volume total de resíduos sólidos gerados. Além disso, foi possível estabelecer um gerenciamento adequado para resíduos químicos e de construção civil previamente estocados.
Giloni-Lima e Lima (2008)	Brasil	Não citada	O estudo propôs um fluxograma básico para gestão integrada de resíduos químicos em instituições de ensino superior, centrado na atuação de um Comitê Gestor e dividido em quatro etapas: estruturação, pré-implantação, divulgação e avaliação. A proposta busca otimizar a gestão ambiental, promover a conscientização da comunidade acadêmica, reduzir a geração de resíduos e formar profissionais com ética e responsabilidade socioambiental.
Imbroisi et al. (2006)	Brasil	Universidade de Brasília (UnB)	Um diagnóstico abrangente realizado em aproximadamente 90% dos laboratórios da UnB, por meio de visitas e questionários com os responsáveis, revelou que 52% utilizavam produtos químicos, mas 61% descartavam resíduos na pia ou no lixo comum. Essa prática evidencia a subnotificação da geração real de resíduos, estimada entre 6 e 8 toneladas em dois anos. O estudo destaca o desconhecimento sobre a natureza dos resíduos e os desafios para a implementação de uma gestão adequada.
Nascimento e Tenuta (2010)	Brasil	Universidade de São Paulo (USP)	O trabalho discutiu o problema dos resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa, identificando soluções, legislações pertinentes e protocolos de minimização com foco em redução, reuso e reciclagem. Os autores destacam que as instituições geram pequenas quantidades de resíduos altamente tóxicos e diversos, o que exige cuidado redobrado no manejo, armazenamento e descarte. Desde os anos 1990, programas de gerenciamento de resíduos perigosos vêm sendo implementados no Brasil, com foco especial na formação dos alunos.
Pedrozo e Philipi Jr (2005)	Brasil	Universidade de São Paulo (USP) e Instituto de Criminalística de São Paulo	A pesquisa avaliou os procedimentos de descarte de resíduos químicos em três instituições públicas brasileiras por meio de entrevistas e questionários, analisando sua conformidade com as exigências legais. A ausência de programas institucionais de descarte foi associada a práticas inadequadas, como o descarte incorreto de inflamáveis. Nas instituições com

			programas ativos, o descarte correto foi significativamente maior. Os autores concluem que programas educacionais institucionalizados são essenciais para garantir o cumprimento da legislação ambiental.
Phifer (2024)	Estados Unidos	Não citada	O estudo analisa as regulamentações (RCRA) e os desafios da gestão de resíduos químicos em laboratórios, propondo práticas ambientais e economicamente sensatas. Os principais resultados destacam inúmeras oportunidades para reduzir o volume de resíduos, consolidar para benefício econômico e diminuir a pegada ambiental. Enfatiza-se a importância da avaliação de isenções regulatórias (como para águas residuais) e o emprego de pessoal capacitado para uma gestão eficaz e com menor responsabilidade.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os artigos desta categoria evidenciam esforços institucionais para estruturar e formalizar práticas de gestão de resíduos químicos no ambiente acadêmico. Os estudos destacam a importância de políticas institucionais, regulamentações específicas e a construção de programas administrativos robustos como bases para uma gestão eficaz.

Phifer (2024), por exemplo, apresenta o panorama norte-americano ao discutir as regulamentações como a Lei de Conservação e Recuperação de Recursos (RCRA) e as emendas correlatas, apontando que a implementação de uma política clara previne impactos ambientais e à saúde. Leoneti et al. (2020), ao analisarem um Laboratório de Tratamento de Resíduos Químicos na USP, reforçam que o gerenciamento eficiente exige flexibilidade operacional, técnicas como análise ABC e participação de técnicos capacitados.

Experiências brasileiras também foram amplamente discutidas. Imbroisi et al. (2006) relatam a criação da Comissão de Gestão de Resíduos da UnB, revelando desafios históricos e estruturais que ainda afetam o descarte correto. Giloni-Lima e Lima (2008) propõem um fluxograma institucional que enfatiza a participação da comunidade acadêmica, destacando a hierarquia de ações sustentáveis: prevenção, minimização, reuso e reciclagem.

