

---

**CIÊNCIAS BIOLÓGICAS**

---

**GUILHERME HUBERTUS LUYTEN BEDRIKOW**

**AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE E PERSISTÊNCIA DE CONTAMINANTES DO  
NÉCROCHORUME EM SOLO, POR MEIO DE SIMULAÇÃO DE  
CONTAMINAÇÃO DE CEMITÉRIOS, REALIZADA COM INUMAÇÕES DE  
CARÇA SUÍNA**

Orientadora: Profa. Dra. Maria Aparecida Marin Morales  
Coorientadora: Ma. Letícia Rosa de Souza

Rio Claro - SP  
2025



GUILHERME HUBERTUS LUYTEN BEDRIKOW

**AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE E PERSISTÊNCIA DE CONTAMINANTES DO  
NECROCHORUME EM SOLO, POR MEIO DE SIMULAÇÃO DE  
CONTAMINAÇÃO DE CEMITÉRIOS, REALIZADA COM INUMAÇÕES DE  
CARÇA SUÍNA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado  
ao Instituto de Biociências – Campus de Rio  
Claro, da Universidade Estadual Paulista “Júlio  
de Mesquita Filho”, para obtenção do grau de  
Bacharel em Ciências Biológicas.

Orientadora: Profa. Dra. Maria Aparecida Marin Morales  
Coorientadora: Ma. Letícia Rosa de Souza

Rio Claro - SP  
2025

B413a

Bedrikow, Guilherme Hubertus Luyten

Avaliação da toxicidade e persistência de contaminantes do necrochorume em solo, por meio de simulação de contaminação de cemitérios, realizada com inumações de carcaça suína / Guilherme Hubertus Luyten Bedrikow. -- Rio Claro, 2025

40 p. : tabs., fotos

Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Ciências Biológicas) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Instituto de Biociências, Rio Claro

Orientadora: Maria Aparecida Marin Marin-Morales

Coorientadora: Leticia Rosa de Souza

1. Cemitérios. 2. Toxicologia. 3. Solos Poluição. 4. Alface. 5. Cebola. I. Título.

GUILHERME HUBERTUS LUYTEN BEDRIKOW

**AVALIAÇÃO DA TOXICIDADE E PERSISTÊNCIA DE  
CONTAMINANTES DO NECROCHORUME EM SOLO, POR MEIO DE  
SIMULAÇÃO DE CONTAMINAÇÃO DE CEMITÉRIOS, REALIZADA  
COM INUMAÇÕES DE CARÇA SUÍNA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao  
Instituto de Biociências – Câmpus de Rio Claro, da  
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita  
Filho”, para obtenção do grau de Bacharel em  
Ciências Biológicas


BANCA EXAMINADORA:

Prof. Dr. Maria Aparecida Marin Morales


Prof. Dr. Dânia Elisa Christofolletti Mazzeo Morales

Prof. Dr. Vanessa Bellini Bardella


Aprovado em: 15 de dezembro de 2025

Documento assinado digitalmente  
 **GUILHERME HUBERTUS LUYTEN BEDRIKOW**  
Data: 15/12/2025 02:29:46-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) discente

Documento assinado digitalmente  
 **MARIA APARECIDA MARIN MORALES**  
Data: 16/12/2025 04:55:58-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) orientador(a)

Documento assinado digitalmente  
 **LETICIA ROSA DE SOUZA**  
Data: 16/12/2025 12:06:05-0300  
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Assinatura do(a) coorientador(a)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais, Christiane e Rubens, por continuarem a apoiar incondicionalmente minha graduação, me fornecendo todo o suporte necessário para que chegasse até aqui, sempre com muito amor. Seu apoio foi essencial e eu amo muito vocês!

Agradeço aos meus irmãos, Sofia, Frederico, Gabriel, Paula e Guilherme, pelo companheirismo e pela ajuda enquanto eu morava em outra cidade. Obrigado por cuidarem de tudo e sempre estarem presentes para mim.

À minha orientadora, Profa. Dra. Marin, por me receber em seu grupo de pesquisa e por sua orientação atenciosa e comprometida, sempre disponível para ouvir, propor ajustes e acompanhar cada etapa do percurso. Sua postura acolhedora desde o início foi fundamental para a realização deste trabalho e para a construção de um ambiente de colaboração e amizade no laboratório.

