ResiduoLab ChemSafe: Sistema Laboratorial de Gerenciamento de Resíduos Químicos

Sofia Burdelake Bespalhuk[1], **Giovanna Bernadelli de Souza Goes**[1], **José Augusto Teixeira**[1], **Ana Paula Segantin Gaspari Giovanini**[1], **Késsia Rita da Costa Marchi**[1], **Daniela Eloise Flôr**[1]

[1]Instituto Federal do Paraná – Campus Paranavaí (IFPR)
Av. José Felipe Tequinha, 1400 – Jardim das Nações, Paranavaí, PR – Brasil

sofia.bbespalhuk@gmail.com, giovannabernadelli@outlook.com
{jose.teixeira, ana.gaspari, kessia.marchi, daniela.flor}@ifpr.edu.br

Abstract. *Waste management in academic laboratories is essential for operational safety and environmental compliance, but there are situations in which it is supported by predominantly manual processes. To address this problem, this paper presents the development of a web application dedicated to optimizing chemical waste management. To structure the digital inventory, established Software Engineering procedures were adopted, such as requirements elicitation, UML documentation, and development strategies, intersecting Computing and Chemistry. It is expected that providing updated information will reduce in-person inspections and logging errors, promoting more sustainable laboratory management.*

Resumo. *A gestão de resíduos em laboratórios acadêmicos é fundamental para a segurança operacional e a conformidade ambiental, mas há situações em que é apoiada por processos predominantemente manuais. Diante dessa problemática, este trabalho apresenta o desenvolvimento de uma aplicação web dedicada à otimização do gerenciamento de resíduos químicos. Para estruturar o inventário digital, adotaram-se procedimentos consolidados de Engenharia de Software, como elicitação de requisitos, documentação UML e estratégias de desenvolvimento, interseccionando Computação e Química. Almeja-se que a disponibilização de informações atualizadas reduza as verificações presenciais e erros de registro, promovendo uma gestão laboratorial mais sustentável.*

1. Introdução

O avanço científico e tecnológico nas últimas décadas resultou em um aumento significativo na geração de resíduos químicos complexos, tanto na indústria quanto em ambientes de pesquisa e ensino [Jardim 1998]. Em resposta a essa realidade, a legislação ambiental brasileira tornou-se progressivamente mais rigorosa, estabelecendo, através de resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) e normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT), diretrizes estritas para a classificação, armazenamento, tratamento e descarte desses materiais [ABNT 2004, CONAMA 2005]. O não cumprimento dessas diretrizes não apenas acarreta riscos de sanções legais, mas também representa uma ameaça direta à saúde da comunidade acadêmica e ao meio ambiente, tornando o gerenciamento adequado uma prioridade inegociável para as instituições de ensino.

A gestão de resíduos em laboratórios acadêmicos é fundamental para a segurança operacional e a conformidade ambiental, mas ainda há situações em que é suportada por procedimentos predominantemente manuais. No Instituto Federal do Paraná - Campus Paranavaí, o controle do estoque de resíduos químicos é realizado de forma manual, um processo que se mostra suscetível a erros, consome um tempo valioso de técnicos e professores e eleva os riscos associados ao manejo de substâncias perigosas [Andrade 2008].

A necessidade de deslocamento constante ao local de armazenamento para verificações físicas de inventário não apenas diminui a produtividade, como também cria uma lacuna de informação que pode comprometer a segurança de toda a comunidade acadêmica. Desta forma, propõe-se o desenvolvimento de uma solução que assista técnicos de laboratório no gerenciamento dos resíduos químicos gerados.

Assim, este estudo tem como objetivo aplicar princípios e métodos da Engenharia de Software ao desenvolvimento colaborativo entre estudantes do Técnico em Informática e do Bacharel em Engenharia de Software para implementação de uma aplicação web voltada ao gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios acadêmicos. Mais especificamente, busca-se identificar e analisar as demandas dos usuários, formalizar requisitos funcionais e não funcionais, modelar a arquitetura do sistema utilizando técnicas padronizadas da Engenharia de Software, com destaque para a aplicação de notações UML amplamente reconhecidas para representação de requisitos e estrutura de sistemas, e validar, por meio de protótipos interativos, soluções aderentes à realidade operacional de instituições públicas de ensino, como o IFPR – Campus Paranavaí.

Ao longo do artigo, apresentam-se inicialmente os fundamentos científicos relacionados ao gerenciamento de resíduos químicos, que dão suporte à relevância deste estudo, bem como os trabalhos relacionados e os diferenciais da proposta. Em seguida, descreve-se a metodologia adotada para o desenvolvimento da aplicação, abrangendo desde o levantamento de requisitos até o planejamento de testes. Na sequência, discutem-se os resultados alcançados e os potenciais impactos da solução para a gestão de resíduos químicos em ambientes acadêmicos. Por fim, apresentam-se as considerações finais, acompanhadas de apontamentos sobre limitações do estudo e possíveis desdobramentos futuros.