O estudo de Fagnani e Guimarães (2017) traz a realidade das instituições de ensino em países em desenvolvimento e demonstra como planos de gestão aliados a campanhas de conscientização podem reduzir desperdícios, embora ressalte os obstáculos burocráticos. Nascimento e Tenuta (2010), por sua vez, reforçam a ligação entre educação ambiental e gestão de resíduos, destacando a aplicação de práticas da química verde.

Por fim, os estudos de Arantes e Günther (2023) e Pedrozo e Philipi Jr (2005) oferecem diretrizes abrangentes que combinam elementos técnicos e organizacionais. Ambos convergem na necessidade de

conformidade com normativas vigentes e de programas contínuos de capacitação, destacando que a ausência de uma estrutura institucional robusta compromete diretamente a eficácia da gestão de resíduos. Tais achados evidenciam que o fortalecimento da governança institucional é um pilar central para qualquer avanço sustentável na área.

Conscientização, Educação e Capacitação em Gerenciamento de Resíduos:

Esta categoria reúne estudos voltados para a percepção, o conhecimento e a formação de estudantes e profissionais, bem como a eficácia de iniciativas educativas e de treinamentos voltados para a gestão segura e ambientalmente correta de resíduos.

Quadro 2 – Artigos classificados como Conscientização, Educação e Capacitação em Gerenciamento de Resíduos

AUTORES	PAÍS	INSTITUIÇÃO	METODOLOGIA E RESULTADOS
Oliveira et al. (2020)	Brasil	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	O estudo avaliou o perfil de 66 estudantes de Química da UFRGS antes e após uma ação formativa de duas horas sobre gestão de resíduos químicos. A metodologia incluiu questionários e análise de frequência de palavras com o software NVivo 12®. Os resultados indicaram um aumento expressivo na compreensão de conceitos-chave, como coprocessamento (de 6% para 26%) e incineração (de 74% para 91% de conhecimento coerente), evidenciando a eficácia da intervenção na formação de profissionais mais conscientes.
Kandel, Neupane e Giri (2017)	Nepal	Não citada	O estudo investigou a realidade dos laboratórios de ensino de química no Nepal por meio de questionários aplicados a professores, coletando dados sobre equipamentos de segurança, procedimentos, manuseio e descarte de resíduos, além de treinamento em segurança. Os resultados revelaram que a maioria dos laboratórios carece de mecanismos adequados para o descarte de resíduos, que frequentemente são eliminados de forma aleatória. Apenas 20% dos laboratórios contavam com pessoal treinado em primeiros socorros, e os respondentes destacaram o treinamento em segurança como essencial.
Leite, de Alcântara e Afonso (2008)	Brasil	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)	Avaliando alunos entre 1998 e 2007 antes e após cursarem a disciplina “Tratamento de Resíduos Químicos de Laboratório” no IQ/UFRJ, o estudo identificou que, embora a experiência prévia dos estudantes tenha aumentado, persistiam lacunas sobre legislação ambiental. A disciplina integrava práticas laboratoriais, palestras e visitas técnicas, sendo estas

			últimas apontadas como as mais impactantes. O maior desafio identificado foi a superação de hábitos inadequados, ressaltando a importância do treinamento contínuo na formação profissional.
Omer (2024)	Somália	Universidade de Hargeisa	O estudo utilizou um método misto, coletando dados de três instituições acadêmicas em Hargeisa, Somalilândia, com 25 respondentes (técnicos/docentes). Foram aplicados questionários e checklists de observação, com análise quantitativa e qualitativa (temática). Os resultados indicaram práticas de segurança química deficientes, incluindo baixo conhecimento, gestão inadequada de inventário e procedimentos impróprios de resíduos, o que expõe funcionários, estudantes e o ambiente a riscos.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Nesta categoria, os estudos enfatizam que a gestão de resíduos vai além da técnica, dependendo diretamente da conscientização e capacitação dos envolvidos. A formação de uma cultura ambiental crítica entre estudantes e profissionais se mostra essencial para consolidar boas práticas em laboratórios.

De acordo com Oliveira et al. (2020), ações formativas de curta duração, como aulas sobre tratamento de resíduos, podem provocar mudanças significativas na percepção dos alunos, contribuindo para uma alfabetização científica voltada à sustentabilidade. Já Leite et al. (2008), com uma análise longitudinal na Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), mostram que mesmo com uma formação técnica mais sólida, os estudantes carecem de conhecimentos sobre legislação ambiental e saúde ocupacional, reforçando a importância de disciplinas integradoras e práticas.