À minha coorientadora, Me. Letícia Rosa de Souza, por estar presente em todas as etapas e oferecer apoio com muita didática, paciência e alegria. Sua dedicação ao me orientar foi indispensável para que eu conseguisse concluir a pesquisa.

Agradeço também aos meus colegas de laboratório: Letícia Rocha, Letícia Gigeck, Júlia, Beatriz, Ana, Rubens, Yuji, Brabs e Alfredo. Obrigado por todos os ensinamentos e por tornarem o laboratório um espaço acolhedor e de companheirismo. Vocês mostraram que a ciência acontece melhor quando é praticada coletivamente.

À Adriana, técnica do nosso laboratório, cuja dedicação torna possível o funcionamento de todas as pesquisas. Agradeço pelo esforço em garantir que nada falte e que tudo funcione de forma organizada, admiro sua atenção em se manter atualizada sobre as práticas e protocolos mais recentes e sua disponibilidade em doar seu tempo e conhecimento para todos que necessitarem!

Ao Instituto de Biociências de UNESP de Rio Claro e ao Laboratório de Mutagênese Ambiental (LMA) por oferecer toda a infraestrutura necessária para a realização deste projeto de conclusão de curso.

Aos meus amigos, que foram presença constante na minha vida desde o momento em que cheguei em Rio Claro.

E, por fim, gostaria de agradecer aos meus avós e à minha madrasta, Maria Filomena, que não estão mais aqui, mas deixam muitas saudades e a certeza de que foram essenciais para que eu me tornasse quem sou. Amo vocês!

## RESUMO

A principal fonte de poluição associada a cemitérios decorre dos compostos liberados durante a putrefação dos corpos, presentes no necrochorume. Esse fluido é constituído por cerca de 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas, entre as quais se destacam as aminas biogênicas cadaverina e putrescina, reconhecidas pelo seu potencial tóxico e carcinogênico para humanos. Evidências também indicam que essas aminas interferem em processos fisiológicos de plantas superiores, incluindo divisão celular, embriogênese somática, crescimento radicular e desenvolvimento floral e frutífero. Considerando o impacto ambiental das atividades cemiteriais, este estudo investigou os efeitos tóxicos, citogenotóxicos e mutagênicos de solos contaminados por necrochorume, simulados em ambiente controlado a partir da inumação de suínos (*Sus scrofa domesticus*). Ensaio foram conduzidos com *Allium cepa* e *Lactuca sativa*, reconhecidas bioindicadoras de citogenotoxicidade e mutagenicidade devido à sua alta sensibilidade à contaminação ambiental. Em *L. sativa*, observou-se inibição significativa do crescimento radicular e do hipocótilo em solos contaminados e em seus extratos solubilizados, indicando persistência do efeito fitotóxico. Os testes com *A. cepa* revelaram alterações cromossômicas e nucleares associadas à genotoxicidade e ao potencial mutagênico, incluindo micronúcleos, pontes cromossômicas, perdas e C-metáfases, derivadas de efeitos aneugênicos e clastogênicos. Esses resultados comprovam a persistência a longo prazo dos efeitos tóxicos do necrochorume no solo e reforçam a necessidade de monitoramento ambiental em áreas cemiteriais, especialmente frente ao risco de dispersão dos contaminantes para o solo e para águas subterrâneas.

**Palavras-chaves:** *Allium cepa*; *Lactuca sativa*; simulação de contaminação em cemitérios; cadaverina; putrescina; persistência de toxicidade.

## ABSTRACT

The main source of pollution associated with cemeteries arises from the compounds released during the putrefaction of bodies, present in necroleachate. This fluid is composed of approximately 60% water, 30% mineral salts, and 10% organic substances, among which the biogenic amines cadaverine and putrescine stand out due to their recognized toxic and carcinogenic potential in humans. Evidence also indicates that these amines interfere with key physiological processes in higher plants, including cell division, somatic embryogenesis, root growth, and floral and fruit development. Considering the environmental impact of cemetery activities, this study investigated the toxic, cytogenotoxic, and mutagenic effects of soils contaminated with necroleachate, simulated under controlled conditions using pig (*Sus scrofa domestica*) burials. Bioassays were conducted with *Allium cepa* and *Lactuca sativa*, widely recognized as bioindicators of cytogenotoxicity and mutagenicity due to their high sensitivity to environmental contaminants. In *L. sativa*, significant inhibition of root and hypocotyl growth was observed in contaminated soils and their solubilized extracts, demonstrating the persistence of phytotoxic effects. Assays with *A. cepa* revealed chromosomal and nuclear alterations associated with genotoxicity and mutagenic potential, including micronuclei, chromosomal bridges, losses, and C-metaphases, derived from both aneugenic and clastogenic effects. These findings demonstrate the long-term persistence of necroleachate toxicity in soils and highlight the urgent need for environmental monitoring in cemeteries, particularly given the risk of contaminant dispersion into soil and groundwater resources.