2. Gerenciamento de Resíduos Químicos

Resíduos químicos são aqueles resultantes de atividades laboratoriais de estabelecimentos de ensino, pesquisa, produção e extensão, podendo ser reagentes químicos ou medicamentos, fora de especificação, obsoletos ou alterados; excedentes, vencidos ou sem previsão de utilização; produtos de reações químicas, resíduos de análises químicas, sobras de amostras contaminadas, sobras da preparação de reagentes, frascos ou embalagens de reagentes, resíduos de limpeza de equipamentos de laboratórios e materiais contaminados com substâncias químicas que oferecem riscos à saúde humana e à qualidade do meio ambiente [Instituto Butantan 2014].

Entre os danos à saúde humana que podem ser causados por resíduos mal geridos, destacam-se câncer de rim, fígado e pulmão, linfomas, asma, doenças neurológicas e respiratórias, além de vários outros sintomas mais leves [Babar et al. 2022]. Além da questão ambiental e biológica, o descarte e a destinação de resíduos químicos perigosos devem seguir a legislação vigente. O desrespeito às leis e resoluções ambientais pode ser considerado crime ambiental, passível de sanções administrativas, civis e criminais.

No Brasil, o CONAMA, por meio da Resolução 430/2011 [CONAMA 2011], estabelece padrões para o lançamento de substâncias em corpos hídricos (lançamento direto) e também na rede de esgoto (quando verificada a inexistência de legislação ou normas específicas, disposições do órgão ambiental competente, bem como diretrizes da operadora dos sistemas de coleta e tratamento de esgoto sanitário), atribuindo limites máximos para várias substâncias químicas, orgânicas e inorgânicas.

O descarte de resíduos químicos em desacordo com a legislação pode acarretar diversos efeitos deletérios à saúde do ser humano, na fauna e na flora, e na qualidade ambiental. Metais pesados e solventes orgânicos, por exemplo, podem causar a mortandade da vida aquática, contaminação de solos e lençóis freáticos, bioacumulação e vários problemas de saúde no ser humano (podendo variar desde intoxicação, até câncer e morte, dependendo da quantidade e da substância) [Luoma and Rainbow 2005]. Por isso, é essencial que os resíduos químicos sejam separados, tratados e descartados de forma correta, de acordo com suas propriedades e grau de periculosidade.

A principal norma brasileira que define os critérios de classificação, a ABNT NBR 10.004/2004, afirma que os resíduos sólidos são discriminados em três grupos principais: Classe I (perigosos), Classe II A (não inertes) e Classe II B (inertes). Esta classificação é baseada nas características físicas, químicas e biológicas dos resíduos, bem como em seus potenciais impactos ambientais e à saúde pública.

No caso dos resíduos líquidos, eles podem ser classificados como efluentes industriais, domésticos ou que contenham substâncias químicas em solução aquosa. A classificação desses efluentes é geralmente baseada em critérios como composição química, toxicidade, biodegradabilidade, inflamabilidade, corrosividade e outras propriedades que determinam seu potencial de impacto ambiental e de risco à saúde humana.

É evidente que a redução, a reutilização e a reciclagem são as opções mais desejáveis no gerenciamento de resíduos. Entretanto, elas não constituem solução definitiva para o problema da geração, pois em algum momento haverá a necessidade de tratamento, armazenamento e disposição final de materiais perigosos [Amadi et al. 2017]. Entre os principais métodos de tratamento de resíduos citam-se a disposição em aterros químicos, o armazenamento seguro, a recuperação e os processos físico-químicos, térmicos e biológicos [Freeman 1998].

Considerando a complexidade desse ciclo e a multiplicidade de normas que o regulam, torna-se evidente a importância de ferramentas digitais capazes de organizar, monitorar e apoiar a gestão de resíduos em tempo real, o que justifica a adoção de práticas de Engenharia de Software no desenvolvimento da aplicação proposta.

3. Trabalhos Relacionados

Atualmente, o mercado oferece soluções robustas de Sistemas de Gerenciamento de Informações Laboratoriais (LIMS). Contudo, são frequentemente sistemas de alto custo e complexidade, voltados para uso industrial e farmacêutico. Por isso, esse tipo de sistema é pouco acessível a instituições de ensino públicas, que recorrem a métodos manuais de controle, suscetíveis a erros que podem comprometer a segurança da comunidade acadêmica e a rastreabilidade dos resíduos [Jardim 1998, Andrade 2008].

A tendência tecnológica aponta para o desenvolvimento de aplicações web e móveis dedicadas à resolução de problemas específicos de gestão, como otimização de estacionamentos [Shanshan et al. 2023] ou promoção do bem-estar digital [Borguezani Carvalho et al. 2024]. No entanto, observa-se uma lacuna significativa na oferta de sistemas voltados à gestão interna do ciclo de vida de resíduos químicos em instituições de ensino e pesquisa, capazes de integrar usabilidade, rastreabilidade e conformidade ambiental em um mesmo ambiente digital.

