

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS ITAQUI
CURSO DE BACHARELADO INTERDISCIPLINAR EM CIÊNCIA E TECNOLOGIA**

CKAROLYNE ANDRADE DA SILVA

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM ÁREAS DE SEPULTAMENTO:
RESULTADOS E DISCUSSÕES BASEADAS NA LITERATURA**

**ITAQUI
2025**

CKAROLYNE ANDRADE DA SILVA

**DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM ÁREAS DE SEPULTAMENTO:
RESULTADOS E DISCUSSÕES BASEADAS NA LITERATURA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharela em Ciência e Tecnologia.

Orientador: Dr. Paulo Jorge de Pinho

**ITAQUI
2025**

Ficha catalográfica elaborada automaticamente com os dados fornecidos pelo(a) autor(a) através do Módulo de Biblioteca do Sistema GURI (Gestão Unificada de Recursos Institucionais).

S1221c Silva, Ckarolyne Andrade da
Diagnóstico Ambiental em Áreas de Sepultamento: Resultados e Discussões Baseadas na Literatura / Ckarolyne Andrade da Silva. – 2025. 48p.

Orientador: Paulo Jorge de Pinho.
Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pampa, Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia, Campus Itaqui, 2025.

1. Cemitério. 2. Necrochorume. 3. Água subterrânea I. Silva, Ckarolyne Andrade da. II. Título.

CKAROLYNE ANDRADE DA SILVA

DIAGNÓSTICO AMBIENTAL EM ÁREAS DE SEPULTAMENTO: RESULTADOS E DISCUSSÕES BASEADAS NA LITERATURA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Bacharelado Interdisciplinar em Ciência e Tecnologia da Universidade Federal do Pampa, como requisito parcial para obtenção do Título de Bacharel em Ciência e Tecnologia.

Área de concentração: Ciência e Tecnologia.

Trabalho de Conclusão de Curso defendido e aprovado em: 27 de junho de 2025.

Banca examinadora:



Documento assinado digitalmente

PAULO JORGE DE PINHO

Data: 07/07/2025 17:20:30-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Paulo Jorge de Pinho
Orientador
Universidade Federal do Pampa (Uninamna)



Documento assinado digitalmente

ELOIR MISSIO

Data: 07/07/2025 19:28:17-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Eloir Missio
Universidade Federal do Pampa (Unipampa)



Documento assinado digitalmente

SIDNEI LUIS BOHN GASS

Data: 07/07/2025 18:44:32-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Sidnei Luis Bohn Gass
Universidade Federal do Pampa (Unipampa)

ITAQUI
2025

“A escravidão animal deveria ser enterrada, juntamente com a escravidão humana, no cemitério do passado.”

Peter Singer.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente, gostaria de expressar minha gratidão aos meus familiares, em especial, aos meus pais (Carlos e Conceição) e aos meus irmãos (Vinícius, Matheus, William e Calbert), por todo apoio e incentivo ao longo dessa jornada. Mesmo nos momentos em que eu duvidava de mim mesma, vocês acreditaram no meu potencial.

Também deixo meus mais sinceros agradecimentos aos meus professores. Em especial, gostaria de agradecer o professor Paulo Pinho, meu orientador, pela paciência, dedicação e orientação.

Aos amigos maravilhosos que fiz durante essa caminhada, meu muito obrigada por cada momento que compartilhamos, pelas conversas, pelas risadas, pelo apoio e pelos conselhos que tornaram essa trajetória muito mais leve e especial. Em especial, eu gostaria de agradecer ao Yuri, Zed, Natalia e Felipe - cada um de vocês deixou uma marca muito importante na minha vida e no meu coração.

Todos os momentos que passei na Unipampa foram transformadores. Esses quase 4 anos me ajudaram a amadurecer, e a compreender melhor quem eu sou e o que desejo para meu futuro. Levarei comigo não apenas o conhecimento que adquiri, mas também muitas memórias e laços construídos.

Todos que fizeram parte dessa etapa da minha vida terão para sempre um lugar especial em minha memória e em meu coração.

RESUMO

Cemitérios, embora cumpram funções sociais e culturais essenciais, representam potenciais fontes de contaminação ambiental, especialmente quando instalados sem critérios técnicos em áreas com solos permeáveis e lençol freático superficial. A decomposição cadavérica gera o necrochorume, um efluente altamente complexo e poluente, composto por substâncias orgânicas e inorgânicas, microrganismos patogênicos, fármacos e metais pesados. Esse fluido tem alta mobilidade em solos arenosos ou com baixa capacidade de troca de cátions (CTC), o que favorece sua infiltração e contaminação de aquíferos, comprometendo a qualidade da água subterrânea e a saúde pública. O diagnóstico ambiental em áreas de sepultamento baseia-se em uma revisão sistemática de 32 estudos técnico-científicos, sendo 24 nacionais e 8 internacionais, publicados entre 2000 e 2025. A pesquisa reúne evidências empíricas e normativas sobre os impactos ambientais provocados por cemitérios, com foco na caracterização físico-química e microbiológica do necrochorume, nas propriedades edáficas que condicionam sua mobilidade e nos parâmetros ambientais de solo e água subterrânea, em comparação com os valores máximos permitidos estabelecidos pelas Resoluções CONAMA nº 335/2003, 396/2008 e 420/2009. A análise revelou que diversos cemitérios avaliados estão situados sobre Latossolos, Neossolos e Nitossolos, frequentemente sem impermeabilização, drenagem ou monitoramento. Métodos multicritério, como DRASTIC, GOD, AHP e TOPSIS, foram aplicados em alguns estudos para quantificar o risco de contaminação hídrica, indicando alta vulnerabilidade em áreas urbanas densamente povoadas. A presença recorrente de nitrato (>10 mg/L), coliformes termotolerantes, metais como ferro (Fe), chumbo (Pb), cádmio (Cd) e valores elevados de Demanda Biológica de Oxigênio (DBO) e Demanda Química de Oxigênio (DQO) em águas subterrâneas reforça a urgência de medidas preventivas e corretivas. Além da avaliação técnica, o trabalho integra aspectos legais e urbanísticos, evidenciando que a implantação inadequada de cemitérios configura violação às leis ambientais vigentes (Lei nº 6.938/1981, Lei nº 10.257/2001, Lei nº 9.605/1998). A ausência de critérios de seleção geotécnica e hidrogeológica na escolha dos terrenos agrava os riscos, exigindo a adoção de estratégias integradas de gestão ambiental. Portanto, a gestão sustentável de cemitérios demanda uma abordagem interdisciplinar, envolvendo ciências ambientais, saúde pública e

engenharia. Recomenda-se o estabelecimento de diretrizes baseadas na vulnerabilidade do solo, na profundidade da zona não saturada e na qualidade da água, bem como na implementação de sistemas de contenção e monitoramento permanente. Ao consolidar os achados da literatura e discutir suas implicações, este trabalho oferece subsídios técnicos e legais para o planejamento ambientalmente seguro de áreas de sepultamento, contribuindo para a proteção dos recursos hídricos e o bem-estar coletivo.

Palavras-Chave: Cemitérios. Necrochorume. Água subterrânea.

ABSTRACT

Cemeteries, while fulfilling essential social and cultural roles, represent potential sources of environmental contamination, particularly when installed without technical criteria in areas with permeable soils and shallow water tables. The decomposition of human remains generates necroleachate, a highly complex and polluting effluent composed of organic and inorganic substances, pathogenic microorganisms, pharmaceuticals, and heavy metals. This fluid exhibits high mobility in sandy soils or those with low cation exchange capacity (CEC), favoring infiltration and aquifer contamination, thereby compromising groundwater quality and public health. The environmental diagnosis of burial areas presented in this study is based on a systematic review of 32 technical-scientific studies — 24 national and 8 international — published between 2000 and 2025. The research compiles empirical and regulatory evidence on the environmental impacts caused by cemeteries, focusing on the physicochemical and microbiological characterization of necroleachate, the edaphic properties that influence its mobility, and the environmental parameters of soil and groundwater, in comparison with the maximum permissible limits established by Brazilian environmental regulations (CONAMA Resolutions nº. 335/2003, 396/2008, and 420/2009). The analysis revealed that many cemeteries are located on Latosols, Neosols, and Nitisols, often without impermeabilization, drainage, or environmental monitoring. Multi-criteria methods such as DRASTIC, GOD, AHP, and TOPSIS were applied in some studies to assess groundwater contamination risk, indicating high vulnerability in densely populated urban areas. The recurrent presence of nitrate (>10 mg/L), thermotolerant coliforms, heavy metals such as iron, lead, and cadmium, and elevated levels of BOD and COD in groundwater highlight the urgency of preventive and corrective measures. In addition to the technical evaluation, this study integrates legal and urban planning aspects, demonstrating that the inadequate implementation of cemeteries constitutes a violation of current environmental laws (Law No. 6.938/1981, Law No. 10.257/2001, and Law No. 9.605/1998). The lack of geotechnical and hydrogeological site selection criteria increases the risks, requiring the adoption of integrated environmental management strategies. Therefore, sustainable cemetery management demands an interdisciplinary approach, involving environmental sciences, public health, and engineering. It is recommended to establish guidelines based on soil vulnerability,

unsaturated zone depth, and water quality, as well as implement containment systems and permanent monitoring. By consolidating findings from the literature and discussing their implications, this work provides technical and legal support for environmentally safe planning of burial areas, contributing to the protection of water resources and collective well-being.

Keywords: Cemeteries. Necroleachate. Groundwater.

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Faixas de pH e sua influência sobre nutrientes	19
Tabela 2 - Capacidade de troca de cátions (CTC) por tipo de argila	20
Tabela 3 - Tabela 3 - Parâmetros de qualidade da água e seus respectivos VMPs para o uso de consumo humano	31

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	12
1.1. OBJETIVOS	13
1.1.1. Objetivo geral	13
1.1.2. Objetivos específicos	13
1.2. JUSTIFICATIVA	14
2. REVISÃO DE LITERATURA	16
2.1. CEMITÉRIOS	16
2.2. SOLOS PARA INSTALAÇÃO DE CEMITÉRIOS	18
2.3. CRITÉRIOS AMBIENTAIS, URBANÍSTICOS E SANITÁRIOS	27
2.4. NECROCHORUME	33
3. MATERIAL E MÉTODOS	34
3.1. DELINEAMENTO DA PESQUISA	34
3.2. ESTRATÉGIA DE COLETA E SELEÇÃO DOS DADOS	35
3.3. CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO	35
3.4. PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE	35
3.5. SÍNTESE E ORGANIZAÇÃO DOS RESULTADOS	36
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
5. CONSIDERAÇÕES FINAIS	42
6. REFERÊNCIAS	44

1. INTRODUÇÃO

Há evidências de que os neandertais já realizavam práticas de sepultamento, demonstrando que o ato de enterrar os mortos antecede em milhares de anos o surgimento da agricultura e da urbanização organizada (MOTA JÚNIOR, 2012). O que hoje é visto como um costume cultural consolidado, no passado teve origem como uma necessidade sanitária e simbólica. Apesar da antiguidade desse hábito, o tema da morte ainda é permeado por tabus, o que dificulta o debate técnico e científico sobre os impactos ambientais dos cemitérios. A implantação de necrópoles, muitas vezes negligenciada, requer planejamento minucioso, uma vez que os processos de decomposição cadavérica envolvem a liberação de compostos químicos e carga microbiológica — como metais pesados, microrganismos patógenos e o necrochorume — que podem infiltrar-se nos solos e atingir os lençóis freáticos, contaminando água potável e colocando em risco a saúde coletiva (KEMERICH et al., 2014; NASCIMENTO et al., 2018; ROCHA, 2016).