**Keywords:** *Allium cepa*; *Lactuca sativa*; cemetery contamination simulation; cadaverine; putrescine; persistence of toxicity.

## SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO .....	9
2	OBJETIVOS.....	13
2.1	Objetivo geral .....	13
2.2	Objetivos específicos .....	13
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	14
3.1	Histórico dos cemitérios e evolução das práticas de sepultamento .....	14
3.2	Contaminação ambiental em cemitérios e legislação aplicável.....	16
3.3	Fases do processo de decomposição.....	17
3.4	Necrochorume: composição e impactos ambientais.....	17
3.6	Modelos experimentais de decomposição .....	19
3.7	Bioindicadores vegetais .....	20
4	MATERIAL E MÉTODOS .....	22
4.1	Experimento de inumação com carcaças suínas .....	22
4.2	Coleta e homogeneização de amostras de solo .....	23
4.3	Cálculo da capacidade de retenção de água no solo (WHC) .....	24
4.4	Preparo dos extratos solubilizados do solo .....	24
4.5	Bioensaios com <i>Lactuca sativa</i> .....	25
4.6	Bioensaios com <i>Allium cepa</i> .....	26
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	29
5.1	Bioensaio com <i>Lactuca. sativa</i> .....	29
5.2	Bioensaio com <i>Allium cepa</i> .....	32
6	CONCLUSÃO .....	35
7	REFERÊNCIAS .....	36

## 1 INTRODUÇÃO

Durante a história da sociedade humana, existiram diferentes práticas relacionadas à inumação de corpos. Uma das evidências mais antigas desse hábito foi encontrada no Quênia, em uma cova escavada há, aproximadamente, 78 mil anos, que continha os restos mortais de uma criança. A disposição do corpo e os indícios de decomposição no local indicaram que a cova foi propositalmente preenchida com terra, demonstrando que o enterro já era uma prática utilizada no Paleolítico Médio (TORRES et al., 2021). Porém, as inumações realizadas em ambientes específicos, para recebimento de cadáveres (cemitérios), só ocorreram milênios depois. Os indícios da existência desses ambientes datam de mais de 13 mil anos (CREVECOUER, 2021).

Por volta do século X, as igrejas europeias assumiram, de forma exclusiva, a responsabilidade pelos sepultamentos, o que contribuiu para a delimitação dos limites paroquiais e para o fortalecimento das relações com a população local (ZADORA-RIO, 2020). Essa prática foi amplamente utilizada durante séculos. No Brasil, o sepultamento em igrejas perdurou até a primeira metade do século XIX quando, por questões sanitárias, estabeleceu-se que a responsabilidade pelos rituais mortuários passaria para o Estado. Na época, acreditava-se que a elevada concentração de corpos no interior dos templos religiosos gerava grande quantidade de miasmas no ar, que comprometia a saúde pública. Durante a epidemia de febre amarela no Rio de Janeiro, nas décadas de 1870 e 1880 a proliferação da doença foi atribuída aos miasmas, o que levou a defesa de que os cemitérios fossem construídos longe dos centros urbanos (VIDAL, 2025). Esta medida serviu de modelo para diversos municípios brasileiros, que instituíram as suas próprias necrópolis, com o objetivo de reduzir riscos sanitários, como o Cemitério da Consolação, inaugurado em São Paulo em 1858 (PREFEITURA DE SÃO PAULO, 2016). A construção dos cemitérios na área periférica das cidades foi uma medida importante para reduzir a exposição da população aos contaminantes derivados da putrefação dos corpos sepultados. Entretanto, o crescimento populacional e a expansão urbana, levaram à reaproximação dos cemitérios aos centros urbanos, o que favoreceu a reincidência dos problemas sanitários e acarretou em impactos ambientais, como a contaminação do solo e de recursos hídricos por produtos da decomposição cadavérica (NECKEL et al., 2020). Um dos principais agentes responsáveis pela poluição associada aos cemitérios é o necrochorume, um subproduto da putrefação que tem odor repulsivo, que é capaz de ocasionar severos problemas sanitários e ambientais (LONGATTI, SANTOS e PERON, 2020). Sua liberação ocorre,