A literatura sobre gerenciamento de resíduos químicos concentra-se majoritariamente em métodos de tratamento e em diretrizes de segurança [Freeman 1998], enquanto o gerenciamento interno, especialmente em instituições que produzem resíduos, mas não realizam o tratamento em suas dependências, permanece pouco representado [Instituto Butantan 2014, EMBRAPA 2018]. Nesse contexto, o ResiduoLab diferencia-se por enfatizar essa etapa do processo, anterior à destinação final, por meio de um sistema de informação centrado nos laboratoristas e nas rotinas práticas de laboratório.

O desenvolvimento do ResiduoLab adota uma perspectiva de viabilidade institucional, priorizando o uso de tecnologias acessíveis, de manutenção simplificada e passíveis de reaplicação em diferentes contextos acadêmicos. Embora não elimine custos operacionais, como hospedagem e eventuais atualizações, o projeto propõe um modelo sustentável e adaptável à realidade das instituições públicas, equilibrando restrições orçamentárias e exigências técnicas. Assim, o foco desloca-se da promessa de gratuidade para a busca de soluções tecnicamente sólidas, economicamente viáveis e socialmente relevantes.

4. Materiais e Métodos

O desenvolvimento do ResiduoLab ChemSafe foi conduzido com base em princípios da Engenharia de Software, que oferecem métodos estruturados para transformar demandas complexas do domínio dos resíduos químicos em soluções digitais consistentes e seguras. Assim, cada etapa, desde o levantamento de requisitos até a prototipação e validação, foi conduzida de acordo com práticas consolidadas da área, assegurando rigor técnico e alinhamento entre necessidades do usuário e funcionalidades do sistema.

4.1. Levantamento de Requisitos

A etapa inicial consistiu na elicitação de requisitos, realizada por meio de entrevistas estruturadas e de um formulário exploratório aplicado a técnicos de laboratório e professores de Química. Esse instrumento buscou identificar necessidades práticas do cotidiano dos usuários, como perfis diferenciados de acesso, permissões específicas, múltiplas classificações de resíduos, mecanismos de alerta de capacidade e validade, além da emissão de relatórios periódicos.

A Figura 1 apresenta um exemplo de questão utilizada no formulário, voltada para identificar os perfis de usuários previstos no sistema. Essa pergunta teve o objetivo de estruturar as permissões de forma aderente ao ambiente laboratorial, garantindo que diferentes papéis (técnicos, professores, estagiários, diretores) fossem contemplados.

A discussão dessa questão permitiu definir níveis de acesso diferenciados, restringindo a técnicos a edição e exclusão de resíduos, enquanto administradores teriam funções limitadas ao gerenciamento de usuários. Essa estrutura foi essencial para orientar o Diagrama de Casos de Uso e a posterior modelagem de classes.

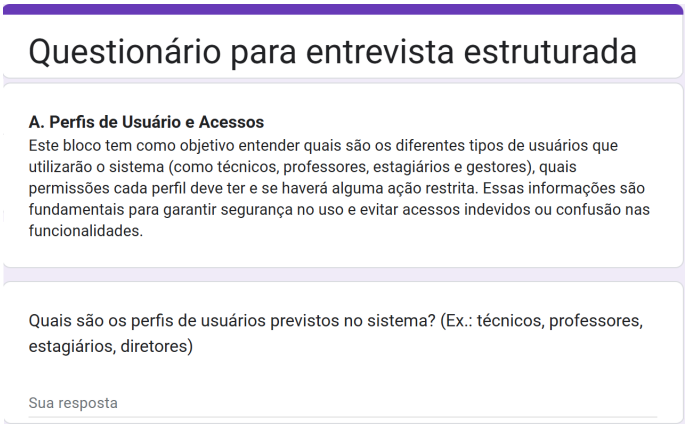


Figura 1. Exemplo de questão sobre a definição de perfis de usuários.

Outro exemplo ilustrativo pode ser visto na Figura 2, que questiona sobre os mecanismos de alerta em relação ao nível de ocupação de frascos. A definição desse requisito foi central para promover a rastreabilidade e a segurança operacional do sistema, prevenindo riscos de armazenamento inadequado.