Kandel et al. (2017) e Omer (2024), por sua vez, destacam a precariedade das instalações e das práticas de segurança química em laboratórios acadêmicos, relacionando-a diretamente à ausência de treinamentos regulares, políticas institucionais claras e cultura de segurança.

Esses estudos reforçam a importância de programas contínuos de capacitação, de abordagens transdisciplinares e do envolvimento ativo dos estudantes como agentes transformadores na gestão de resíduos dentro das instituições.

Minimização, Tratamento e Avaliação de Riscos de Resíduos Químicos

Esta categoria abrange pesquisas com foco técnico, envolvendo estratégias de redução na geração de resíduos, reaproveitamento de substâncias, aplicação da química verde, métodos de tratamento e avaliação dos riscos associados aos resíduos gerados nos laboratórios.

Quadro 3 – Artigos classificados como Minimização, Tratamento e Avaliação de Riscos de Resíduos Químicos

AUTORES	PAÍS	INSTITUIÇÃO	METODOLOGIA E RESULTADOS
Barbosa, Mol e Barros (2020)	Brasil	Fundação Ezequiel Dias (Funed)	A pesquisa consistiu em uma revisão de literatura e análise quantitativa-financeira sobre o reúso de reagentes na Funed, entre 2011 e 2018. Foram avaliadas categorias de reagentes e seus destinos (reúso interno ou externo), com aplicação de testes estatísticos como Kruskal-Wallis. No período, foram reutilizados 5.457 reagentes, dos quais 80,3% foram destinados a instituições externas. Mídias de cultura e buffers apresentaram maior valor agregado, evidenciando benefícios econômicos e ambientais significativos da troca e reutilização.
Gerbase, Gregório e Calvete (2006)	Brasil	Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS)	Entre 1998 e 2002, foi implementado um programa de “Química Limpa” na disciplina de Química Inorgânica II da UFRGS, no qual os alunos eram responsáveis pela segregação e tratamento de resíduos em escala semi-micro. A substituição de reagentes tóxicos e o desenvolvimento de estratégias de recuperação foram centrais. O programa resultou em maior conscientização ambiental, melhorias nas técnicas laboratoriais e mudanças de comportamento profissional, com adesão a práticas mais sustentáveis.
Giovanni, Marques e Gunther (2021)	Brasil	Universidade de São Paulo (USP)	A pesquisa analisou retrospectivamente os resíduos químicos gerados entre novembro de 2017 e abril de 2019 em dois laboratórios da FMUSP, classificando-os segundo o Sistema Globalmente Harmonizado (GHS) (frases de perigo) e a legislação da Agência Nacional de Transportes Terrestres (ANTT) para transporte. A partir de fichas de inventário e do portal ECHA, foram identificadas 40 substâncias ou misturas, das quais 95% foram classificadas como perigosas pelo GHS, com 27 frases de risco à saúde. Para transporte, 83% foram consideradas perigosas, com destaque para inflamabilidade, toxicidade e corrosividade.
Goh,Wong e Ong (2020)	Singapura	Universidade Nacional de Singapura	A pesquisa quantificou reagentes e resíduos gerados em laboratórios de ensino de Química da National University of Singapore (NUS) com base nos manuais das aulas e rendimento das reações. Foram analisadas práticas de minimização existentes e avaliados currículos de 31 universidades. Os resultados mostraram que, embora práticas como uso de microescala e reciclagem de solventes estejam presentes, há margem para melhorias. A pesquisa sugere estratégias como limpeza com menos solventes, recuperação de metais e equilíbrio entre aprendizado e redução de resíduos.