A decomposição dos corpos ocorre em estágios fisiológicos e ambientais diversos, podendo se estender por meses mesmo em ambientes bem projetados. Esse processo libera substâncias altamente poluentes, que, em solos com alta permeabilidade ou baixa capacidade de troca catiônica (como Neossolos Quartzarênicos ou Latossolos arenosos), se deslocam com facilidade para reservatórios subterrâneos (FRANTZ, 2005; FURTADO, 2007; SANTOS, 2014). Diante disso, é essencial que a escolha da área para instalação de cemitérios leve em consideração análises detalhadas do tipo de solo, profundidade do lençol freático, permeabilidade e risco ambiental. O cumprimento da legislação ambiental, como a Resolução CONAMA nº 335/2003 e a Lei nº 6.938/1981, aliada à aplicação de métodos técnicos, torna-se indispensável para a mitigação dos impactos ambientais e a preservação da saúde pública. Esta revisão, portanto, tem por objetivo reunir os principais achados científicos sobre os impactos ambientais dos cemitérios e relacioná-los aos atributos do solo, contribuindo para um planejamento mais seguro e sustentável desses espaços.

O problema da pesquisa está relacionado à ausência ou insuficiência de critérios técnicos e legais na instalação e gestão de cemitérios, especialmente em áreas urbanas e periurbanas, o que pode resultar em contaminação do solo e das

águas subterrâneas por necrochorume, metais pesados, patógenos e outros poluentes.

Essa falha de planejamento pode comprometer a qualidade ambiental, a saúde pública e os recursos hídricos, violando princípios constitucionais e legais de proteção ambiental (Constituição Federal de 1988, a Lei nº 6.766/1979, a Lei nº 6.938/1981, Resoluções CONAMA nº 335/2003, nº 396/2008 e nº 420/2009). Apesar das normas existentes, muitos cemitérios são construídos em solos inadequados, como arenosos ou altamente permeáveis, sem impermeabilização ou monitoramento, o que agrava os riscos ambientais.

Apesar da existência de normas ambientais e urbanísticas que estabelecem critérios para a localização e operação de cemitérios, observa-se, na prática, a recorrente implantação dessas estruturas em áreas com alta vulnerabilidade edáfica e hidrogeológica, como solos arenosos e com lençol freático superficial, frequentemente sem impermeabilização, drenagem ou monitoramento adequado. Diante desse cenário, coloca-se a seguinte questão: em que medida a não observância dos critérios técnico-legais estabelecidos contribui para a contaminação do solo e das águas subterrâneas em áreas de sepultamento, e quais diretrizes poderiam ser aprimoradas para garantir uma gestão ambientalmente segura desses espaços?

1.1. OBJETIVOS

1.1.1. Objetivo geral

Realizar uma revisão de literatura técnico-científica sobre os impactos ambientais associados à instalação e operação de cemitérios, com ênfase na contaminação do solo e das águas subterrâneas, considerando os aspectos legais, geotécnicos e sanitários envolvidos.

1.1.2. Objetivos específicos

Identificar e analisar a legislação ambiental e urbanística vigente relacionada ao licenciamento, planejamento e monitoramento de cemitérios;

Caracterizar os principais tipos de solo e sua aptidão ou restrição para uso como área de sepultamento, com base em critérios físico-químicos, estruturais e de permeabilidade;

Avaliar os principais contaminantes associados ao necrochorume e sua dinâmica no meio edáfico e hídrico;

Comparar os achados da literatura nacional e internacional quanto aos riscos ambientais e às metodologias utilizadas para diagnóstico e mitigação desses impactos;

Propor diretrizes técnico-legais para o manejo adequado de cemitérios em conformidade com os princípios da precaução, prevenção e gestão ambiental integrada.

1.2. JUSTIFICATIVA

Embora envolto em tabus socioculturais, o debate sobre os impactos ambientais decorrentes da má instalação e da gestão inadequada de cemitérios revela-se urgente, sobretudo em contextos urbanos e periurbanos. Diversas pesquisas demonstram que cemitérios implantados sem critérios técnicos de natureza pedológica, geológica e hidrogeológica podem tornar-se fontes significativas de contaminação do meio físico, afetando o solo, os aquíferos e, conseqüentemente, a saúde pública (KEMERICH et al., 2014; FRANTZ, 2005; LINHARES, 2012; ZINA, 2015). A decomposição cadavérica libera necrochorume — efluente altamente poluente, composto por matéria orgânica, metais pesados, coliformes fecais, vírus e compostos nitrogenados — que, ao infiltrar-se em solos porosos, pode atingir o lençol freático e comprometer a qualidade da água potável (MATOS, 2001; ROCHA, 2016; FORMIGA, 2015; SILVA, 2006).

Além dos danos ambientais diretos, há implicações sanitárias e sociais relevantes, uma vez que populações residentes no entorno dos cemitérios, bem como trabalhadores e visitantes, estão potencialmente expostas a patógenos e contaminantes em concentrações superiores aos limites estabelecidos por normas como as Resoluções CONAMA nº 396/2008 e nº 420/2009. Estudos internacionais corroboram essa preocupação, reforçando a necessidade de um planejamento urbano criterioso, da utilização de barreiras de contenção, da aplicação de métodos de avaliação de risco ambiental — como os modelos DRASTIC e GOD — e do

cumprimento rigoroso das legislações específicas voltadas à mitigação dos impactos provocados por necrópoles (PAVLENKO, 2020; DEMIRBAS et al., 2022; FERNANDES et al., 2023).

2. REVISÃO DE LITERATURA

A revisão de literatura deste trabalho está estruturada em quatro eixos temáticos principais, que dialogam entre si para oferecer uma compreensão ampla e integrada dos impactos ambientais associados à instalação de cemitérios. Inicialmente, aborda-se o contexto histórico e urbanístico dos cemitérios, destacando sua evolução desde práticas ancestrais até os desafios atuais decorrentes da expansão urbana desordenada.

A segunda temática aborda os atributos físico-químicos dos solos, com ênfase na classificação pedológica e na aptidão dos diferentes tipos de solo para uso como área de sepultamento, considerando fatores como pH, capacidade de troca catiônica (CTC), permeabilidade e mineralogia. No terceiro eixo, são analisados os critérios legais, ambientais, urbanísticos e sanitários estabelecidos por legislações nacionais e normas técnicas, incluindo as Resoluções CONAMA e a ABNT NBR 13896/1997, evidenciando a necessidade de planejamento e licenciamento adequado.

Por fim, a revisão concentra-se na caracterização do necrochorume, suas propriedades físico-químicas e microbiológicas, bem como sua dinâmica no ambiente edáfico e potencial de contaminação de águas subterrâneas. Essa organização visa estabelecer uma base teórico-metodológica sólida para análise crítica dos estudos de caso selecionados e proposição de diretrizes técnico-legais para o manejo ambientalmente seguro de cemitérios.

2.1. CEMITÉRIOS

Os cemitérios constituem uma das primeiras instituições permanentes criadas pela humanidade, tendo surgido há mais de 100 mil anos com a função de alocar corpos, sendo a “cidade dos mortos” historicamente anterior à “cidade dos vivos” (MOTA JÚNIOR, 2012). Seu surgimento pode estar relacionado ao fim do nomadismo, quando surgiu a necessidade de sepultar os mortos de maneira fixa, antes mesmo do advento da agricultura. Inicialmente, esses espaços eram implantados em locais afastados dos núcleos urbanos, mas com o crescimento desordenado das cidades, foram progressivamente englobados pela malha urbana (MOTA JÚNIOR, 2012; MORANDI, 2022).

Segundo Stipp et al. (2015) os cemitérios sempre estiveram ligados à preservação da memória dos mortos, o que, por muito tempo, impediu o desenvolvimento de estudos científicos mais aprofundados sobre seus impactos. Essa perspectiva começou a se modificar a partir do século XVIII, quando, impulsionado por surtos de doenças como peste, cólera e tuberculose, e pelas ideias iluministas e higienistas, passou-se a criticar o sepultamento intraurbano. Tal movimento deu origem à prática de localizar os cemitérios em áreas periféricas, mais afastadas das residências e fontes de água (NASCIMENTO et al., 2018; ROCHA, 2016).

Rocha (2016) traça uma linha histórica detalhada das práticas funerárias, desde os enterramentos em cavernas nas civilizações mesopotâmicas, egípcias e greco-romanas, até os sepultamentos nos átrios das igrejas durante a Idade Média. Esses últimos, devido à sua proximidade com áreas densamente povoadas, contribuíram para surtos sanitários, o que culminou em mudanças legislativas e no afastamento dos cemitérios para zonas urbanas periféricas.

No entanto, como observam Kemerich et al. (2014), essa reestruturação teve efeitos apenas temporários, uma vez que o crescimento urbano descontrolado fez com que os cemitérios voltassem a ser incorporados pela expansão das cidades. A pesquisa de caso no Cemitério São Pedro, em Londrina/PR, por exemplo, evidencia impactos ambientais significativos como a contaminação do solo e da água subterrânea por necrochorume e microrganismos patogênicos, que podem se propagar por mais de 100 metros além de seus limites.

Tais mudanças de uso e ocupação territorial geraram ainda consequências urbanísticas, como a desvalorização imobiliária, a descaracterização da paisagem original, alterações no relevo, poluição visual e aumento da presença de vetores biológicos (como pombos, baratas e formigas), conforme evidenciado por Nascimento et al. (2018) e Stipp et al. (2015). Esses impactos reforçam a necessidade de medidas corretivas e preventivas nas áreas urbanas densamente ocupadas.

Rocha (2016) enfatiza que, apesar da evolução normativa, a escolha dos terrenos para cemitérios continua sendo fortemente influenciada por critérios econômicos e disponibilidade fundiária, em detrimento de critérios ambientais, sanitários e urbanísticos. Como consequência, esses espaços deixaram de ser apenas locais simbólicos e passaram a representar focos de risco ambiental,

especialmente quando localizados sobre solos permeáveis, com lençol freático raso ou ausência de planejamento urbano adequado.

Por fim, Mota Júnior (2012) destaca que, para mitigar os impactos negativos dos cemitérios tradicionais, observa-se uma tendência recente na implantação de cemitérios-parque em áreas verdes periféricas, visando maior integração paisagística e aceitabilidade social. Ainda assim, reforça-se a necessidade de incorporar avaliações técnicas mais rigorosas na escolha de seus locais, observando aspectos ambientais, relacionados aos solos, recursos hídricos e de saúde pública.

A literatura pesquisada evidencia que os cemitérios, quando implantados em áreas com solos inadequados e sem adoção de técnicas de proteção ambiental, constituem fontes significativas de contaminação do solo e da água subterrânea, principalmente devido à percolação do necrochorume — fluido altamente poluente oriundo da decomposição cadavérica. Solos classificados como Neossolos Quartzarênicos, Latossolos arenosos e outros com alta permeabilidade e baixa CTC são frequentemente mencionados como inapropriados para atividades de sepultamento, pois permitem a infiltração rápida de contaminantes até os lençóis freáticos (FRANTZ, 2005; FURTADO, 2007; SANTOS, 2014; LINHARES, 2012).

2.2. SOLOS PARA INSTALAÇÃO DE CEMITÉRIOS

O solo é um corpo natural dinâmico, tridimensional e organizado, resultante da transformação física, química e biológica de materiais minerais e orgânicos da crosta terrestre, sob influência dos chamados fatores de formação: clima, organismos, relevo, material de origem e tempo (SANTOS et al., 2018). O solo apresenta variações verticais e horizontais em suas propriedades morfológicas, físicas, químicas e biológicas, formando unidades diferenciadas que compõem a paisagem terrestre (PINHEIRO JUNIOR et al., 2020).