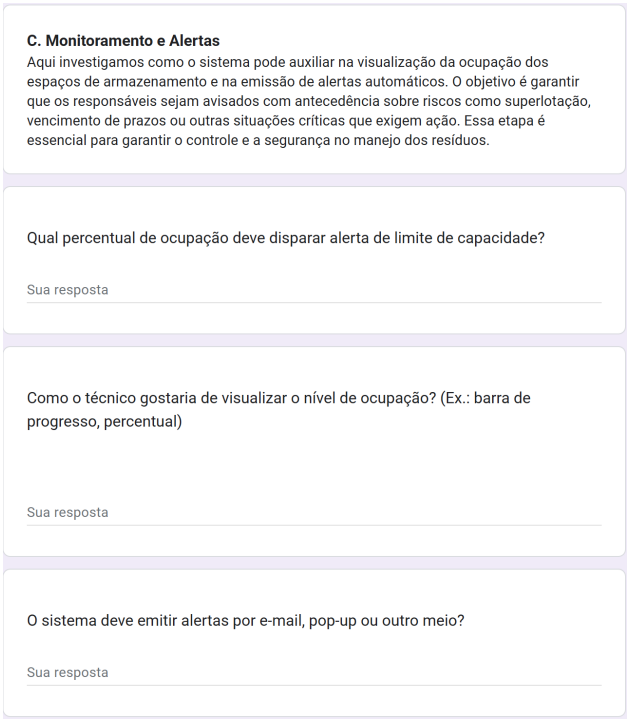


Figura 2. Exemplo de questão sobre a definição de alertas de capacidade.

As respostas obtidas nessa questão direcionaram a adoção de alertas em múltiplos formatos (barra de progresso, percentual e pop-up), com possibilidade de notificação por e-mail, assegurando maior flexibilidade na prática laboratorial.

4.2. Validação dos Protótipos

Após a modelagem inicial, foi elaborado um segundo formulário de validação, aplicado em conjunto com protótipos interativos desenvolvidos na plataforma Figma. Esse instrumento apresentava imagens das telas e fluxos principais, permitindo que os usuários validassem os componentes da interface e sugerissem ajustes em tempo hábil, antes da implementação definitiva. As perguntas abrangeram temas como login e autenticação, fluxo de cadastro de usuários e instituições, permissões adicionais para administradores e preferências relacionadas à exportação e filtragem de relatórios.

A Figura 3 exemplifica uma das questões do formulário de validação, relacionada aos formatos de exportação de relatórios. Essa etapa foi fundamental para confirmar a adequação da interface e coletar ajustes finais a partir da experiência direta dos stakeholders com os protótipos.

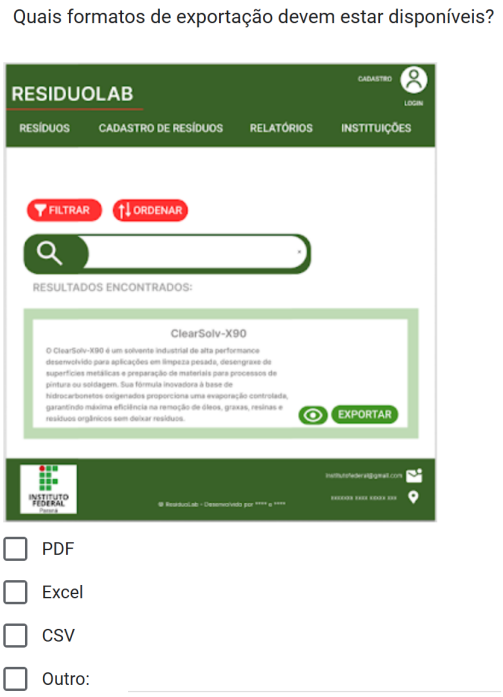


Figura 3. Exemplo de questão sobre formatos de exportação de relatórios.

As respostas indicaram a preferência pela disponibilização de múltiplos formatos, como PDF, Excel e CSV, ampliando a flexibilidade do sistema e assegurando que os dados possam ser reutilizados em diferentes contextos.

4.3. Implementação

Por fim, a implementação do sistema foi organizada para priorizar a criação de um banco de dados em SQLite já integrado ao projeto, assegurando persistência e integridade das informações. A camada de *backend* foi estruturada na linguagem Python, com o *framework* Django, garantindo um produto atualizado e modular. O *frontend*, por sua vez, foi projetado em HTML5, CSS3 e Bootstrap e conta com uma interface simples e minimalista que destaca as informações dos resíduos cadastrados, garantindo responsividade e

alinhamento aos protótipos validados. O site será hospedado no serviço PythonAnywhere para testes com técnicos de laboratório, os quais estão planejados para 2027 e cujos resultados serão utilizados para aplicar melhorias antes de uma possível expansão para outras instituições.

5. Resultados e Discussão

Os procedimentos metodológicos descritos resultaram em um conjunto consistente de artefatos, validações e análises que consolidam o desenvolvimento do ResiduoLab ChemSafe, e favorecem uma discussão sobre os impactos concretos e potenciais da solução.