Marinho et al. (2011)	Brasil	Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ)	No Laboratório de Limnologia da UFRJ, foi descrita a implementação de um sistema de gestão de resíduos químicos que envolveu a identificação, tratamento e treinamento intensivo da equipe, majoritariamente composta por não-químicos. O mapeamento dos fluxos de resíduos permitiu a adequação dos procedimentos, destacando o fator humano como essencial para o sucesso do programa. O sistema promoveu uma nova cultura institucional, assegurando o descarte adequado e servindo como modelo para outros laboratórios, apesar da complexidade dos resíduos analisados.
Múrcia et al. (2023)	Colômbia	Universidad Santo Tomás	A aplicação dos princípios da Química Verde em guias laboratoriais da Universidade Santo Tomás, na Colômbia, permitiu classificar o perigo de 21 práticas experimentais com base no GHS, priorizando a redução de risco e consumo de reagentes. Foram propostas melhorias para 10 guias, reduzindo em 24% o risco químico e em 50% o uso de reagentes. O estudo também destacou o potencial de reuso de resíduos de álcool como combustível, contribuindo para uma gestão mais segura e eficiente.
Rodríguez et al. (2020)	Costa Rica	Universidad Nacional Costa Rica	Foi avaliado o tratamento físico, químico e biológico de águas residuais geradas em laboratórios de ensino da Universidade Nacional da Costa Rica. Os métodos incluíram neutralização, coagulação-flocação e tratamentos com fungos ou bactérias. Os resultados indicam que esses microrganismos são eficazes na remoção de contaminantes indetectáveis e podem eliminar até 50% das substâncias orgânicas, representando uma abordagem promissora para o manejo sustentável de resíduos laboratoriais.

Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

Os artigos reunidos nesta categoria exploram soluções práticas e técnicas para reduzir, tratar e avaliar os impactos dos resíduos químicos gerados em atividades acadêmicas. Esses autores demonstram a aplicação dos princípios da química verde e de metodologias inovadoras para lidar com diferentes classes de resíduos.

Murcia et al. (2023) ilustram como a revisão de guias de laboratório baseada no GHS e na substituição de reagentes perigosos pode reduzir significativamente os riscos e o uso de substâncias críticas. Da mesma forma, Barbosa et al. (2020) destacam o impacto positivo do reuso de reagentes em uma instituição pública, mostrando benefícios ambientais e financeiros, além da importância da gestão de estoques com base no método “First in, First out” (FIFO).

Estudos como o de Giovanni et al. (2021) reforçam a relevância de se mapear e classificar corretamente os resíduos gerados, a fim de garantir o armazenamento e transporte correto, destacando os

riscos à saúde e à segurança dos envolvidos. Já Rodríguez et al. (2020) investigam tratamentos biológicos inovadores com fungos e bactérias, evidenciando reduções significativas na toxicidade dos efluentes laboratoriais.

Outras contribuições como a de Goh et al. (2020) discutem estratégias integradas, desde a eliminação na fonte até a microescala, demonstrando como ações simples podem minimizar riscos. Gerbase et al. (2006), por sua vez, revelam uma abordagem educativa prática na UFRGS, com foco na recuperação de resíduos pelos próprios estudantes, enquanto Marinho et al. (2011) detalham a experiência da UFRJ com a identificação, caracterização e tratamento de substâncias específicas em laboratório de limnologia.

De forma geral, as categorias revelam um cenário heterogêneo, mas com tendências convergentes quanto à urgência de se estabelecer políticas institucionais sólidas, fomentar a cultura de segurança e incorporar práticas de química verde. Esses estudos mostram que a gestão de resíduos eficaz não se limita ao descarte, mas envolve decisões técnicas criteriosas desde o planejamento experimental até o reaproveitamento e neutralização de substâncias, promovendo segurança e sustentabilidade. As experiências analisadas, ainda que diversas em suas metodologias e contextos, apontam para caminhos complementares: da estruturação de programas de gestão à formação crítica de estudantes e adoção de soluções técnicas inovadoras. Esses elementos, quando articulados, podem transformar os laboratórios acadêmicos em espaços de excelência ambiental e de formação cidadã.

3.3 Proposição de Modelo Teórico

Com base nos achados desta Revisão Sistemática, que identificaram três pilares interdependentes — Administrativo (Governança e Estrutura), Educacional (Conscientização e Capacitação) e Técnico (Operacionalização e Metodologias) — propõe-se o Modelo Integrado de Gestão Sustentável de Resíduos em Laboratórios Acadêmicos (MIGS-LA). Esse modelo parte da premissa de que a gestão de resíduos em instituições de ensino não pode ser compreendida como um processo isolado ou linear.