predominantemente, no primeiro ano após o sepultamento (COSTA SILVA e FILHO, 2008), podendo atingir volumes significativos deste exudado (um corpo de 70 kg libera cerca de 40 L deste líquido). O necrochorume apresenta cor marrom acinzentada, característica viscosa, cheiro desagradável e densidade maior que a água (AZEVEDO; CARDOSO; COHEN, 2023), o que favorece a sua dispersão e infiltração em diferentes estratos do subsolo. Esse líquido é composto de 60% de água, 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas. Ele contém metais como Cu, Fe, Zn, Mn, Pb, que podem prejudicar a saúde, tais como danos renais, problemas neuromusculares e indução de desenvolvimento de tumores (NECKEL et al., 2017). Além dos compostos inorgânicos, o necrochorume pode conter organismos patogênicos, como vírus e bactérias. Dentre os compostos orgânicos do necrochorume, estão as aminas biogênicas voláteis cadaverina (C<sub>5</sub>H<sub>14</sub>N<sub>2</sub>) e putrescina (C<sub>4</sub>H<sub>12</sub>N<sub>2</sub>) (NECKEL 2017), que apresentam potencial tóxico e carcinogênico para humanos (BRAGA et al., 2024).

As aminas biogênicas são substâncias derivadas de descarboxilação de aminoácidos, por meio de biossíntese e processos enzimáticos (WÓJCIK; LUKASIEWICZ; PUPPEL, 2020). A diamina alifática cadaverina (1,5-diaminopentano) é produzida pela descarboxilação do aminoácido lisina intracelular, mediada pela enzima lisina descarboxilase (ZHOU et al., 2020). Já a poliamina putrescina é formada a partir do aminoácido ornitina, pela reação catalisada pela enzima ornitina descarboxilase. A ornitina, por sua vez, é originada da clivagem do aminoácido arginina, por uma reação catalisada pela arginase (LI et al., 2016). Em baixas concentrações, são essenciais para as funções fisiológicas, como manutenção da viabilidade celular, síntese proteica e replicação do DNA. Entretanto, quando em concentrações elevadas, podem ser tóxicas (WÓJCIK; LUKASIEWICZ; PUPPEL, 2020). As aminas biogênicas podem promover a indução e propagação de células tumorais (BI et al., 2024) e servir como bioindicadores da presença de tumores (AMIN et al., 2021). Alguns estudos sugerem ainda que, em níveis elevados, a cadaverina e a putrescina podem interferir em vários processos do desenvolvimento de plantas superiores, como na divisão celular, na embriogênese somática e no crescimento das raízes (BRAGA et al., 2023).

No Brasil, a maior parte dos cemitérios tem construções antigas que, não necessariamente, atendem às determinações atuais. Além disso, o clima tropical acelera a decomposição dos corpos e o alto índice pluviométrico faz com que o necrochorume se disperse mais facilmente pelo solo (AZEVEDO; CARDOSO; COHEN; 2023).