5.1. Requisitos e Estruturação Funcional

A participação integral do grupo de stakeholders, composto por uma técnica, um estagiário e um professor do laboratório de química, nas entrevistas e nos formulários aplicados possibilitou a definição clara dos perfis. Também foram identificadas funcionalidades críticas, como múltiplas classificações por resíduo, alertas de capacidade, prazos de validade, exportação de dados e emissão de relatórios. Esses elementos traduzem a realidade operacional dos laboratórios e alinham o sistema às normas vigentes da ABNT e do CONAMA.

5.2. Modelagem UML

A modelagem em UML traduziu as necessidades levantadas em representações estruturadas do sistema, permitindo uma visão clara das interações e da organização das entidades envolvidas. O Diagrama de Casos de Uso (Figura 4) mapeou as principais funcionalidades dos usuários, com técnicos gerenciando apenas resíduos e administradores gerenciando apenas usuários de sua instituição. O fragmento do Diagrama de Classes (Figura 5), por outro lado, destacou as informações relativas a classificação e ciclo de vida dos resíduos. As multiplicidades se baseiam nas regras de negócio do Campus, como, por exemplo, de que um frasco não pode ser cadastrado vazio, mas pode armazenar mais de um resíduo.

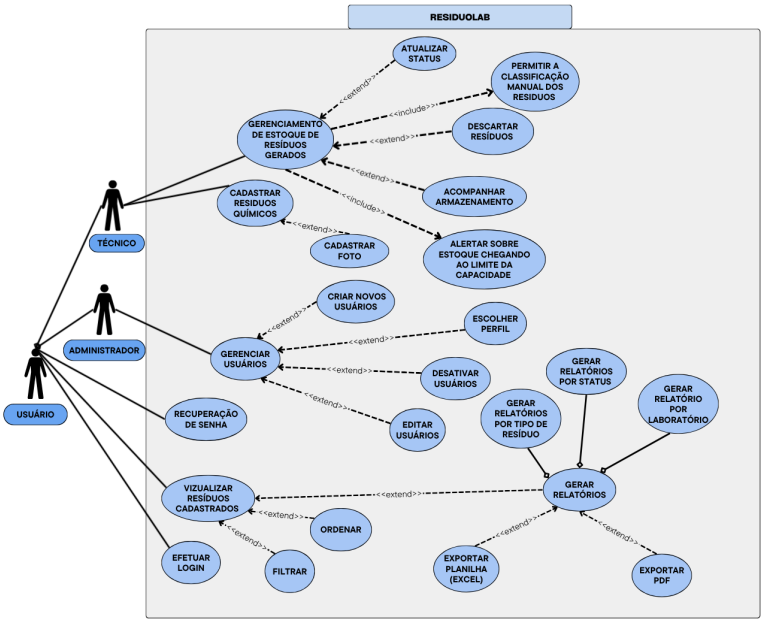


Figura 4. Diagrama de Casos de Uso validado com os stakeholders.