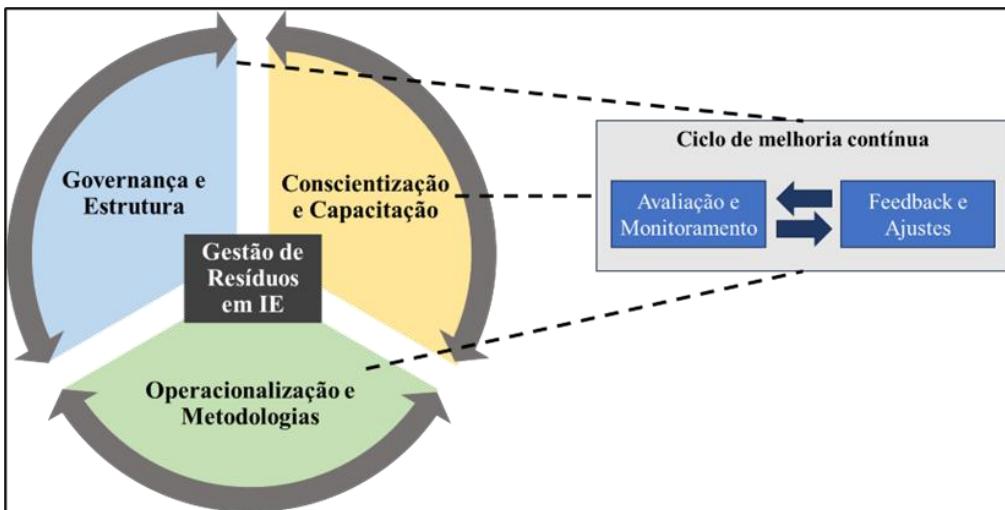
Pelo contrário, ela deve ser concebida como um sistema integrado e cíclico, no qual dimensões administrativas, educativas e técnicas atuam de forma complementar e indissociável, sustentadas por um ciclo permanente de melhoria contínua. Conforme Figura 2, o MIGS-LA organiza-se em três dimensões centrais:

Governança e Estrutura: Responsável por fornecer a base institucional, normativa e administrativa. Inclui a formulação de políticas institucionais claras, a criação de comissões multidisciplinares, a definição de fluxos de responsabilidade, a alocação de recursos e a conformidade com legislações ambientais.

Conscientização e Capacitação: Destina-se à formação de uma cultura de sustentabilidade e segurança entre estudantes, docentes e técnicos. Engloba ações de capacitação contínua, integração curricular, campanhas de conscientização e canais de participação ativa da comunidade acadêmica.

Operacionalização e Metodologias: Abrange as práticas técnicas de prevenção, minimização, reuso, reciclagem, segregação, armazenamento e tratamento de resíduos, sempre orientadas pelos princípios da química verde e pela avaliação sistemática de riscos.

Figura 2 – Modelo Integrado de Gestão Sustentável de Resíduos em Laboratórios Acadêmicos (MIGS-LA)



Fonte: Elaborado pelos autores (2025).

3.4 Contribuições teóricas e práticas

A presente revisão sistemática de literatura oferece contribuições relevantes tanto para o avanço teórico quanto para a prática da gestão de resíduos químicos em laboratórios de instituições de ensino. No plano teórico, os estudos convergem na compreensão de que a gestão de resíduos deve ser concebida como parte integrante da governança educacional e ambiental, exigindo uma abordagem interdisciplinar que articule dimensões técnicas, normativas, pedagógicas e administrativas. Avança-se, assim, na consolidação de um campo de conhecimento que conecta sustentabilidade, políticas públicas, cultura institucional de segurança e práticas educativas.

Esse avanço é sintetizado no Modelo Integrado de Gestão Sustentável de Resíduos em Laboratórios Acadêmicos (MIGS-LA), proposto a partir dos achados desta revisão. O modelo evidencia que a eficácia da gestão depende da integração de três dimensões interdependentes — Governança e Estrutura, Conscientização e Capacitação, e Operacionalização e Metodologias — articuladas por um ciclo contínuo de avaliação e feedback.