Ao contrário de um material inerte, o solo atua como sistema poroso e reativo, com capacidade de sustentar a vegetação, regular ciclos biogeoquímicos, filtrar e armazenar água, reter nutrientes e atuar na dinâmica de gases (DIONÍSIO et al., 2016). Seu processo formativo é contínuo e depende dos processos pedogenéticos, cuja intensidade e tipo de transformação depende da interação entre seus fatores de origem (SANTOS et al., 2018). A velocidade desses processos e a natureza dos

solos resultantes variam conforme o contexto climático, a topografia e o tipo de material de origem (PINHEIRO JUNIOR et al., 2020; TORRADO, 2020).

O solo, por sua composição mineralógica e biológica, possui propriedades físico-químicas essenciais para o funcionamento dos ecossistemas e o desempenho agrícola, dentre as quais se destacam o potencial hidrogeniônico (pH), a capacidade de troca de cátions (CTC), a presença de elementos essenciais e metais pesados, a permeabilidade, e o comportamento de compostos orgânicos e inorgânicos em suas fases sólida, líquida e gasosa.

O pH do solo é um dos principais indicadores de reatividade química e acidez ativa, influenciando diretamente a solubilidade dos nutrientes e metais, a atividade microbiana e o desenvolvimento vegetal. Solos com pH inferior a 5,5 tendem a apresentar alumínio (Al) tóxico em solução, além de baixa disponibilidade de fósforo (P), cálcio (Ca) e magnésio (Mg), enquanto solos com pH elevado podem favorecer a precipitação de micronutrientes catiônicos como Fe e zinco (Zn) (RONQUIM, 2010; RODRIGUES; CORREIA, 2022).

A Tabela 1 apresenta as faixas de pH do solo e sua influência na disponibilidade de nutrientes, evidenciando como a acidez ou alcalinidade do solo afeta o equilíbrio químico e a nutrição das plantas, além de reações que podem favorecer ou limitar a mobilidade de contaminantes.

Tabela 1 - Faixas de pH e sua influência sobre nutrientes

Faixa de pH	Nutrientes disponíveis	Nutrientes limitados	Reações típicas
< 5,5	Mn, Fe, Al, Cu	P, Ca, Mg	Al ³⁺ tóxico
5,5–6,5	N, P, K, Ca, Mg	Zn, B moderados	Ideal agrícola
> 7,0	Ca, Mg	Cu, Fe, Mn, Zn, B	Precipitação de P e micronutrientes catiônicos

Fonte: Adaptado de RODRIGUES; CORREIA (2022); RONQUIM (2010).

A capacidade de troca de cátions (CTC) representa a habilidade do solo em reter e disponibilizar nutrientes como Ca, Mg, potássio (K) e nitrogênio (N) na forma amoniacal (NH₄⁺) em sua superfície coloidal. Essa capacidade está relacionada à textura do solo, teor de matéria orgânica e mineralogia da fração argila. Solos dominados por argilas tipo 1:1, como a caulinita, apresentam CTC baixa, enquanto

solos com argilas 2:1, como montmorilonita ou illita, ou com altos teores de húmus, exibem CTC elevada (SANTOS et al., 2018; TIECHER, 2015).

A Tabela 2 apresenta a Capacidade de Troca de Cátions (CTC) em diferentes tipos de argila, expressa em cmol_c/kg , destacando o potencial de cada tipo de argila em reter e disponibilizar nutrientes no solo. A CTC é um dos principais indicadores da fertilidade do solo, influenciando diretamente a retenção de íons.

Tabela 2 - Capacidade de troca de cátions (CTC) por tipo de argila

Tipo de argila	CTC (cmol_c/kg)	Observações
Caulinita (1:1)	3–15	Baixa retenção de nutrientes
Illita (2:1)	20–40	Boa fertilidade
Montmorilonita (2:1)	80–150	Alta expansão e fertilidade
Óxidos de Fe/Al	< 5	Retenção seletiva (fixação P)

Fonte: SANTOS et al. (2018); TIECHER (2015).

Os teores de nutrientes no solo — como nitrogênio (N), fósforo (P), potássio (K), cálcio (Ca), magnésio (Mg), enxofre (S) — e os micronutrientes: ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), boro (B) e cobre (Cu) — dependem do material de origem, do grau de intemperismo, da matéria orgânica e do manejo aplicado. Solos tropicais intemperizados tendem a apresentar deficiência de P e micronutrientes, exigindo adubação estratégica. A presença de matéria orgânica melhora a retenção de nutrientes e reduz a fixação irreversível de P em óxidos de Fe e Al (DIONÍSIO et al., 2016; RONQUIM, 2010).

A química do solo também envolve o comportamento de íons, moléculas orgânicas e metais traço, os quais podem ser adsorvidos, complexados ou mobilizados por processos como sorção, precipitação, oxirredução e complexação. Esses processos controlam a mobilidade de compostos potencialmente tóxicos como chumbo, cádmio, arsênio e mercúrio, especialmente em solos com baixa capacidade tampão ou em ambientes com pH extremo (RODRIGUES; CORREIA, 2022; RONQUIM, 2010).

A permeabilidade do solo, influenciada pela estrutura, textura e conteúdo de matéria orgânica, determina a velocidade de infiltração da água e a drenagem interna. Solos com estrutura granular bem desenvolvida e textura média a grossa são altamente permeáveis, enquanto solos compactados, argilosos ou hidromórficos

apresentam baixa permeabilidade, favorecendo o encharcamento e a redução da oxigenação (SANTOS et al., 2018; IBGE, 2015).

Além disso, a atividade biológica e a presença de microrganismos edáficos contribuem para a ciclagem de nutrientes, formação de agregados e transformação de compostos orgânicos e inorgânicos, integrando os processos físicos e químicos do solo em um sistema funcional. A interação entre componentes minerais e orgânicos define, assim, a fertilidade, a qualidade ambiental e a capacidade de suporte do solo, aspectos fundamentais para o uso sustentável e para a prevenção da contaminação (DIONÍSIO et al., 2016; TIECHER, 2015).

O comportamento da água no solo está diretamente associado à sua estrutura física e composição mineralógica. A água pode estar presente nas formas gravitacional, capilar e higroscópica, sendo sua retenção e movimentação influenciadas pela granulometria, estrutura dos agregados e densidade do solo (RONQUIM, 2010; DIONÍSIO et al., 2016). Solos arenosos tendem a permitir maior percolação de água, enquanto solos argilosos retêm mais água, mas têm menor taxa de infiltração inicial. A presença de matéria orgânica e bioporos favorece a macroporosidade e o armazenamento de água disponível para as plantas (TIECHER, 2015; RODRIGUES; CORREIA, 2022). Em solos hidromórficos, como os Gleissolos, a saturação frequente pode levar à anoxia e modificação dos processos redox, afetando a mobilidade de nutrientes e metais traço. Assim, a condutividade hidráulica, a capacidade de campo e o ponto de murcha permanente são parâmetros essenciais na avaliação da aptidão de um solo para usos que exigem controle hídrico, como a instalação de cemitérios, onde o risco de contaminação de aquíferos exige atenção redobrada (SANTOS et al., 2018; PINHEIRO JUNIOR et al., 2020).

Essas propriedades físico-químicas do solo, como pH, CTC, teor de matéria orgânica, mineralogia da fração argila, grau de saturação por bases e comportamento hidrodinâmico, desempenham papel central na definição das classes e ordens do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS). A interação entre esses atributos reflete diretamente os processos pedogenéticos responsáveis pela formação e diferenciação dos horizontes diagnósticos, tais como os horizontes B textural, B nítico, B espódico, plíntico ou hístico, utilizados pelo SiBCS para classificar os solos em ordens (PINHEIRO JUNIOR et al., 2020; IBGE, 2015; TIECHER, 2015; RONQUIM, 2010).

Há duas formas de classificar os solos: a classificação natural e a classificação interpretativa. Segundo Mauro Resende et al. (2012), a classificação natural tem finalidade científica, buscando identificar, descrever e organizar os solos com base em suas características intrínsecas, como origem, formação, morfologia e propriedades físico-químicas. Já a classificação interpretativa parte da análise dessas características para avaliar o potencial de uso dos solos, orientando decisões práticas e aplicadas. Enquanto a classificação natural visa à compreensão do solo como um sistema, a classificação interpretativa considera apenas os atributos relevantes para determinado uso ou problema específico, priorizando a aplicabilidade funcional.

De acordo com o SiBCS, os solos do território nacional são organizados em 13 ordens, definidas com base em critérios morfológicos, físico-químicos e mineralógicos. Essa diversidade é reflexo da interação entre fatores de formação como clima, relevo, organismos, tempo e material de origem. No Brasil, destacam-se ordens como os Latossolos, Argissolos, Neossolos, Gleissolos e Cambissolos, cada qual com características próprias e distribuição geográfica associada a suas condições de gênese (CUNHA, 2020; SANTOS et al., 2018; IBGE, 2015).

Latossolos são os solos mais amplamente distribuídos no país. Devido à presença de argilas do tipo 1:1 (caulinita) e óxidos de Fe e Al. Latossolos distróficos possuem baixa CTC e baixo pH, exigindo correções para cultivo (RONQUIM, 2010). Caracterizam-se por intensa intemperização, alta porosidade, baixa fertilidade natural e coloração avermelhada ou amarelada. São comuns na Região Norte, Centro-Oeste e partes do Sudeste e Sul. Esse tipo de solo pode ser encontrado na região sul do Brasil, incluindo áreas da Fronteira Oeste, onde predominam sobre relevo suave ondulado a plano, apresentando boa drenagem e textura argilosa (SANTOS et al., 2020; TORRADO; 2020).

Argissolos apresentam horizonte B textural, com acúmulo de argila em subsuperfície devido à lixiviação vertical, afetando a movimentação de água. São moderadamente intemperizados e com fertilidade variável. Encontram-se em várias regiões do Brasil, inclusive na metade sul do Rio Grande do Sul, sendo comuns em áreas com relevo mais acentuado (CUNHA, 2020; SANTOS, 2018), que varia de plano a suave ondulado (DIONÍSIO et al., 2016). Na Fronteira Oeste, podem surgir em transição com Cambissolos (CUNHA, 2020; SANTOS, 2018). Ocupam quase

32% do território, apresentando espessura mínima de 50 cm, baixa CTC, alta acidez, intensa atuação de dessilicação (DIONÍSIO et al., 2016; RONQUIM, 2010).

Neossolos são solos jovens, pouco desenvolvidos, geralmente rasos e pedregosos, com pouca diferenciação de horizontes (DIONÍSIO et al., 2016; RONQUIM, 2010). Estão presentes em áreas de relevo montanhoso ou em regiões com aporte recente de sedimentos, como leitos de rios e encostas. Podem ocorrer na Fronteira Oeste do RS, especialmente em áreas de afloramento rochoso e margens fluviais (PINHEIRO JUNIOR et al., 2020; TORRADO; 2020). Os Neossolos Litólicos apresentam fortes restrições, tendo em vista que a pequena profundidade efetiva limita o desenvolvimento das raízes e o armazenamento de água, além da elevada suscetibilidade à erosão (DIONÍSIO et al., 2016; RONQUIM, 2010).

Cambissolos são solos de desenvolvimento pedogenético incipiente, com alterações físicas, químicas e morfológicas ainda discretas nos horizontes subsuperficiais (SANTOS et al., 2018; PINHEIRO JUNIOR et al., 2020). Apresentam horizonte B incipiente (Bi), com coloração cromada e estrutura de agregação fraca a moderada, reflexo do estágio inicial da formação pedológica. São comuns em ambientes de relevo acidentado, como encostas, terraços fluviais e áreas de transição geomorfológica, onde ocorrem sobre formações basálticas e areníticas, como na Campanha Gaúcha e na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul (IBGE, 2015; PINHEIRO JUNIOR et al., 2020).