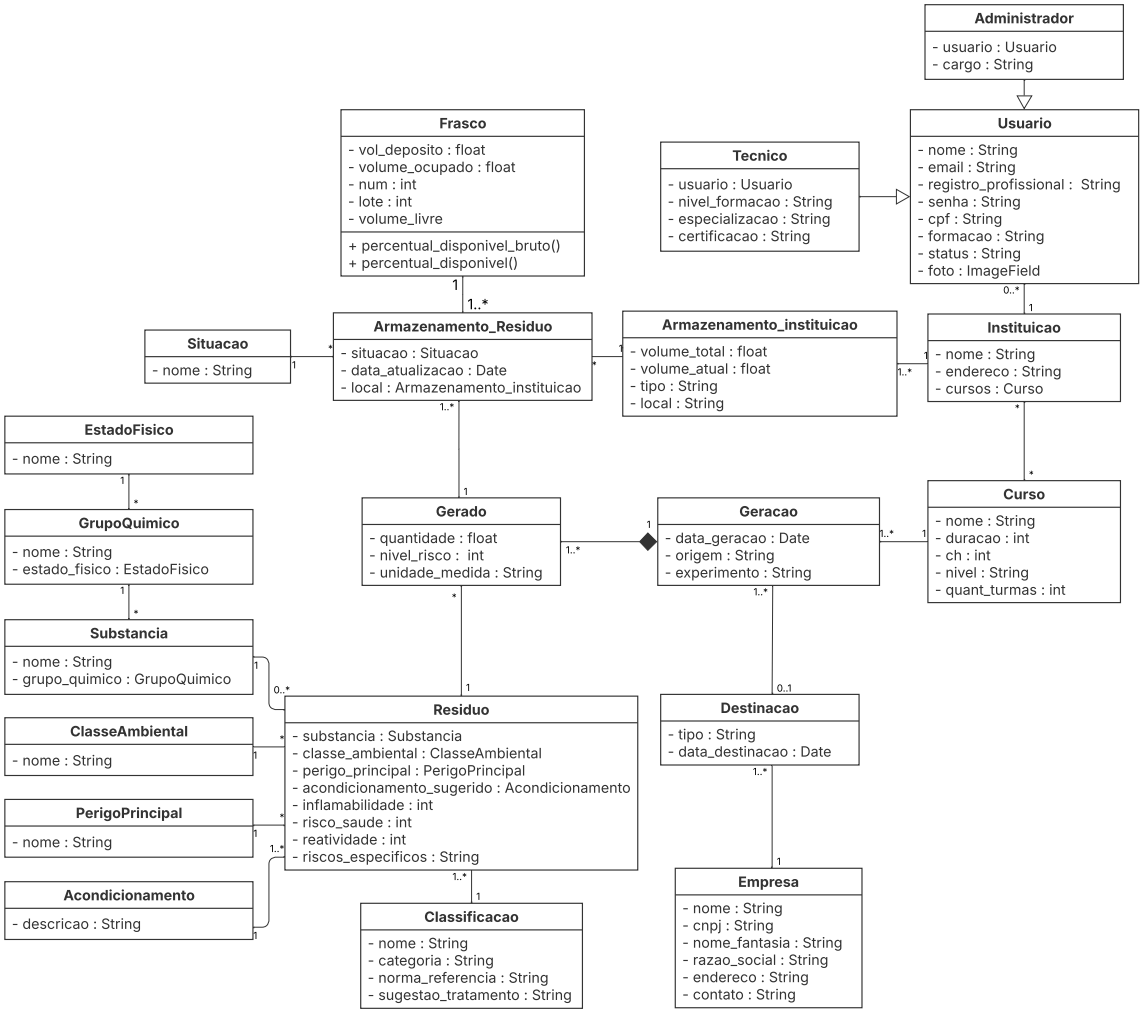


Figura 5. Diagrama de Classes.

Essa etapa possibilitou representar de forma consistente as informações desde a geração até o descarte, promovendo rastreabilidade e coerência entre as etapas operacionais. Além disso, serviu como base técnica para o desenvolvimento do banco de dados e das interfaces, configurando um dos resultados intermediários do projeto.

5.3. Prototipação e Validação com Usuários

Os protótipos desenvolvidos em Canva e Figma foram fundamentais para materializar o sistema. O primeiro (Figura 6 à esquerda) validou conceitos iniciais de interface, enquanto o segundo (Figura 6 à direita) permitiu navegação e testes interativos com stakeholders. As validações obtiveram a aprovação dos três profissionais envolvidos quanto à interface e à navegação, mostrando que os fluxos eram compreensíveis.

Foram apontados quatro ajustes específicos do domínio de aplicação, como relatórios com data/hora de exportação, filtros avançados, botão de frascos já cadastrados e redefinição de permissões, que foram posteriormente integrados ao sistema.

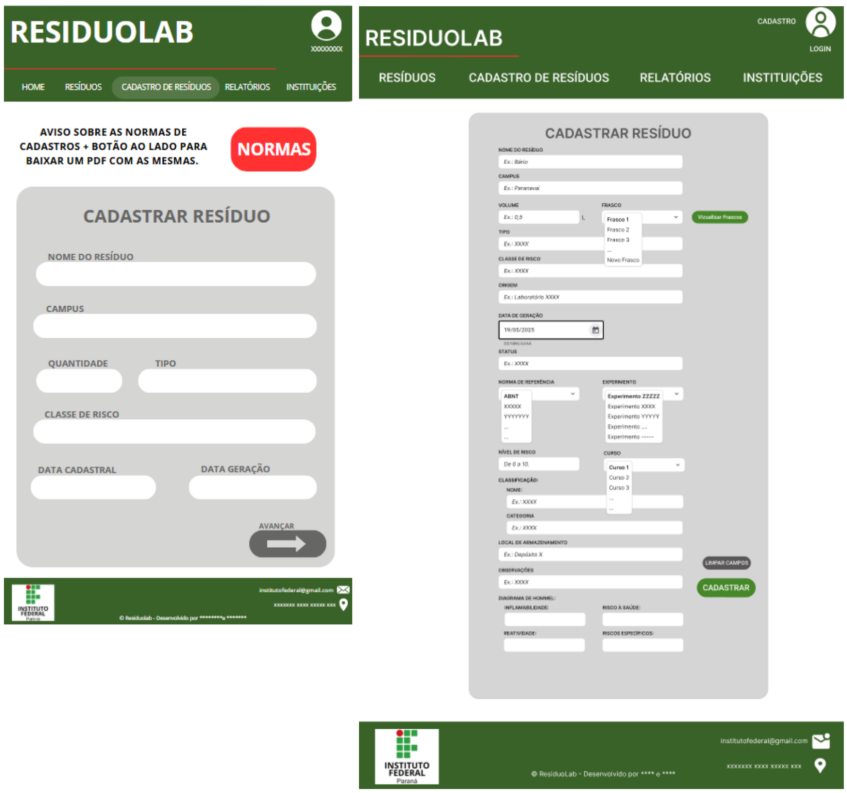


Figura 6. Protótipo do Canva (à esquerda) e do Figma (à direita).