Com o objetivo de conter a dispersão dos contaminantes provenientes de cemitérios, foram estabelecidas normativas brasileiras para o licenciamento ambiental de novos cemitérios, como a Resolução CONAMA nº. 335, de 03/04/2003, e a Resolução CONAMA 402, de 17/11/2008. Essas diretrizes definem critérios específicos relacionados às características do solo e dos corpos hídricos subterrâneos, visando assegurar a adequação do terreno para a implantação dos cemitérios. Entre os fatores considerados destacam-se o coeficiente de permeabilidade, a capacidade de troca iônica, a granulometria, a mineralogia do solo, bem como a profundidade dos aquíferos em relação ao corpo sepultado. Tais parâmetros são essenciais para garantir a retenção, no solo, das partículas orgânicas e inorgânicas liberadas durante o processo de decomposição (GONÇALVES et al., 2023). Isto porque, se material geológico não for adequado, ou se houver acúmulo de água, o solo pode perder sua capacidade de retenção, permitindo a migração de elementos como vírus, bactérias e as amins biogênicas, para as camadas mais profundas do solo ou mesmo seu carreamento até os lençóis freáticos, aumentando o risco de proliferação de doenças e contaminação química da água subterrâneas (AZEVEDO; CARDOSO; COHEN; 2023). Considerando o impacto ambiental associado às atividades dos cemitérios, torna-se essencial a realização de avaliações que permitam não apenas identificar os efeitos danosos da decomposição cadavérica para o solo, mas também definir estratégias eficazes para o controle da contaminação. A avaliação do potencial citogenotóxico e mutagênico de substâncias, ou de amostras ambientais, deve ser conduzida por meio de bioindicadores sensíveis, capazes de diagnosticar o impacto dos contaminantes sobre o ecossistema (ASIF, 2017).

Os efeitos da exposição a contaminantes costumam ser avaliados por meio de modelos animais. Considerando as limitações éticas que impedem a investigação direta da contaminação de necrochorume oriundos da decomposição humana, é comum usar animais que apresentem similaridade nos processos putrefativos com o homem. O porco doméstico (*Sus scrofa domesticus*) é o modelo mais utilizado para este fim, por apresentar semelhanças anatômicas e de decomposição com o ser humano, como a baixa presença de pelos, massa corporal parecida e tempo de decomposição semelhante. Adicionalmente, o fato do porco apresentar hábitos alimentares onívoros, similares aos dos humanos, permite a extrapolação dos dados obtidos em sua putrefação para a decomposição humana, além de contribuir para a definição de parâmetros forenses, como a estimativa do intervalo pós-morte e a caracterização dos estágios de decomposição (MATUSZEWSKI et al., 2017). A decomposição de suínos, à semelhança da

humana, libera compostos orgânicos como cadaverina e putrescina, que estão presentes no necrochorume (SUN et al., 2022).

A avaliação da contaminação do solo por necrochorume tem sido realizada, com sucesso, com os bioindicadores *Allium cepa* e *Lactuca sativa* (BRAGA et al., 2024). O uso do bioindicador *A. cepa* permite avaliar a citogenotoxicidade e o potencial mutagênico de amostras de solo (BRAGA et al., 2024), enquanto o teste com *L. sativa* consiste em analisar os parâmetros macroscópicos, como a porcentagem de germinação e o crescimento do eixo radícula/hipocótilo, para determinar a fitotoxicidade (SOBRERA; RONCO, 2004; LIU et al., 2018).

Neste estudo, dois bioindicadores foram utilizados para avaliar os impactos ecotoxicológicos decorrentes da liberação de necrochorume, durante a decomposição cadavérica de dois eventos sucessivos de inumações de carcaça suína no mesmo local (cilindro de simulação). Considerando que o necrochorume apresenta elevado potencial de contaminação de solo e de águas subterrâneas, o que favorece a disseminação de microrganismos patogênicos e substâncias tóxicas, buscou-se compreender seus efeitos de longo prazo sobre organismos vegetais. Assim, este trabalho pretende contribuir para o entendimento dos riscos ambientais associados às atividades cemiteriais e ressaltar a importância de estratégias mitigadoras, como a impermeabilização do solo e a adoção de medidas de planejamento urbano.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 Objetivo geral

O objetivo deste estudo foi avaliar os efeitos fitotóxicos, citogenotóxicos e o potencial mutagênico de uma amostra composta de solo contaminado por necrochorume, bem como de seu extrato solubilizado, provenientes de dois eventos sucessivos de inumação de carcaças suínas em um mesmo local experimental. Para essa avaliação, foram realizados bioensaios com os bioindicadores *Lactuca sativa* (alface) e *Allium cepa* (cebola).