No plano prático, os estudos analisados apresentam um conjunto expressivo de experiências que podem subsidiar gestores e equipes técnicas em diferentes contextos institucionais. Entre as principais ações destacam-se:

Governança e Estrutura

- Instituir comissões internas de gestão de resíduos com representação docente, técnica e discente, responsáveis por diagnóstico, planejamento e acompanhamento das ações;
- Elaborar e implementar Planos de Gerenciamento de Resíduos Químicos (PGRQ) compatíveis com a legislação vigente e articulados às políticas institucionais de meio ambiente e segurança;
- Garantir orçamento e recursos específicos para infraestrutura, tratamento e capacitação.

Conscientização e Capacitação

- Promover programas regulares de capacitação para professores, técnicos e estudantes, abordando manuseio seguro, segregação, armazenamento, transporte e descarte adequado;
- Integrar conteúdos de educação ambiental e química verde ao currículo e às atividades práticas de laboratório;
- Desenvolver campanhas de conscientização e materiais orientadores que consolidem uma cultura institucional de segurança e sustentabilidade.

Operacionalização e Metodologias

- Adotar práticas de minimização na fonte, como técnicas de microescala, substituição de reagentes perigosos e reaproveitamento de materiais;
- Mapear, classificar e controlar resíduos utilizando metodologias como análise ABC ou o método FIFO, otimizando estoques e planejamento experimental;
- Implementar protocolos de segregação, armazenamento e tratamento, bem como estabelecer parcerias com instituições públicas e privadas para destinação adequada dos resíduos.

Além disso, a literatura evidencia que a ausência de políticas institucionais claras, infraestrutura adequada e cultura de segurança comprometem significativamente a eficácia da gestão. Dessa forma, gestores devem tratar a temática de forma estratégica e transversal, assegurando a alocação de recursos, a atualização de normativas internas e o engajamento ativo da comunidade acadêmica.

5 Conclusão

A presente revisão sistemática permitiu identificar e analisar um conjunto diversificado de estudos voltados à gestão de resíduos em laboratórios de instituições de ensino. Ao reunir evidências de diferentes contextos geográficos e institucionais, a análise revelou um cenário heterogêneo, mas com preocupações convergentes quanto à necessidade de aprimorar práticas, consolidar políticas e fomentar uma cultura institucional voltada à sustentabilidade e à segurança no ambiente acadêmico. Os resultados demonstram que os resíduos químicos laboratoriais, representam um desafio recorrente nas instituições de ensino, exigindo respostas integradas que articulem aspectos técnicos, educacionais e administrativos.

A análise dos artigos revelou que muitos deles adotaram metodologias robustas e contextualizadas, explorando experiências reais em universidades públicas e privadas. Embora os estudos sejam

predominantemente de países latino-americanos, principalmente do Brasil, observa-se uma variedade de propostas que vão desde a implementação de planos de gerenciamento até ações formativas e de avaliação de riscos. Essa diversidade de abordagens, que inclui desde modelos administrativos até iniciativas de conscientização e formação acadêmica, contribuem para um panorama promissor, oferecendo bases sólidas para a construção de políticas institucionais mais eficazes e articuladas com a realidade dos laboratórios acadêmicos.

Em relação ao processo metodológico adotado na revisão, destaca-se a adoção de um recorte temporal amplo devido à escassez de publicações diretamente relacionadas à gestão de resíduos químicos em laboratórios acadêmicos, o que evidenciou a limitação da produção científica nessa área. Ainda assim, a diversidade metodológica e contextual dos estudos incluídos permitiu identificar padrões emergentes, destacar lacunas relevantes e fomentar discussões significativas sobre as práticas atuais e os desafios enfrentados pelas instituições de ensino.

Os achados desta revisão oferecem subsídios significativos para a prática, sobretudo na estruturação de políticas institucionais de gerenciamento de resíduos, na consolidação de uma cultura de segurança e sustentabilidade nos laboratórios e na valorização da formação ambiental integrada ao currículo acadêmico. No âmbito das políticas públicas, evidencia-se a necessidade de fomentar normativas específicas para o contexto educacional e de garantir apoio financeiro a iniciativas voltadas ao reaproveitamento, ao tratamento adequado e à redução da geração de resíduos perigosos. Essas ações não apenas reforçam a proteção ambiental, como também qualificam as práticas pedagógicas e científicas, ampliando o compromisso das instituições de ensino com a sustentabilidade e a responsabilidade social.