5.4. Implementação e Considerações Técnicas

A etapa de implementação, ainda em andamento, consolidou o banco de dados em SQLite e a camada de interface em Bootstrap (Figura 7), e atualmente avança nos ajustes do *backend* em Python/Django. Embora o desenvolvimento esteja em progresso, já é possível observar a estrutura funcional do sistema e a coerência entre o design e as regras de negócio. O protótipo dinâmico, validado previamente com os stakeholders, orienta diretamente a implementação e contribui para mantê-la alinhada às rotinas levantadas junto aos stakeholders sobre o controle de resíduos em laboratório.

O sistema prioriza a conformidade com os requisitos levantados, e os testes de desempenho e escalabilidade estão previstos para etapas posteriores, a fim de verificar o comportamento do banco de dados sob carga elevada. Da mesma forma, a segurança de dados exige aprimoramentos, com a adoção de políticas de codificação segura e conformidade integral à Lei Geral de Proteção de Dados (LGPD). Além disso, por se tratar de uma solução independente, a ausência de integração automática com sistemas institucionais pode demandar ações manuais, como o desligamento de usuários inativos ou transferidos.

Esses aspectos constituem o foco das próximas etapas, que incluem a implantação piloto e a coleta de dados de uso real para validação completa da solução e otimização da infraestrutura. O cronograma de implementação prevê a conclusão do desenvolvimento até dezembro de 2026, seguida da fase de testes piloto no primeiro trimestre de 2027, com ajustes finais e disponibilização da versão funcional para uso institucional até o meio de 2027. Essa organização temporal assegura a continuidade das atividades e o acompanhamento efetivo do progresso pela equipe multidisciplinar envolvida.

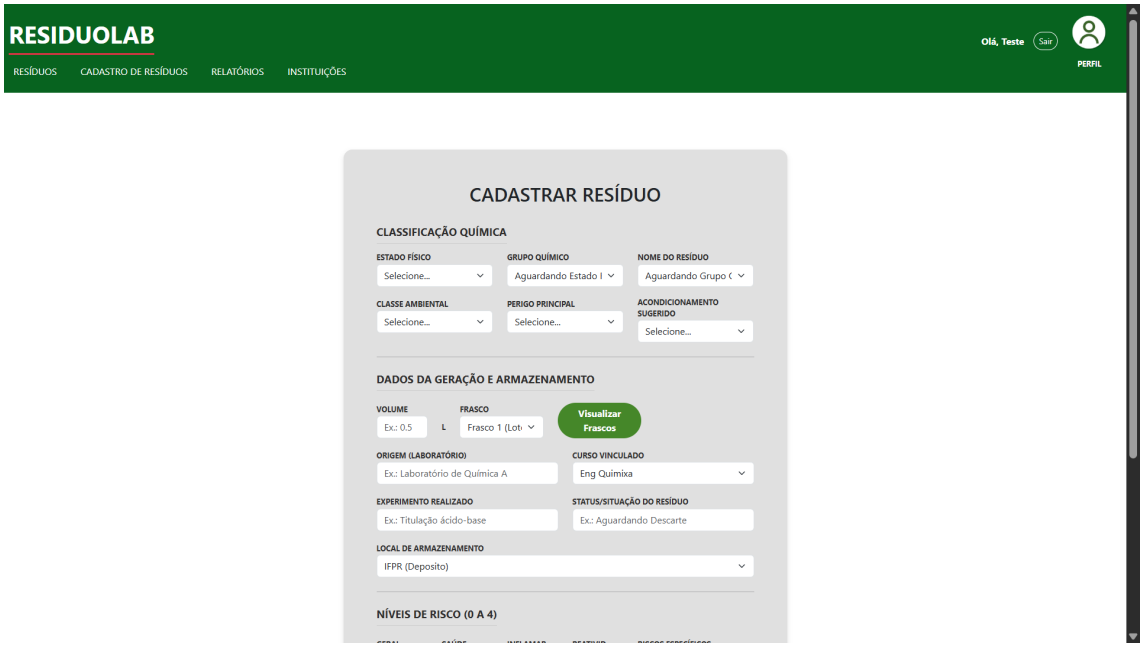


Figura 7. *Frontend* de cadastro de resíduos do desenvolvimento atual.