### 2.2 Objetivos específicos

- Simular um ambiente de cemitério, pela inumação de uma carcaça suína (modelo animal *Sus scrofa domesticus*), em ambiente controlado, para avaliar os efeitos biológicos associados aos contaminantes de cemitérios, em específico o necrochorume; provenientes de dois eventos sucessivos de inumação de carcaças suínas em um mesmo local experimental;
- Coletar amostras de solos de diferentes estratos do solo de um cilindro metálico (cilindro de simulação), para preparar uma amostra compostas, simulando a contaminação de solos de cemitérios, que passam por inumações sucessivas; no mesmo local;
- Avaliar os efeitos fitotóxicos da amostra composta de solo e de seu extrato solubilizado, contaminados com necrochorume, por meio de bioensaios realizados com *L. sativa*;
- Avaliar os efeitos citogenotóxicos e o potencial mutagênico da amostra composta de solo e de seu extrato solubilizado, contaminados com necrochorume, por meio de bioensaios realizados com *A. cepa*;
- Correlacionar os resultados obtidos nos diferentes bioensaios, para inferir sobre a persistência dos contaminantes do necrochorume no solo e sua capacidade de manter efeitos tóxicos, mesmo em amostras compostas provenientes de diferentes profundidades.

### 3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 Histórico dos cemitérios e evolução das práticas de sepultamento

Diversas evidências conhecidas de sepultamentos intencionais apontam que a prática ocorre desde o Paleolítico Médio. Um dos exemplos mais significativos provém dos sítios de Qafzeh e Skhul, datados de, aproximadamente, 120 a 90 mil anos atrás. Nas camadas inferiores desses sítios foram encontrados artefatos líticos de sílex, ossos de animais, uma coleção de conchas marinhas e fragmentos de ocre vermelho, indicando práticas de sepultamento intencional. A disposição intencional dos corpos em posições anatomicamente corretas, muitas vezes em covas escavadas e acompanhados de objetos sem função utilitária direta, sugere comportamentos com possível caráter simbólico ou ritualístico (VANDERMEERSCH e BAR-YOSSEF, 2019; MAYER et al., 2009)

Outro conjunto importante de evidências provém do sítio de Panga ya Saidi, no Quênia, onde foi encontrado o esqueleto parcial de uma criança de cerca de 2 a 3 anos, sepultada em posição flexionada há aproximadamente 78 mil anos. O sítio apresenta sinais de decomposição *in situ*. O corpo foi colocado em uma cavidade escavada, e as articulações do esqueleto foram pouco deslocadas, o que indica um enterro deliberado e que a cova foi preenchida por terra (MARTÍNÓN-TORRES et al., 2021). De forma semelhante, outros sítios paleolíticos, como Shanidar, no Iraque, fornecem evidências de enterros propositais de Neandertais. Em Shanidar, a posição dos corpos e o indício de enterros sucessivos demonstram a intencionalidade da prática. Esses achados mostram que os humanos realizavam sepultamentos deliberados há dezenas de milhares de anos, envolvendo manipulação intencional dos corpos, cuidado e possíveis práticas simbólicas e que essa atividade poderia estar presente, inclusive, em outros homínídeos (SISSAKIAN, 2019).

Conforme os humanos se organizaram em sociedades, as práticas de inumação se tornaram cada vez mais comuns e elaboradas, em sua maioria ligadas a práticas religiosas. Um grande exemplo disso é o Egito Antigo, onde ocorriam práticas mortuárias com grandes níveis de detalhamento e rituais complexos. Entretanto, é possível observar desde aquela época a diferenciação entre enterros de membros da elite e da população trabalhadora: os primeiros costumavam ser enterrados com monumentos adornando seus túmulos e objetos em seu interior, muitas vezes com seus corpos embalsamados, o que era importante para sua vida após a morte.

À classe trabalhadora restavam os enterros simples e sem rituais, com indícios de que muitos talvez nem fossem colocados em covas (BAINES e LACOVARA, 2002).

Durante a Alta Idade Média, diversas práticas mortuárias eram realizadas na Europa, com registros de cremação e enterros em camas (BROWNLEE, 2022; LIPPOK, 2020), além de muitas outras práticas, de acordo com as culturas locais.

À medida que a influência da Igreja Católica se consolidou, os ritos funerários passaram a ser padronizados. No século X, as igrejas passaram a exercer controle quase absoluto sobre os sepultamentos, estabelecendo-se como o único local legítimo para o enterro de membros da comunidade paroquial (ZADORA-RIO, 2020). Posteriormente, se tornou ilegal que os “maus mortos”, como excomungados e criminosos, fossem enterrados em solos sagrados, privando-os de práticas ou locais estabelecidos para seus enterros (VIVAS, 2016).