A drenagem dos Cambissolos varia de boa a imperfeita, especialmente quando originados de materiais aluviais, que tendem a apresentar textura média a argilosa, restrições à percolação da água e maior variabilidade química (SANTOS et al., 2018; RONQUIM, 2010). Sua fertilidade natural é variável, e o uso agrícola depende da presença de condições menos pedregosas e maior profundidade efetiva, sendo mais indicados para culturas anuais e perenes em áreas mecanizáveis (PINHEIRO JUNIOR et al., 2020).

Devido ao relevo e à estrutura ainda instável, os Cambissolos estão associados a alto risco de erosão hídrica, especialmente sob uso intensivo sem manejo conservacionista adequado (SANTOS et al., 2018). Dionísio et al. (2016), explicam que esses solos têm desenvolvimento incipiente e reduzida atividade biológica, o que demanda maior atenção quanto à conservação da matéria orgânica, suporte vegetal e estabilidade estrutural, sendo característicos de sistemas edáficos em transição geomorfológica.

Gleissolos são solos típicos de ambientes hidromórficos, onde há saturação frequente ou permanente por água, o que estabelece condições anaeróbicas no perfil edáfico (IBGE, 2015). São formados pelo processo de gleização, caracterizado pela redução microbiana dos óxidos de ferro, que atuam como aceptores finais de elétrons durante a decomposição da matéria orgânica. Esse processo torna o ferro solúvel e removível do perfil, deixando visíveis minerais como caulinita e quartzo, responsáveis pela coloração acinzentada, azulada ou esverdeada do solo (SANTOS et al., 2018; PINHEIRO JUNIOR et al., 2020).

Esses solos ocorrem principalmente em áreas de várzea, banhados e depressões topográficas, como na Depressão Central e na Fronteira Oeste do Rio Grande do Sul, especialmente ao longo de rios como o Ibicuí (IBGE, 2015). Apresentam, em geral, pH ácido, baixa permeabilidade, acúmulo de matéria orgânica e drenagem muito deficiente, o que dificulta a oxigenação do sistema radicular das plantas e altera profundamente a dinâmica biogeoquímica do solo (RONQUIM, 2010; SANTOS et al., 2018).

Além disso, a saturação hídrica afeta diretamente a atividade da fauna edáfica, reduzindo a diversidade biológica, inibindo a mineralização da matéria orgânica e promovendo o acúmulo de compostos potencialmente tóxicos, como ácido sulfídrico e ferro reduzido. Esses fatores agravam as restrições ao uso agrícola convencional, embora esses solos possam ser aproveitados para culturas adaptadas, como o arroz irrigado, quando submetidos a sistemas de drenagem controlada (DIONÍSIO et al., 2016; IBGE, 2015).

Espodossolos são solos caracterizados pelo desenvolvimento de horizonte B espódico, com acúmulo de compostos orgânicos complexados com alumínio e, eventualmente, ferro. Associam-se a materiais de textura arenosa, baixo pH e elevada lixiviação de bases. Ocorrem sobretudo em áreas de clima úmido e vegetação de restinga ou coníferas, como nas faixas litorâneas do Sul e Sudeste do Brasil (SANTOS et al., 2018). Têm baixa fertilidade natural e estrutura frágil, sendo pouco representativos no Rio Grande do Sul, restritos ao litoral (PINHEIRO JUNIOR et al., 2020).

Organossolos são formados por acúmulo de material orgânico em ambiente hidromórfico, onde a taxa de decomposição da matéria orgânica é reduzida pela baixa oxigenação. São comuns em turfeiras, áreas pantanosas e regiões de várzea profunda, com espessura mínima de 40 cm de material orgânico saturado (SANTOS

et al., 2018). Apresentam pH ácido e alta capacidade de retenção de água, mas exigem drenagem e manejo cuidadoso para uso agrícola. No Rio Grande do Sul, ocorrem pontualmente em ambientes de banhado e áreas litorâneas (IBGE, 2015).

Planossolos possuem horizonte B com baixa permeabilidade, abruptamente sobreposto a um horizonte A mais arenoso, o que favorece o acúmulo de água e dificulta a drenagem interna. Têm ocorrência significativa em áreas planas do Nordeste, sendo associados a encharcamento temporário e baixa fertilidade química (SANTOS et al., 2018). No Sul do Brasil, estão presentes em pequenas manchas da Depressão Central, mas são pouco representativos na Fronteira Oeste (PINHEIRO JUNIOR et al., 2020).

Plintossolos são solos que apresentam plintita — uma mistura endurecível de óxidos de ferro e manganês — ou concreções ferruginosas com padrão nodular. Desenvolvem-se em ambientes mal drenados, sujeitos à flutuação do lençol freático. Sua principal limitação é o endurecimento irreversível da plintita quando seca e exposta ao ar, o que reduz drasticamente a permeabilidade e o uso agrícola (SANTOS et al., 2018). No estado do Rio Grande do Sul, a ocorrência é restrita. Destacam-se áreas localizadas na Fronteira Oeste, especialmente entre os municípios de Itaqui e São Borja, onde há maior ocorrência desse solo no estado. Há também registros pontuais em setores do litoral e da Depressão Central sul-rio-grandense, embora em menor frequência e em distribuições ainda mais restritas (STRECK et al., 2008; DALMOLIN et al., 2019).

Vertissolos são solos com alta proporção de argilas expansivas do tipo 2:1, como montmorilonita, que causam movimentações volumétricas intensas com a variação da umidade. Apresentam fendas profundas em períodos secos e superfície polida nas zonas de fricção entre agregados (SANTOS et al., 2018). Têm fertilidade natural elevada, mas são difíceis de manejar mecanicamente devido à sua plasticidade e instabilidade estrutural. Sua ocorrência é típica de climas sazonais do Centro-Oeste e Nordeste, mas podem também ser encontrados em alguns pontos da Fronteira Oeste e Campanha Gaúcha, no Rio Grande do Sul (PEDRON; PEREIRA, 2024).

Luvisolos são solos com horizonte B textural e alta saturação por bases ($\geq 50\%$), com alta fertilidade natural e boa resposta à adubação (SANTOS et al., 2018). Apresentam horizonte Bt bem desenvolvido e têm textura argilosa a muito argilosa. São típicos de regiões semiáridas e subúmidas do Brasil central e nordeste.

No Sul, sua ocorrência é praticamente nula, sendo substituídos por Argissolos com menor saturação (PINHEIRO JUNIOR et al., 2020).

Chernossolos destacam-se por serem solos com horizonte A espesso, escuro, com alto teor de matéria orgânica mineral, elevada CTC e saturação por bases. São derivados de material calcário ou basáltico e ocorrem principalmente sob vegetação de campo ou pradarias naturais (SANTOS et al., 2018). No Rio Grande do Sul, podem ocorrer pontualmente na Campanha Gaúcha e em formações de terras pretas, mas são raros na Fronteira Oeste, onde solos similares são geralmente classificados como Argissolos eutróficos (PINHEIRO JUNIOR et al., 2020).

Nitossolos são solos muito argilosos, profundos, com horizonte B nítico, estrutura em blocos fortes e agregados bem desenvolvidos, com transição difusa entre horizontes. Têm boa fertilidade natural, alta capacidade de retenção de água e excelente estrutura para o cultivo (SANTOS et al., 2018). São típicos de áreas basálticas com relevo suave ondulado, como no Paraná e em parte da Serra Gaúcha. Na Fronteira Oeste, são raros, sendo substituídos por Latossolos ou Cambissolos (IBGE, 2015).

Considerando essas múltiplas variáveis físicas, químicas e morfológicas que definem os solos e determinam sua classificação, torna-se fundamental avaliar suas implicações práticas para o ordenamento territorial e a proteção ambiental. Um exemplo emblemático dessa interface entre atributos pedológicos e gestão do espaço urbano é a instalação de cemitérios, cuja localização inadequada pode representar sério risco à qualidade do solo e dos recursos hídricos, especialmente em áreas com alta permeabilidade ou fragilidade estrutural.

Os solos mais suscetíveis à contaminação pela presença de cemitérios são os arenosos, com mais de 70% de areia e menos de 15% de argila, em razão de sua alta permeabilidade e baixa capacidade de retenção de contaminantes, como o necrochorume (KEMERICH et al., 2014). Nesse contexto, o estudo de Pedron et al. (2007) destaca que os solos urbanos, frequentemente modificados por ações antrópicas — como escavações, aterros e descarte inadequado de resíduos —, sofrem alterações morfológicas, físicas e químicas que comprometem sua funcionalidade ambiental e sua aptidão para usos sensíveis. Complementarmente, Pedron et al. (2014) defendem que os cemitérios sejam tratados como equipamentos urbanos sensíveis, cuja localização, projeto e gestão devem estar

integrados ao planejamento territorial, considerando políticas públicas de saúde e meio ambiente, de forma a prevenir impactos negativos sobre os recursos hídricos, o solo e a saúde coletiva.

Rocha (2016), ao ampliar a visão histórica dos cemitérios, propõe que esses espaços deixem de ser considerados apenas como locais simbólicos de memória e passem a ser entendidos como unidades geotécnicas e ambientais, com implicações concretas no meio físico e no tecido urbano. Diante das alterações provocadas pela urbanização, torna-se cada vez mais limitada a aplicação do Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (SiBCS) para esses contextos, sendo mais adequado o uso de sistemas interpretativos, que considerem o potencial de uso do solo, sua permeabilidade, estabilidade estrutural e risco de contaminação.

Assim, em áreas urbanas destinadas à instalação de cemitérios, é indispensável a realização de levantamentos pedológicos detalhados, que incorporem critérios ambientais, sanitários e urbanísticos, como forma de prevenir o uso inadequado do solo e assegurar a conformidade com dispositivos legais como a Lei nº 6.938/1981 e a Resolução CONAMA nº 335/2003.

Diante das propriedades físico-químicas dos solos discutidas anteriormente, é fundamental que a legislação ambiental atue como diretriz para a localização e gestão de cemitérios

2.3. CRITÉRIOS AMBIENTAIS, URBANÍSTICOS E SANITÁRIOS

A Lei nº 6.766/1979, que dispõe sobre o parcelamento do solo urbano, constitui um marco normativo essencial para o ordenamento territorial e a prevenção de impactos ambientais decorrentes da ocupação desordenada. Ao estabelecer critérios técnicos mínimos para loteamentos e desmembramentos — como a exigência de infraestrutura básica (escoamento de águas pluviais, abastecimento de água potável, esgotamento sanitário e energia elétrica) — a lei atua como instrumento preventivo contra a degradação ambiental e sanitária, especialmente em áreas urbanas e periurbanas. Conforme destacado por Rocha (2016) e Pedron et al. (2007), a ausência de planejamento técnico na ocupação do solo urbano favorece a instalação de empreendimentos sensíveis, como cemitérios, em terrenos inadequados, o que potencializa os riscos de contaminação do solo e das águas subterrâneas.

Nesse sentido, a Lei nº 6.766/1979 dialoga diretamente com os princípios da Lei nº 6.938/1981 (Política Nacional do Meio Ambiente) e com o Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), ao reforçar a função social da propriedade e a necessidade de compatibilizar o uso do solo com a proteção ambiental. A exigência de diretrizes urbanísticas e a vedação de parcelamentos em áreas alagadiças, instáveis ou ambientalmente sensíveis (art. 3º, § único) contribuem para mitigar os riscos associados à instalação de cemitérios em solos com alta permeabilidade ou lençol freático raso — aspectos amplamente discutidos por Kemerich et al. (2014) e Silva e Santos (2022). Assim, a aplicação efetiva da Lei nº 6.766/1979 representa uma ferramenta estratégica para a gestão ambiental urbana, ao integrar critérios técnicos de parcelamento com a prevenção de passivos ambientais.