Para pesquisas futuras, recomenda-se o aprofundamento de estudos avaliativos e comparativos que permitam identificar boas práticas, barreiras e fatores de sucesso em diferentes contextos institucionais. Além disso, há espaço para investigações que articulem os aspectos técnicos da gestão de resíduos com a formação cidadã e ambiental dos estudantes, explorando como práticas laboratoriais podem fortalecer competências socioambientais.

Também se mostra relevante o desenvolvimento de estudos longitudinais, capazes de acompanhar a evolução das políticas institucionais e de seus impactos na cultura organizacional de sustentabilidade. Nesse sentido, os laboratórios acadêmicos podem ser analisados não apenas como espaços de produção científica e tecnológica, mas como ambientes formativos comprometidos com a responsabilidade socioambiental e a transformação cultural no campo educacional.

Referências

ALBERGUINI, L. B.; SILVA, L. C.; REZENDE, M. O. O. **Laboratório de Resíduos Químicos do Campus USP - São Carlos – Resultados da experiência pioneira em gestão e gerenciamento de**

resíduos em um campo universitário. Quim. Nova, v.26, p.291-295, 2003. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-40422003000200026>>. Acesso em: 01 jul. 2025.

ARANTES, M. V. C.; GUNTHER, W. M. R. BOAS PRÁTICAS SUSTENTÁVEIS DE GESTÃO DE RESÍDUOS QUÍMICOS EM INSTITUIÇÕES PÚBLICAS DE ENSINO SUPERIOR. Quim. Nova, Vol. 46, No. 7, 724-730, 2023. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.21577/0100-4042.20230034>>. Acesso em 20 jun. 2025.

BARBOSA, F C. L.; MOL, M. P. G.; BARROS, R. T. V. Minimizing laboratory waste and improving material reuse through chemical waste exchange: Case of a Brazilian institution. Waste Management & Research 2020, Vol. 38(9). Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1177/0734242X20938459>>. Acesso em 20 jun. 2025.

DE OLIVEIRA, D. B. et al. A CONSTRUÇÃO DE CONCEITOS SOBRE GESTÃO E TRATAMENTO DE RESÍDUOS QUÍMICOS: UMA EXPERIÊNCIA DE FORMAÇÃO DE ESTUDANTES DE QUÍMICA. Quim. Nova, Vol. 43, No. 3, 382-390, 2020. Disponível em: <<https://doi.org/10.21577/0100-4042.20170477>>. Acesso em 20 jun. 2025.

FAGNANI, E.; GUIMARÃES, J. R. Waste management plan for higher education institutions in developing countries: The Continuous Improvement Cycle model. Journal of Cleaner Production 147 (2017) 108-118. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2017.01.080>>. Acesso em 20 jun. 2025.

GERBASE, A. E.; GREGÓRIO, J. R.; CALVETE, T. GERENCIAMENTO DOS RESÍDUOS DA DISCIPLINA QUÍMICA INORGÂNICA II DO CURSO DE QUÍMICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO GRANDE DO SUL. Quim. Nova, Vol. 29, No. 2, 397-403, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422006000200036>>. Acesso em 20 jun. 2025.

GILONI-LIMA, P. C.; LIMA, V. A. GESTÃO INTEGRADA DE RESÍDUOS QUÍMICOS EM INSTITUIÇÕES DE ENSINO SUPERIOR. Quim. Nova, Vol. 31, No. 6, 1595-1598, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422008000600053>>. Acesso em 20 jun. 2025.

GIOVANNI, C.; MARQUES, F. L. N.; GUTHER, W. M. R. Resíduos químicos laboratoriais: classificação de perigo pelo GHS e risco no transporte. Rev Saude Publica. 2021;55:102. Disponível em: <<https://doi.org/10.11606/s1518-8787.2021055003259>>. Acesso em 20 jun. 2025.

GOH, H. Y.; WONG, W. W. C.; ONG, Y. Y. A Study To Reduce Chemical Waste Generated in Chemistry Teaching Laboratories. J. Chem. Educ. 2020, 97, 87–96. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00632>>. Acesso em 20 jun. 2025.