5.5. Apresentação Institucional e Valor Pedagógico

O protótipo interativo foi apresentado em duas edições do Seminário de Integração das Pesquisas do Núcleo Base (SIPEN) do IFPR, em 2025 e 2026, bem como na Semana de Tecnologia da Informação do IFPR Campus Paranavaí (SETIF) de 2025 (Figura 8). A interação de alunos, professores e avaliadores permitiu divulgar o protótipo, receber diferentes percepções sobre o projeto e ampliar a discussão sobre a aplicabilidade da solução, não apenas como ferramenta de gestão, mas também como recurso pedagógico para sensibilização de estudantes quanto à rotulagem, classificação de risco e responsabilidade ambiental.



Figura 8. Apresentação do protótipo em eventos do IFPR - Campus Paranavaí.

6. Conclusões

O desenvolvimento do ResiduoLab ChemSafe destaca a importância de aplicar metodologias consolidadas de Engenharia de Software ao contexto do gerenciamento de resíduos químicos em instituições de ensino. Mais do que o produto final, o projeto representa um processo estruturado, colaborativo e multidisciplinar, que integrou conhecimentos de Química, Segurança do Trabalho e Computação em um fluxo coerente de levantamento de requisitos, modelagem e validação participativa.

A principal contribuição deste trabalho reside na metodologia adotada, que permitiu transformar necessidades do domínio laboratorial em especificações técnicas claras, representadas por meio de modelagem UML, prototipação interativa e validação contínua com stakeholders. Esse processo favoreceu o alinhamento entre os objetivos ambientais e as soluções digitais propostas, fortalecendo a aderência da aplicação às rotinas dos laboratórios.

O projeto também destaca o papel formativo e pedagógico da própria construção do sistema, ao promover um ambiente de aprendizagem aplicada entre estudantes e profissionais de diferentes áreas, reforçando o vínculo entre ensino, pesquisa e extensão. Essa integração contribui para o avanço das competências técnicas e socioambientais, fomentando uma cultura de inovação e sustentabilidade.

Além disso, o ResiduoLab ChemSafe se alinha às metas dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), especialmente aos ODS 4, 9, 11 e 12, ao propor práticas de gestão responsáveis, eficientes e conscientes do impacto ambiental dos resíduos químicos. Embora o sistema ainda se encontre em fase de implementação, sua estrutura conceitual e técnica já indica potencial de replicabilidade e evolução para uso em rede entre diferentes instituições públicas. Portanto, como trabalhos futuros, sugere-se o estudo da Interação Humano-Computador (IHC), a implementação piloto no IFPR - Campus Paranavaí, os testes de desempenho e a expansão para outras instituições de ensino.

Por fim, o projeto ilustra que a Engenharia de Software pode atuar como um vetor estratégico de sustentabilidade, ao transformar processos manuais e vulneráveis em fluxos digitais seguros, auditáveis e participativos. Essa experiência reitera a capacidade de soluções tecnológicas bem planejadas como instrumentos de educação, gestão e responsabilidade ambiental.

Referências

ABNT (2004). *NBR 10.004: Classificação de Resíduos Sólidos*. ABNT, Rio de Janeiro.

Amadi, C. C., Okeke, O. C., and Amadi, D. C. (2017). Hazardous waste management: A review of principles and methods. *International Journal of Advanced Academic Research – Sciences, Technology & Engineering*, 3:1–20.

Andrade, M. Z. (2008). *Segurança em laboratórios químicos e biotecnológicos*. Educs, Caxias do Sul.

Babar, Z. B., Haider, R., and Sattar, H. (2022). Conventional and emerging practices in hazardous waste management. In Shareefdeen, Z., editor, *Hazardous Waste Management*, pages 57–93. Springer, Cham.

Borguezani Carvalho, G., Carvalho Fernandes, A. M., and Schwambach, C. (2024). MYND: Aplicativo que visa Amenizar a Dependência de Smartphones. *Anais Simpósio De Pesquisa E Seminário De Iniciação Científica*, 8(1).

CONAMA (2005). *Resolução n. 357 de 17/03/2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências*.

CONAMA (2011). *Resolução n. 430 de 13/05/2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução n. 357, de 17 de março de 2005*.

EMBRAPA (2018). *Manual de gerenciamento de resíduos químicos*. Embrapa Gado de Leite, Juiz de Fora.

Freeman, H. M. (1998). *Standard Handbook of Hazardous Waste Treatment and Disposal*. McGraw-Hill, New York.

Instituto Butantan (2014). *Guia prático de descarte de resíduos*. São Paulo, 1 edition.

Jardim, W. F. (1998). Gerenciamento de resíduos químicos em laboratórios de ensino e pesquisa. *Química Nova*, 21:671–673.

Luoma, S. M. and Rainbow, P. S. (2005). Why is metal bioaccumulation so variable? biodynamics as a unifying concept. *Environmental Science Technology*, 39(7):1921–1931.

Shanshan, L. et al. (2023). Cloud-based smart parking system using internet of things. In *Proceedings of the 2023 International Wireless Communications and Mobile Computing (IWCMC)*, pages 1377–1382. IEEE.