A implantação de cemitérios deve ser compreendida como parte do ordenamento urbano e do planejamento territorial, conforme preconizado pelo Estatuto da Cidade – Lei nº 10.257/2001. Essa norma regulamenta os artigos. 182 e 183 da Constituição Federal (BRASIL, 1988) e orienta a política de desenvolvimento urbano, reforçando que o solo urbano deve cumprir uma função social e respeitar os princípios da justiça ambiental, do uso racional dos recursos naturais e da prevenção de riscos à saúde pública.

Portanto, a localização de cemitérios deve considerar a infraestrutura de saneamento, a preservação dos recursos naturais, o zoneamento urbano e os instrumentos do plano diretor, conforme os artigos 2º e 4º da referida Lei. Dessa forma, o Estatuto da Cidade estabelece os fundamentos legais para que as municipalidades disciplinem o uso do solo urbano, inclusive para fins funerários, prevenindo conflitos ambientais, sanitários e urbanísticos que comprometem o bem-estar coletivo e o equilíbrio ambiental. Esses cuidados visam subsidiar o equilíbrio ecológico e a qualidade de vida, conforme provê a Constituição da República Federativa do Brasil de 1988, em seu art. 225.

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

Além disso, os incisos VI e VII do art. 23 atribuem à União, aos Estados, ao Distrito Federal e aos Municípios a competência comum para proteger o meio ambiente, combater a poluição e preservar recursos naturais. Assim, a instalação de

cemitérios, por envolver o uso do solo e potenciais riscos à saúde pública e ao meio ambiente (especialmente aquíferos), está sujeita à tutela ambiental e sanitária do Estado em todas as suas esferas.

A Lei nº 6.938/1981 que trata sobre a Política Nacional do Meio Ambiente estabelece diretrizes para a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental, criando o Sistema Nacional do Meio Ambiente (SISNAMA) e o CONAMA. Entre seus princípios estão a racionalização do uso do solo e da água (art. 2º, II); o planejamento e fiscalização do uso de recursos ambientais (art. 2º, III) e a recuperação de áreas degradadas (art. 2º, VIII). Com base nas orientações, os cemitérios devem ser localizados e operados de modo a não comprometer o solo e os recursos hídricos subterrâneos, respeitando os critérios ambientais.

Visando coibir o descumprimento dessas orientações, a Lei nº 9.605/1998 – Lei de Crimes Ambientais, prevê sanções penais e administrativas a condutas lesivas ao meio ambiente, a referida lei traz a responsabilidade da pessoa jurídica e do gestor público (art. 3º); a suspensão de atividades e indenização por dano ambiental (arts. 4º e 20) e punições aplicáveis em caso de contaminação de recursos naturais. Assim, a negligência na localização, operação ou manutenção de cemitérios pode configurar crime ambiental, sujeitando os responsáveis a multas e outras penalidades.

A Lei nº 12.305/2010 – Política Nacional de Resíduos Sólidos, suplementa o entendimento da Lei nº 9.605/1998, ao trazer o conceito sobre a responsabilidade compartilhada pelo ciclo de vida dos resíduos, inclusive resíduos perigosos, que no caso de cemitérios envolvem os resíduos orgânicos contaminantes (necrochorume) e os resíduos sólidos como urnas, tecidos e materiais metálicos.

A Lei nº 9.605/1998 exige que geradores e entes públicos assegurem a destinação final ambientalmente adequada (art. 3º, XV e XVIII), sendo imprescindível um plano de gerenciamento de resíduos para os cemitérios. Esse plano é mencionado na Resolução CONAMA nº 335/2003, que trata sobre o Licenciamento Ambiental de Cemitérios. Essa resolução específica determina que todos os cemitérios, verticais ou horizontais, estejam sujeitos ao licenciamento ambiental (art. 1º). A resolução exige os seguintes passos documentados para prover o licenciamento: Estudos sobre o nível do lençol freático (art. 3º, I, "c"); sondagens do subsolo (art. 3º, I, "d") e vedação de instalação em áreas de mananciais, de proteção ambiental (APAs) ou terrenos catastróficos (art. 3º, §1º). A inadequada localização

de cemitérios, portanto, pode inviabilizar o licenciamento ambiental e ensejar medidas de responsabilização administrativa e civil.

A resolução CONAMA nº 335/2003 trouxe avanços à preservação ambiental, ao condicionar a implantação de cemitérios à avaliação de critérios como profundidade do lençol freático, tipo de solo e distância de corpos hídricos. A legislação atual exige que os cemitérios estejam a pelo menos 10 metros acima do lençol freático, e que os solos apresentem coeficiente de permeabilidade entre 10^{-5} e 10^{-7} cm/s.

Complementa-se à resolução CONAMA nº 335/2003 os ensaios físico-químicos e microbiológicos usados para validar análises de pH, DBO, metais pesados (Pb, Cd, Cr), nitrato e presença de coliformes, garantindo que os dados atendam aos padrões da Resolução CONAMA nº 396/2008 e ao controle de áreas contaminadas. Por se tratar de risco à saúde humana, a qualidade de vida e afetar o equilíbrio ecológico (BRASIL, 1988), a Resolução CONAMA nº 396/2008 – Qualidade das Águas Subterrâneas, classifica as águas subterrâneas por classes de uso e define critérios de qualidade. O enquadramento dos aquíferos é necessário para proteger fontes de abastecimento, sendo vedadas atividades com risco de contaminação, como cemitérios, sobre aquíferos de Classe Especial ou Classe 1, sem medidas adequadas de proteção e monitoramento.

A Tabela 3 apresenta os parâmetros de qualidade da água subterrânea e seus respectivos Valores Máximos Permitidos (VMPs) para o uso em consumo humano, conforme estabelecido pela Resolução CONAMA nº 396/2008. Esses valores funcionam como limites legais e técnicos para garantir que a água esteja segura e própria para o abastecimento da população.

Tabela 3 - Tabela 3 - Parâmetros de qualidade da água e seus respectivos VMPs para o uso de consumo humano

Parâmetro	VMP para Consumo Humano
pH	6,0 – 9,0
Turbidez	5,0 NTU
Nitrato (NO_3^-)	10 mg/L
Nitrito (NO_2^-)	1,0 mg/L
Amônia (NH_3)	1,5 mg/L
Ferro Total	0,3 mg/L
Manganês	0,1 mg/L
Cloreto	250 mg/L
Sódio	200 mg/L

Parâmetro	VMP para Consumo Humano
Sólidos Totais Dissolvidos	1000 mg/L
Coliformes Termotolerantes	Ausentes em 100 mL
Mercúrio Total	0,001 mg/L
Chumbo Total	0,01 mg/L
Cádmio Total	0,003 mg/L
Cromo Total	0,05 mg/L
Arsênio Total	0,01 mg/L
Benzeno	0,005 mg/L
Tolueno	0,7 mg/L

Fonte: Resolução CONAMA nº 396/2008.

Esses valores são fundamentais para o monitoramento da qualidade das águas subterrâneas, especialmente em áreas suscetíveis à contaminação, como regiões próximas a cemitérios, onde o necrochorume pode infiltrar-se no solo e atingir os lençóis freáticos.

Por fim, a Resolução CONAMA nº 420/2009 – Qualidade do Solo e Áreas Contaminadas dispõe sobre critérios e diretrizes para a gestão de áreas contaminadas por substâncias químicas, incluindo os solos e águas subterrâneas. Entre os procedimentos técnicos documentados a serem apresentados incluem a avaliação preliminar de risco (art. 6º) e o monitoramento e remediação de áreas contaminadas (artigos 7º a 9º). Portanto, cemitérios localizados em áreas sensíveis devem prever ações de prevenção e correção de passivos ambientais, sob pena de responsabilização.

Estas resoluções possuem validade jurídica e baseiam-se em padrões de qualidade trazidos pela NBR ISO/IEC 17025, que trata sobre os requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração a qual trata sobre validação técnica e legal de análises ambientais exigidas pelo licenciamento de cemitérios. Portanto os padrões de qualidade devem ser atestados por Laboratórios que realizam análises de solo, água e necrochorume, desde que estes sigam os critérios da ISO/IEC 17025 para garantir a rastreabilidade, exatidão e reprodutibilidade dos resultados.

Silva e Santos (2022) defendem que a instalação incorreta de cemitérios desrespeita critérios básicos de ordenamento ambiental, como os definidos pela Resolução CONAMA nº 335/2003 e pela Resolução nº 420/2009. Embora os parâmetros físico-químicos da água analisada estejam dentro dos limites permitidos pela Portaria GM/MS nº 888/2021, cemitérios são atividades de risco potencial de

contaminação quando instalados em áreas de baixa espessura da zona não saturada e elevada condutividade hidráulica do solo arenoso.

Segundo Pedron et al. (2007), o uso dos solos para cemitérios deve ser analisado conforme a função social da propriedade urbana, nos termos do Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), que exige a compatibilização entre ocupação do solo, infraestrutura urbana e proteção ambiental. A instalação de cemitérios em áreas urbanas demanda estudos técnicos rigorosos, considerando a aptidão e a vulnerabilidade dos solos, os riscos à saúde pública e a integração ao plano diretor municipal.

Nesse contexto, a ABNT NBR 13896/1997 detalha os critérios mínimos para o planejamento, projeto e implantação de cemitérios, incluindo estudos sobre a profundidade do lençol freático, a permeabilidade dos solos e o afastamento de corpos hídricos, em consonância com a Resolução CONAMA nº 335/2003. A norma também orienta sobre sistemas de drenagem e impermeabilização para evitar a contaminação por necrochorume, alinhando-se aos princípios da Lei nº 6.938/1981 e da Resolução CONAMA nº 420/2009.

Além disso, o layout dos cemitérios deve contemplar áreas específicas para sepultamentos, serviços administrativos, circulação e manejo de resíduos, conforme diretrizes da Lei nº 12.305/2010. A Constituição Federal (art. 225) reforça que essas instalações devem ser situadas de forma a não comprometer o meio ambiente nem a qualidade de vida da população. Assim, a legislação ambiental e urbanística atua de forma integrada, exigindo licenciamento, monitoramento e responsabilização conforme previsto na Lei nº 9.605/1998, considerando os cemitérios como equipamentos urbanos ambientalmente sensíveis, que requerem planejamento técnico e gestão responsável.

Observou-se nos instrumentos legislativos do Brasil que o tratamento jurídico-ambiental de cemitérios deve ser preventivo, fiscalizador e restaurativo, assegurando que a função social desse espaço essencial à vida e à morte não comprometa os direitos coletivos e o equilíbrio ambiental.

Com base nas normas ambientais e nos estudos técnicos reunidos, observa-se que a gestão inadequada da localização e operação dos cemitérios representa uma violação dos princípios legais estabelecidos no Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001), na Lei da Política Nacional do Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) e na Lei de Crimes Ambientais (Lei nº 9.605/1998). O necrochorume,

resultante da decomposição cadavérica, ao percolar em solos de elevada permeabilidade e baixa capacidade de retenção, como os arenosos (KEMERICH et al., 2014), pode atingir lençóis freáticos, comprometendo a qualidade da água subterrânea (FRANTZ, 2005; SILVA e SANTOS, 2022). Esse risco é agravado em áreas urbanas sem planejamento, contrariando os dispositivos da Resolução CONAMA nº 335/2003, que exige estudos prévios de solo, profundidade do lençol freático e afastamento de corpos hídricos.