IMBROSI, D. et al. GESTÃO DE RESÍDUOS QUÍMICOS EM UNIVERSIDADES: UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA EM FOCO. Quim. Nova, Vol. 29, No. 2, 404-409, 2006. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422006000200037>>. Acesso em 20 jun. 2025.

KANDEL, K. P.; NEUPANE, B. B.; GIRI, B. Status of chemistry lab safety in Nepal. PLoS ONE, 12(6): e0179104, 2017. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1371/journal.pone.0179104>>. Acesso em 20 jun. 2025.

LEITE, Z. T. C.; ALCANTARA, S.; AFONSO, J. C. A gestão de resíduos de laboratório na visão de alunos de um curso de graduação de química e áreas afins. Quim. Nova, Vol. 31, No. 7, 1892-1897, 2008. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1590/S0100-40422008000700051>>. Acesso em 20 jun. 2025.

LEONETI, A. B. et al. **Process management framework for chemical waste treatment laboratories.**

Business Process Management Journal, Vol. 26 No. 2, 2020, pp. 447-462. Disponível em:

<<http://dx.doi.org/10.1108/BPMJ-06-2019-0233>>. Acesso em 20 jun. 2025.

MARINHO, C. C. et al. **Gerenciamento de resíduos químicos em um laboratório de ensino e pesquisa: A experiência do laboratório de limnologia da UFRJ.** Ecletica Quimica, Vol. 36, Nº 2, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S0100-46702011000200005>>. Acesso em 20 jun. 2025.

MURCIA, J. E. et al. **Risk assessment and green chemistry applied to waste generated in university laboratories.** Heliyon Volume 9, Issue 5e15900 May 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2023.e15900>>. Acesso em 20 jun. 2025.

NASCIMENTO, E. DE S.; FILHO, A. T.. **Chemical waste risk reduction and environmental impact generated by laboratory activities in research and teaching institutions.** Brazilian Journal of Pharmaceutical Sciences vol. 46, n. 2, abr./jun., 2010. Disponível em: <<https://doi.org/10.1590/S1984-82502010000200004>>. Acesso em 20 jun. 2025.

OMER, M. A. **Assessing the safety of chemical management practices in academic laboratories in Hargeisa, Somaliland.** Cogent Education,11:1, 2372188, 2023. Disponível em: <www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/2331186X.2024.2372188>. Acesso em 20 jun. 2025.

PEDROZO, M. DE F. M.; Jr, A. P.. **Laboratory waste management: evaluation of the disposal procedures routinely adopted by three Brazilian public institutions.** International Journal of Environmental Studies, Vol. 62, No. 6, December 2005, 687–700. Disponível em: <<https://doi.org/10.1080/00207230500213925>>. Acesso em 20 jun. 2025.

PHIFER, R. **The Subtleties of Managing Laboratory Waste in 2024.** ACS Chemical Health & Safety, 2024, 31, 521–525. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1021/acs.chas.4c00047>>. Acesso em: 20 jun. 2025.

RINCÓN, J. M. R.; PRIETO, L. E. P. **Gestión de residuos químicos en instituciones educativas.** Artes y Ciencias Sociales (2008), 85–8. Disponível em: <<http://revistas.udistrital.edu.co/ojs/index.php/revcie/article/view/297/424>>. Acesso em: 29 jul. 2025.

RODRÍGUEZ, J. A. R. et al. **Physical, chemical, and biological treatment of chemical waste from teaching laboratories at Universidad Nacional, Costa Rica.** UNICIENCIA Vol. 34, Nº 2, pp.82-94. Julio-Diciembre, 2020. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.15359/ru.34-2.5>>. Acesso em 20 jun. 2025.

SANTOS, V. M. L. et al. **Proposta para disposição final dos resíduos químicos identificados nos laboratórios do Campus da Fazenda Experimental/UNIVASF.** GEPROS. Gestão da Produção, Operações e Sistemas, Ano 7, nº 2, abr-jun/2012, p. 65-79. Disponível em: <<https://revista.feb.unesp.br/gepros/article/view/437/423>>. Acesso em: 01 jul. 2025.

TAVARES, G. A.; BENDASSOLLI, J. A. **Implantação de um programa de gerenciamento de resíduos químicos e águas servidas nos laboratórios de ensino e pesquisa do CENA/USP.** Química Nova, v. 28, n. 4, p. 732-738, 2005.