2.4. NECROCHORUME

A partir do levantamento bibliográfico, é possível caracterizar o necrochorume como um dos principais agentes de contaminação ambiental oriundo da decomposição cadavérica em cemitérios. Trata-se de um líquido viscoso, escuro e de forte odor, cuja composição varia conforme o estágio da decomposição, condições climáticas e tipo de solo. Apresenta coloração castanho-acinzentada, elevada densidade ($1,23 \text{ g/cm}^3$) e pH variável entre 5,0 e 9, o que interfere na mobilidade de elementos no solo (ROCHA, 2016; ZINA, 2015). Sua formação ocorre no interior dos túmulos, principalmente em locais sem impermeabilização, permitindo que esse efluente percole pelos solos e atinja as águas subterrâneas (KEMERICH et al., 2014; FURTADO, 2007).

Físico-quimicamente, o necrochorume contém cerca de 60–74% de água, 30% de sais minerais (como cloretos, bicarbonatos, sódio e cálcio) e 10% de matéria orgânica, incluindo putrescina e cadaverina, que são aminas de alto poder tóxico e odor desagradável, além de compostos nitrogenados e sulfurosos como amônio (NH_4^+), nitrato (NO_3^-), P, além de metais como ferro (Fe), manganês (Mn), zinco (Zn), cádmio (Cd), chumbo (Pb), mercúrio (Hg), cobre (Cu) e arsênio (As) (STRIPP et al., 2015; ZINA, 2015; SANTOS, 2014; FURTADO, 2007; NASCIMENTO et al., 2018). A presença desses metais, frequentemente oriundos de próteses, cosméticos ou itens funerários, está associada a efeitos toxicológicos agudos e crônicos, incluindo riscos cancerígenos e doenças neurológicas e renais (ZINA, 2015).

Do ponto de vista microbiológico, o necrochorume contém coliformes fecais, *Escherichia coli*, *Clostridium perfringens*, *Streptococcus fecalis*, *Clostrídios* sulfito-redutores e até vírus, como o colifago T4, conforme demonstrado em experimentos laboratoriais e de campo (MATOS, 2001; ZINA, 2015; LINHARES,

2012). Essas bactérias e vírus representam riscos diretos à saúde humana e ambiental, podendo migrar com o fluxo de águas subterrâneas e contaminar poços e lençóis freáticos, sobretudo em solos arenosos ou com baixa CTC (FRANTZ, 2005; MORANDI, 2022; SANTOS, 2014).

O necrochorume também interfere nas propriedades químicas e físicas do solo, aumentando a condutividade elétrica, alcalinidade, dureza, e promovendo alterações no pH, que variam entre ácido (5,0) e ligeiramente alcalino (até 9,0), favorecendo a solubilização e mobilidade de metais no perfil edáfico (ZINA, 2015; NASCIMENTO et al., 2018; FORMIGA, 2015). Parâmetros como DBO (até 18,5 mg/L) e DQO (acima de 30 mg/L) indicam uma elevada carga orgânica e intensa atividade microbiana, comprometendo a oxigenação dos corpos d'água subterrâneos e facilitando a instalação de condições anaeróbias prejudiciais (FORMIGA, 2015).

Além disso, estudos como os de Mota Júnior (2012) e Linhares (2012) apontam que, em função da textura dos solos (especialmente arenosos ou de mangue), o necrochorume pode formar plumas contaminantes com mobilidade tanto vertical quanto horizontal, atingindo recursos hídricos e ambientes sensíveis como fragmentos florestais e áreas de preservação.

Descreve-se o necrochorume como um efluente altamente complexo e tóxico, cuja percolação em solos inadequados representa ameaça significativa à qualidade da água e do solo. Seu monitoramento requer o controle de múltiplos parâmetros físico-químicos e microbiológicos, conforme evidenciado em diversas pesquisas (KEMERICH et al., 2014; STRIPP et al., 2015; FRANTZ, 2005; MOTA JÚNIOR, 2012; ZINA, 2015; FORMIGA, 2015; NASCIMENTO et al., 2018; FURTADO, 2007; MORANDI, 2022; ROCHA, 2016; LINHARES, 2012; SANTOS, 2014). Com base nesses aspectos, reitera-se a necessidade de políticas públicas voltadas ao planejamento adequado de cemitérios e ao uso de tecnologias de contenção e remediação ambiental.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. DELINEAMENTO DA PESQUISA

Esta pesquisa caracteriza-se como um estudo qualitativo, de natureza exploratória e descritiva, estruturado a partir de uma revisão de literatura sistemática

e normativa. Tem como objetivo analisar os impactos ambientais associados à instalação de cemitérios, com ênfase na contaminação do solo e das águas subterrâneas, a partir da caracterização do necrochorume, dos atributos edáficos e hidrogeológicos dos locais de sepultamento e da aplicação (ou não) dos critérios legais e técnicos exigidos pelas normas ambientais brasileiras.

3.2. ESTRATÉGIA DE COLETA E SELEÇÃO DOS DADOS

O levantamento de dados foi realizado entre março e maio de 2025, utilizando fontes científicas, normativas e técnicas. A amostra da pesquisa foi composta por 32 estudos técnico-científicos selecionados com base em critérios previamente definidos. Foram incluídos artigos de periódicos, dissertações, teses e documentos normativos disponíveis em bases como Scopus, Google Scholar, Periódicos CAPES, além de legislações obtidas via sites oficiais como o Diário Oficial da União, IBGE, ABNT, CONAMA e legislação consolidada do Senado Federal.

3.3. CRITÉRIOS DE INCLUSÃO E EXCLUSÃO

Foram incluídos na análise os trabalhos publicados entre 2000 e 2025, sendo 24 com foco no contexto brasileiro e 8 no contexto internacional. Optou-se por selecionar as pesquisas que abordassem impactos ambientais de cemitérios, especialmente contaminação por necrochorume, metais pesados, nitrato, patógenos e alteração de atributos do solo.

Enfatizaram-se os estudos com descrição metodológica clara e que apresentassem dados físico-químicos, microbiológicos ou pedológicos e os documentos legais e técnicos como leis, resoluções, normas da ABNT e manuais de pedologia do IBGE aplicados ao contexto desta pesquisa.

Foram excluídos os trabalhos sem avaliação técnica ou científica (opiniões, ensaios sem base empírica) e os estudos voltados exclusivamente para questões socioculturais ou religiosas sem relação com aspectos ambientais ou geotécnicos.

3.4. PROCEDIMENTOS DE ANÁLISE

A análise dos dados foi conduzida com base na técnica de análise de conteúdo temática, conforme Bardin (2011), com categorização das informações em

quatro grandes eixos: Características dos solos presentes nos locais analisados (ordem, textura, permeabilidade, CTC, pH e mineralogia); Parâmetros físico-químicos e microbiológicos da água subterrânea, com destaque para nitrato, DBO, DQO, metais pesados (Fe, Mn, Zn, Pb, Cd, Cr, Hg) e presença de coliformes fecais; Aspectos normativos e legais, verificando o cumprimento da legislação vigente: Resoluções CONAMA nº 335/2003, nº 396/2008, nº 420/2009; Lei nº 6.938/1981; Estatuto da Cidade (Lei nº 10.257/2001); ABNT NBR 13896/1997 e ISO/IEC 17025; Uso de métodos de avaliação de risco ambiental, como os métodos DRASTIC, GOD, AHP e TOPSIS, com ênfase em sua aplicabilidade e resultados nos estudos de caso.

3.5. SÍNTESE E ORGANIZAÇÃO DOS RESULTADOS

Os estudos de caso extraídos da literatura foram organizados em uma matriz comparativa com identificação de: local da pesquisa (município/estado/país); tipo de solo classificado segundo o SiBCS; dados analíticos (parâmetros do solo e da água); conformidade com os valores máximos permitidos (VMPs) estabelecidos nas normativas ambientais; medidas mitigatórias ou ausentes; conclusões sobre o grau de risco ou contaminação ambiental detectado.

Esse tratamento sistematizado dos dados permitiu identificar padrões recorrentes de vulnerabilidade ambiental em cemitérios instalados sobre solos altamente permeáveis e de baixa CTC, geralmente sem impermeabilização, tampas sanitárias ou drenagem controlada.

Além disso, foram analisadas as implicações legais e urbanísticas da não observância dos critérios exigidos pela legislação ambiental vigente, relacionando os resultados técnicos aos princípios constitucionais de proteção à saúde pública e ao meio ambiente.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para compreender a dimensão e os padrões dos impactos ambientais causados por cemitérios, especialmente no que tange à contaminação do solo e das águas subterrâneas por necrochorume e metais pesados, foram analisados 32 estudos técnico-científicos, sendo 24 realizados no Brasil e 8 em contextos

internacionais. Esses estudos variam em seus recortes geográficos, tipos de solo investigados, parâmetros monitorados e metodologias aplicadas, mas convergem ao apontar que a escolha inadequada de terrenos para sepultamento — sobretudo aqueles com alta permeabilidade, baixa CTC e lençol freático raso — constitui fator crítico para a contaminação ambiental.

Os estudos realizados no Brasil sobre a contaminação ambiental relacionada a cemitérios evidenciam um padrão recorrente de negligência técnica na escolha dos locais de implantação e na ausência de monitoramento efetivo da qualidade do solo e da água subterrânea. Diversos autores demonstram que a decomposição de corpos humanos em solos inadequados resulta na liberação de necrochorume, substância altamente poluente, composta por compostos orgânicos, nitrogênio, fósforo, patógenos, metais pesados e gases como NH_3 , H_2S e CH_4 (NASCIMENTO et al., 2018; STIPP et al., 2015).

Frantz (2005) identificou que os cemitérios em Sant’Ana do Livramento, município situado no Rio Grande do Sul, estão situados sobre arenitos da Formação Botucatu, com alta porosidade (18–30%) e permeabilidade, classificados como Latossolos Vermelho-Amarelos distróficos segundo o SiBCS. Tais solos apresentam profundidade, textura média a argilosa e alta porosidade, mas com baixa capacidade de retenção de contaminantes, classificando os cemitérios como de vulnerabilidade alta a extrema.

Rocha (2016) avaliou solos classificados como Latossolo Vermelho distrófico no município de Botucatu/SP, com amostragens em nove pontos e seis profundidades. Utilizou espectrofotometria de absorção atômica para quantificação de metais (Pb, Cu, Cr e Zn). Embora os valores estivessem dentro dos limites da Resolução CONAMA nº 420/2009, observou-se acúmulo de metais nas camadas mais profundas (150–300 cm), sobretudo nas áreas de escoamento superficial. A presença de fragmento florestal a jusante evidenciou diferenças na carga metálica, apontando a mobilidade dos contaminantes.

Nascimento et al. (2018) estudaram o Cemitério Urbano Nossa Senhora da Conceição em Boa Vista/RR, sobre Latossolo Amarelo distrófico. O solo apresentava degradação por ações naturais e antrópicas, com prejuízos à estrutura física e favorecimento da infiltração de necrochorume. Os impactos sobre a paisagem foram classificados como negativos de alto risco para o ambiente urbano e de risco médio

para o natural. A topografia elevada e irregular contribuiu para erosão e descaracterização paisagística.

Zina (2015) investigou solos da classe dos Nitossolos, com presença de horizontes argilosos retentores. Contudo, em áreas de Neossolos adjacentes, a baixa capacidade de retenção sem impermeabilização ou drenagem adequada aumentou a susceptibilidade à percolação do necrochorume e consequente risco ao aquífero freático.

Furtado (2007), ao analisar o centro urbano de Araçatuba-SP, identificou a predominância de Latossolos Vermelhos distróficos, altamente intemperizados, com textura média a arenosa. Esses solos são profundos e bem drenados, mas com baixa retenção de contaminantes, conforme o SiBCS. A permeabilidade elevada e a urbanização densa elevaram os riscos de contaminação dos aquíferos livres.

Morandi (2022), em consonância com os estudos anteriores, também registrou solos arenosos e franco-arenosos, associados à baixa filtração e alta permeabilidade. Tais características são inapropriadas para o sepultamento direto sem o uso de barreiras técnicas.

Estudos como o de Matos (2001) demonstraram que a mobilidade de contaminantes em solos arenosos é elevada. Em ensaios com colunas de solo do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha (SP), os colifagos T4 apresentaram maior dispersividade e menor adsorção do que os traçadores químicos, o que resultou na detecção de vírus a distâncias preocupantes. Os solos altamente permeáveis (Neossolos Quartzarênicos) são destacados por Linhares (2012) e Santos (2014) como particularmente vulneráveis à infiltração de necrochorume.

Santos (2014), em estudo realizado em Salvador (BA), identificou nitrato acima de 10 mg/L em vários dos 12 poços analisados, com valores de pH inferiores a 6,0 e coliformes termotolerantes em níveis inaceitáveis. A condutividade elétrica e os sólidos dissolvidos totais (SDT) apresentaram valores elevados, como no poço PT16, indicando a presença de compostos orgânicos e inorgânicos.

Frantz (2005) quantificou nitrato até 59,94 mg/L, superando em mais de 33% o VMP de 45 mg/L (Portaria nº 518/2004), além de ferro total de 0,39 mg/L (acima do limite de 0,1 mg/L). Silva (2006), ao analisar 103 poços em Goiânia e Aparecida de Goiânia, encontrou turbidez, coliformes fecais, ferro total (>0,3 mg/L) e nitrato (>10 mg/L) em concentrações preocupantes, indicando percolação de necrochorume mesmo em poços profundos.

Formiga (2015), em Juazeiro do Norte (CE), encontrou pH entre 6,2 e 6,6; condutividade elétrica acima de 800 $\mu\text{S}/\text{cm}$; DBO até 18,5 mg/L e DQO superior a 30 mg/L. Detectaram-se coliformes termotolerantes >2.400 NMP/100 mL e SDT até 1.210 mg/L. Metais como Fe (>1,5 mg/L), Mn e Zn também estavam acima dos limites, conforme a CONAMA nº 396/2008.

Tedesco (2018), utilizando os métodos AHP e TOPSIS em Pato Branco (PR), apontou alta vulnerabilidade para alternativas com solos Latossolos Vermelhos e Nitossolos, profundidade rasa do lençol freático e uso urbano intenso. A presença de nitrato, coliformes, Fe, Pb e Cd reafirma o risco sanitário.

Os estudos de Kemerich et al. (2022), Frantz (2005), Formiga (2015) e Santos (2014) apontam consistentemente que a presença de metais pesados como Pb, Cd, Zn e Cu, associados à decomposição de corpos e materiais funerários, pode ultrapassar os valores máximos permitidos, comprometendo aquíferos rasos e solos de baixa CTC. Esses metais foram detectados em concentrações anômalas, especialmente em solos arenosos e em regiões de lençol freático superficial.

Zina (2015), analisando o cemitério de São Pedro, no Paraná, verificou escoamento superficial de necrochorume em solos arenosos, com infiltração facilitada em áreas expostas. Mota Júnior (2012) descreve situação crítica no cemitério do Gavião (São Luís/MA), instalado sobre solo de mangue, com saturação e textura argilosa favorecendo a saponificação e contaminação do Rio Bacanga. Allam et al. (2024) e Pavlenko (2020) identificaram significativa mobilidade vertical de contaminantes, com plumas de necrochorume contendo elevadas concentrações de nitrato, amônia e P, além de coliformes fecais, *Enterococcus* e *Clostridium perfringens*. Essas substâncias e microrganismos foram diretamente associados à contaminação de poços próximos aos cemitérios, com impacto direto sobre comunidades locais em áreas vulneráveis hidrologicamente.

Nascimento et al. (2018), ao aplicarem a Matriz de Leopold, demonstraram que a falta de infraestrutura e o acúmulo de água nos cemitérios favorecem a propagação do *Aedes aegypti*, além de microrganismos patogênicos. Gases como CH_4 e NH_3 também foram relatados, gerando riscos à saúde e à atmosfera.

Kemerich et al. (2014) reforçam que solos com >70% de areia e <15% de argila têm alta vulnerabilidade à percolação de contaminantes, como o necrochorume. Silva e Santos (2022), ao aplicarem o método GOD na Ilha de

Colares (PA), mostraram que mais de 97% da área apresentava vulnerabilidade média a alta, com presença de ferro e manganês em alguns poços.

Aguilar et al. (2023) e Ali et al. (2022) demonstram que, mesmo em cemitérios com alguma forma de gestão ambiental, como cercamentos e tampas de concreto nos túmulos, a ausência de impermeabilização basal e de sistemas de drenagem de líquidos lixiviados permite a infiltração contínua de necrochorume em solos porosos. Estudos de Kaur et al. (2022) e Hassan et al. (2023) reforçam essa observação ao relacionarem a elevação da condutividade elétrica, o pH ácido e o aumento da DBO/DQO da água subterrânea à decomposição cadavérica descontrolada.

Já autores como Pavlenko (2020) e Lima et al. (2022) chamam atenção para os efeitos cumulativos dos cemitérios em áreas urbanas densas, evidenciando que os contaminantes podem ser transportados lateralmente por redes pluviais ou por escoamento subsuperficial, ampliando o raio de contaminação em até 250 metros a partir dos limites da necrópole.

Em síntese, todos os estudos apontam a necessidade de aplicar as Resoluções CONAMA nº 335/2003, 396/2008 e 420/2009, associadas ao cumprimento da Lei nº 6.938/1981, ao EIA/RIMA, ao plano diretor municipal e ao zoneamento urbano. Os dados técnicos evidenciam que, sem avaliação da aptidão dos solos e da vulnerabilidade hidrogeológica, a contaminação é inevitável, comprometendo o direito constitucional à água potável e ao meio ambiente equilibrado conforme o artigo 225 da CF/1988.

Em termos de análise de resultados feitos pela literatura científica do Brasil, destaca-se a ausência de planejamento técnico na implantação de cemitérios, o que resulta em violações legais e riscos ambientais significativos. Morandi (2022), ao analisar cemitérios urbanos no Rio Grande do Sul, evidencia que os locais são definidos sem considerar a profundidade do lençol freático, tipo de solo ou grau de vulnerabilidade ambiental, contrariando diretamente a Resolução CONAMA nº 335/2003. Esse padrão é reiterado por Rocha (2016), que reforça a necessidade do uso de ferramentas como modelagem digital de elevação, krigagem e geoestatística para prever a dinâmica do escoamento e selecionar áreas adequadas. Além disso, Frantz (2005) propõe que o Plano Diretor incorpore zonas de restrição à ocupação em afloramentos da Formação Botucatu, articulando sua proposta à Lei nº 10.257/2001 (Estatuto da Cidade) e à Lei nº 9.433/1997 (PNRH).

Estudos como os de Nascimento et al. (2018), Santos (2014), Linhares (2012) e Furtado (2007) reforçam que a instalação de cemitérios em solos vulneráveis, sem estudos prévios ou licenciamento, representa grave ameaça à saúde pública e ao meio ambiente, violando o art. 225 da Constituição Federal. Descovi Filho (2009) complementa que áreas com vulnerabilidade hidrogeológica alta ou extrema devem ser descartadas para tal uso. Matos (2001) e Mota Júnior (2012) também advogam pela delimitação de faixas de proteção sanitária e monitoramento contínuo, em conformidade com a Lei nº 6.938/1981 e diretrizes da OMS. Kemerich et al. (2014), por sua vez, além dos riscos ambientais, destacam os impactos paisagísticos e sociais causados pela implantação em terrenos desvalorizados e sem infraestrutura, o que agrava a degradação urbana e a proliferação de vetores.

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

A disposição de cadáveres em necrópoles configura um desafio ambiental e sanitário de elevada complexidade técnica, exigindo abordagens interdisciplinares ancoradas em evidências empíricas e normativas. A decomposição cadavérica libera efluentes orgânicos e inorgânicos altamente reativos — como o necrochorume, metais pesados, nutrientes e patógenos — cuja mobilidade e persistência no ambiente edáfico dependem diretamente das características físico-químicas e morfológicas do solo, da profundidade da zona não saturada e das condições hidrogeológicas locais. Diante disso, reforça-se a necessidade da realização de diagnósticos ambientais prévios à implantação de cemitérios, com base em levantamentos pedológicos, estudos de vulnerabilidade hidrogeológica e análises microbiológicas.

A análise dos 32 estudos técnico-científicos selecionados nesta revisão evidenciou que grande parte dos cemitérios investigados foi instalada sobre Latossolos e Neossolos — solos de baixa capacidade de troca de cátions (CTC), elevada permeabilidade e limitada capacidade de atenuação natural. Além disso, observou-se que, em muitos casos, a ausência de infraestrutura adequada (como sistemas de drenagem e impermeabilização) e de monitoramento permanente agrava a vulnerabilidade ambiental das áreas. A comparação entre investigações nacionais e internacionais revelou convergência quanto aos riscos associados, embora o Brasil apresente deficiências mais evidentes no que tange à fiscalização, planejamento territorial e integração dos instrumentos legais em escala municipal.

Do ponto de vista legal-institucional, a legislação brasileira, particularmente a Resolução CONAMA nº 335/2003, a Lei nº 6.938/1981, a Lei nº 10.257/2001 e a Resolução nº 420/2009, estabelece critérios objetivos para o licenciamento, localização e operação de cemitérios. No entanto, os estudos analisados revelam falhas recorrentes na efetividade desses dispositivos, indicando um descompasso entre a previsão normativa e sua execução. A fragilidade dos planos diretores, a ausência de critérios técnico-ambientais na escolha dos terrenos e a falta de integração com políticas de saneamento e gestão de resíduos contribuem para perpetuar cenários de risco ambiental e sanitário em áreas urbanas e periurbanas.

Diante disso, este estudo propõe as seguintes diretrizes técnicas para aprimorar a gestão ambiental de cemitérios, sendo, o estabelecimento de critérios

pedológicos e geotécnicos obrigatórios para o licenciamento ambiental, com exigência de análises de permeabilidade, CTC, pH, espessura da zona não saturada e presença de lençol freático superficial. A incorporação de indicadores de vulnerabilidade hidrogeológica (como os métodos DRASTIC, GOD e AHP) nos instrumentos de ordenamento territorial, especialmente nos planos diretores municipais. A aplicação compulsória de sistemas de contenção técnica, como impermeabilização basal, drenagem controlada e tampas sanitárias nos jazigos, inclusive em cemitérios já existentes.

Da mesma forma, realizar a criação de protocolos normativos específicos para o necrochorume, no âmbito da Política Nacional de Resíduos Sólidos, com parâmetros físico-químicos, microbiológicos e padrões de controle ambiental e efetuar o monitoramento contínuo e georreferenciado da qualidade do solo e da água subterrânea, por meio de análises laboratoriais acreditadas conforme a NBR ISO/IEC 17025 e padrões estabelecidos pela Resolução CONAMA nº 396/2008.

Destaca-se a importância da formulação de modelos preditivos de contaminação, integrando dados edáficos, hidrológicos, climáticos e microbiológicos. Tais modelos constituem ferramentas estratégicas para o planejamento ambiental de longo prazo, especialmente frente aos efeitos sinérgicos da urbanização desordenada e das mudanças climáticas. A aplicação de técnicas de remediação e a adoção de soluções baseadas na natureza, como zonas tampão vegetadas e solos reabilitados, podem contribuir para mitigar os impactos em áreas já afetadas.

Evidencia-se que a gestão ambiental de necrópoles não pode ser dissociada de princípios como a prevenção, a precaução, a justiça ambiental e o direito à água potável e ao solo saudável. A adoção de uma abordagem técnico-normativa integrada, ancorada em diagnósticos detalhados e monitoramento sistemático, é condição indispensável para garantir a sustentabilidade desses espaços e a proteção dos recursos naturais. Dessa forma, o presente estudo cumpre seu objetivo ao reunir, analisar e sistematizar evidências científicas e legais sobre os impactos ambientais de cemitérios, oferecendo subsídios robustos para decisões informadas e políticas públicas preventivas.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR 13896:1997 – Projeto e construção de cemitérios**. Rio de Janeiro: ABNT, 1997. 12 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **ABNT NBR ISO/IEC 17025:2017 – Requisitos gerais para a competência de laboratórios de ensaio e calibração**. Rio de Janeiro: ABNT, 2017. 44 p.

AZEVEDO, A. P. C. B. de; CARDOSO, T. A. de O.; COHEN, S. C. Could necroleachate be the cemetery's sewage? A panorama from Brazilian legislation. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v. 20, n. 6898, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/ijerph20196898>. Acesso em: 22 maio 2025.

BARDIN, L. **Análise de conteúdo**. São Paulo: Edições 70, 2011.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 396, de 3 de abril de 2008. Dispõe sobre a classificação e diretrizes ambientais para o enquadramento das águas subterrâneas. Brasília: *Diário Oficial da União*, Seção 1, p. 64–68, 7 abr. 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 335, de 3 de abril de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Brasília: *Diário Oficial da União*, Seção 1, p. 57–59, 4 abr. 2003.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). Resolução CONAMA nº 420, de 28 de dezembro de 2009. Dispõe sobre critérios e valores orientadores de qualidade do solo quanto à presença de substâncias químicas e estabelece diretrizes para o gerenciamento ambiental de áreas contaminadas por essas substâncias. Brasília: *Diário Oficial da União*, Seção 1, p. 81–84, 30 dez. 2009.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil de 1988. Brasília: Senado Federal, Coleção de Leis do Brasil, *Diário Oficial da União*, Seção 1, p. 1, 5 out. 1988.

BRASIL. Lei nº 10.257, de 10 de julho de 2001. Regula os arts. 182 e 183 da Constituição Federal, estabelece diretrizes gerais da política urbana e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, Seção 1, p. 1, 11 jul. 2001.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras

providências. Brasília: Senado Federal, Coleção de Leis do Brasil, *Diário Oficial da União*, Seção 1, p. 3, 3 ago. 2010.

BRASIL. Lei nº 6.766, de 19 de dezembro de 1979. Dispõe sobre o parcelamento do solo urbano e dá outras providências. *Diário Oficial da União: seção 1*, Brasília, DF, 13p. 20 dez. 1979.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Brasília: Senado Federal, Coleção de Leis do Brasil, *Diário Oficial da União*, Seção 1, p. 16509, 2 set. 1981.

BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências. Brasília: Senado Federal, Coleção de Leis do Brasil, *Diário Oficial da União*, Seção 1, p. 1, 13 fev. 1998.

CUNHA, L. T. (Org.). **Ciências exatas e da terra: conhecimentos estratégicos para o desenvolvimento do país**. Brasília: CAPES, 2020. Cap. 15, p. 183–198.

DALMOLIN, Ricardo Simão Diniz; BECKER, Elsbeth Léia Spode; BURIOL, Galileo Adeli; STRECK, Nereu Augusto. **Clima e distribuição dos solos zonais no Rio Grande do Sul – Brasil**. Revista Geografar, Curitiba, v. 12, n. 1, p. 112–129, jan./jun. 2017.

DESCOVI FILHO, L. L. V. **Subsídios para gestão das águas subterrâneas na Bacia Hidrográfica do Rio Santa Maria/RS**. 2009. 140 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2009.

DIONÍSIO, J. A. et al. **Guia prático de biologia do solo**. Curitiba: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo/Núcleo Estadual Paraná; Universidade Federal do Paraná, 2016. 152 f. ISBN 978-85-69146-00-1.

FORMIGA, A. C. S. **Variação espaço/temporal da qualidade de água subterrânea do município de Juazeiro do Norte – CE**. 2015. 107 f. Dissertação (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Pombal, 2015.

FRANTZ, L. C. **Avaliação do índice de vulnerabilidade do aquífero Guarani no perímetro urbano da cidade de Sant’Ana do Livramento – RS**. 2005. 133 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

FURTADO, Z. N. C. **Vulnerabilidade dos recursos hídricos subsuperficiais na área urbana central do município de Araçatuba-SP**. 2007. 157 f. Dissertação

(Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Ilha Solteira, 2007.

IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Manual técnico de pedologia**. 3. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2015. 430 f. (Manuais Técnicos em Geociências, n. 4). ISBN 978-85-240-4359-8.

KEMERICH, P. D. C. et al. Determinação de metais no solo ocupado por necrópole no Sul do Brasil: uso da técnica de fluorescência de raios-X (XRF). **Anuário do Instituto de Geociências (UFRJ)**, v. 45, p. 39603, 2022. Disponível em: https://doi.org/10.11137/1982-3908_2022_45_39603. Acesso em: 22 maio 2025.

LINHARES, F. M. **Vulnerabilidade intrínseca e risco de contaminação do aquífero livre da bacia hidrográfica do Rio Gramame – PB**. 2012. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

MATOS, B. A. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha, Município de São Paulo**. 2001. 172 f. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2001.

MORANDI, L. **Análise de contaminação do solo no cemitério de Nova Hartz – RS**. 2022. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental e Sanitária) – Universidade Federal de Santa Maria, Frederico Westphalen, 2022.

MORANDI, L. et al. Soil contamination in a cemetery area: a case study in Nova Hartz City—RS, Brazil. **Environmental Sciences Europe**, v. 36, n. 95, 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1186/s12302-024-00864-2>. Acesso em: 22 maio 2025.

MOTA JÚNIOR, J. A. P. **Diagnóstico ambiental de cemitérios – Estudo de caso São Luís do Maranhão**. 2012. 122 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental) – Universidade Federal da Paraíba, João Pessoa, 2012.

NASCIMENTO, F. L.; SENHORAS, E. M.; FALCÃO, M. T. Necrópoles e os impactos ambientais: cemitério público municipal, Boa Vista-RR. **Revista Acesso Acadêmico**, Goiânia, v. 4, n. 2, p. 236–256, jul./dez. 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.18224/baru.v4i2.687>. Acesso em: 22 maio 2025.

PAVLENKO, I. V. et al. Nutritional medium for differentiation of malignant anthrax. **IOP Conference Series: Earth and Environmental Science**, v. 548, p. 042005, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.1088/1755-1315/548/4/042005>. Acesso em: 22 maio 2025.

PEDRON, F. A. et al. Levantamento e classificação de solos em áreas urbanas: importância, limitações e aplicações. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 13, n. 2, p. 147–151, abr./jun. 2007. Disponível em: <https://periodicos.ufpel.edu.br/ojs2/index.php/CAST/article/view/2014>. Acesso em: 23 maio 2025.

PEDRON, Fabrício de Araújo; PEREIRA, Marcos Gervasio (Ed.). **Compêndio de Solos do Brasil: Volume 1**. 1. ed. Santa Maria, RS: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo – Núcleo Regional Sul, 2024 [1, 2].

PINHEIRO JUNIOR, C. R. et al. **Solos do Brasil: gênese, classificação e limitações ao uso**. In: CUNHA, L. T. (Org.). Ciências exatas e da terra: conhecimentos estratégicos para o desenvolvimento do país. Brasília: CAPES, 2020. Cap. 15, p. 183–198.

RESENDE, Mauro et al. Princípios da classificação dos solos. In: KER, João Carlos et al. (ed). **Pedologia: fundamentos**. Viçosa, MG: SBC, 2012. p.22-23

ROCHA, L. A. G. **Estudo do potencial contaminante do Cemitério Jardim, Botucatu – SP**. 2016. 103 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia – Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

RODRIGUES, N. C.; CORREIA, D. (Orgs.). **A química dos solos: uma perspectiva de aprendizagem ativa**. Campo Grande: Ed. UFMS, 2022. 92 f. ISBN 978-65-89995-39-5.

RONQUIM, C. C. **Conceitos de fertilidade do solo e manejo adequado para as regiões tropicais**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2010. 26 f. (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento, 8). ISBN não informado.

SANTOS, A. G. S. **Qualidade da água subterrânea utilizada para consumo humano no entorno do Cemitério do Campo Santo em Salvador/BA**. 2014. 178 f. Dissertação (Mestrado em Saúde, Ambiente e Trabalho) – Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2014.

SANTOS, H. G. dos et al. **Sistema Brasileiro de Classificação de Solos**. 5. ed., rev. e ampl. Brasília, DF: Embrapa, 2018. 356 f. ISBN 978-85-7035-800-4.

SILVA, A. L. C.; SANTOS, R. N. E. S. Vulnerabilidade natural à contaminação do aquífero da Ilha de Colares (PA): subsídios para a gestão dos recursos hídricos. **Research, Society and Development**, v. 11, n. 6, e11411628895, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.33448/rsd-v11i6.28895>. Acesso em: 22 maio 2025.

SILVA, F. C. da et al. Utilização de técnicas geofísicas para análise de metais traço em zona de solo não saturado de cemitério. **Geociências (UNESP)**, v. 41, n. 2, p. 517–525, 2022.

SILVA, P. L. **Análise da água de poços profundos e rasos em Goiânia e Aparecida de Goiânia: subsídios a programas ambientais e de saúde pública**. 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais e Saúde) – Universidade Católica de Goiás, Goiânia, 2006.

SOBRAL, L. F.; BARRETTO, M. C. V.; SILVA, A. J.; ANJOS, J. L. dos. **Guia prático para interpretação de resultados de análises de solo**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 2015. 13 f. (Documentos / Embrapa Tabuleiros Costeiros, 206).

STIPP, M. E. F.; SILVA, M. A.; BERTACHI, M. H. Caracterização de impactos ambientais visuais causados por cemitérios em cidades de grande porte: estudo de caso do cemitério São Pedro na cidade de Londrina-PR. **Revista Geografia e Pesquisa**, Ourinhos, v. 5, n. 2, p. 99–118, 2011.

STRECK, Edemar Valdir; KAË, Nestor; DE ALMEIDA, José Antonio; KLAMT, Egon; NASCIMENTO, Paulo César; SCHNEIDER, Paulo; GIASSON, Elvio; PEREIRA, Patrícia. **Solos do Rio Grande do Sul**. 2. ed. Porto Alegre: EMATER/RS, 2008. 222 p.

TEDESCO, A. M. **Avaliação da vulnerabilidade das águas subterrâneas por meio dos métodos AHP e TOPSIS**. 2018. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, 2018.

TIECHER, T. **A química antes da química do solo**. Frederico Westphalen: URI – Universidade Regional Integrada do Alto Uruguai e das Missões, 2015. 92 f. ISBN 978-85-7796-168-9.

TORRADO, P. V. **Solos do Brasil: características gerais**. Piracicaba: ESALQ-USP, 2020, 34p.

ZINA, I. **Avaliação da contaminação por nitrato e metais pesados na água subterrânea e superficial: estudo de caso do entorno do cemitério São Pedro – Londrina-PR**. 2015. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Ambiental) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2015.