Entretanto, em períodos de crise, como guerras, fome ou epidemias, a elevada taxa de mortalidade exigiu a criação de valas coletivas, muitas vezes improvisadas e realizadas às pressas, como forma de evitar a disseminação de doenças e lidar com o grande número de cadáveres. Apesar de sua natureza desorganizada, estas valas possuem grande valor histórico, pois permitem analisar as condições de vida e de morte dos indivíduos nelas enterrados (WILLMOTT et al., 2020; BRZOBOHATÁ, 2019).

Com o avanço da Revolução Industrial e a rápida urbanização das cidades europeias, os problemas sanitários ligados aos sepultamentos em áreas centrais tornaram-se ainda mais evidentes. A superlotação dos cemitérios paroquiais, associada à recorrência de epidemias como a cólera, levou à implementação de reformas cemiteriais, como o Burial Act de 1857, na Inglaterra. Essas reformas tinham como objetivo transferir os locais de inumação para áreas periféricas, criar cemitérios organizados e regulamentar práticas de sepultamento, que garantissem uma melhor saúde pública bem como um tratamento adequado dos mortos. (PORTIER, 2024; BURIAL ACT, 1857).

No Brasil, as práticas funerárias continuaram firmemente ligadas às igrejas até a segunda metade do século XIX, refletindo sua importância na organização social. Entretanto, após um surto de febre amarela, que ocorreu no Rio de Janeiro entre 1849 e 1850, foi implementada uma reforma sanitária por uma Junta de Higiene Pública, que removeu a responsabilidade dos sepultamentos e cuidado dos mortos das igrejas, passando essa função para o Estado (atribuições do município), com o objetivo de conter a proliferação de miasmas, tidos como responsáveis pela proliferação da epidemia (VIDAL, 2015).

A reforma no Rio de Janeiro foi seguida por municípios de outros estados, como a construção do cemitério da Consolação, em São Paulo e do cemitério de Santo Amaro, no Pernambuco, ambos regulados pelos municípios (CASTRO et al., 2024; Prefeitura de São Paulo, 2016).

Com o crescimento urbano acelerado nas últimas décadas, muitos cemitérios, inicialmente localizados em áreas periféricas, passaram a se encontrar próximos a zonas residenciais. Esse fenômeno tem gerado preocupações ambientais e sociais significativas, pois o necrochorume, líquido resultante da decomposição de corpos, pode infiltrar-se no solo, contaminando recursos hídricos e representando riscos à saúde pública (MORANDI et al., 2024).

### **3.2 Contaminação ambiental em cemitérios e legislação aplicável**

A atividade cemiterial, embora desempenhe papel relevante nas práticas culturais e religiosas, pode representar uma fonte significativa de contaminação ambiental, especialmente em áreas urbanas densamente habitadas. O necrochorume, líquido resultante da decomposição cadavérica, contém substâncias orgânicas e inorgânicas que, se não forem manejadas adequadamente, podem infiltrar-se no solo e atingir os lençóis freáticos, comprometendo a qualidade da água subterrânea e representando riscos à saúde pública.

Diversos fatores ambientais influenciam a dispersão dos contaminantes provenientes dos cemitérios. A precipitação pluviométrica e a temperatura, por exemplo, afetam tanto a taxa de infiltração do necrochorume no solo quanto a sua percolação até os aquíferos subterrâneos. O tipo de solo também exerce papel importante dependentes das suas características de porosidade e granulometria, área superficial, estrutura química, pois podem determinar a capacidade de retenção/dispersão de elementos químicos e biológicos, como as aminas biogênicas e microrganismos patogênicos (p.ex. bactérias, fungos e vírus). Outros fatores, como o pH do solo, o teor de nutrientes e o conteúdo de oxigênio, determinam a sobrevivência e reprodução desses agentes biológicos (MASSAS et al., 2017).

Múltiplos estudos realizados em cidades como Lages (SC) e Carazinho (RS) comprovam a contaminação do solo e das águas subterrâneas com contaminantes microbiológicos e químicos, provenientes da decomposição cadavérica em cemitérios. (NECKEL et al., 2021; BAUM et al., 2022).

No Brasil, a Resolução CONAMA nº 335, de 3 de abril de 2003 estabelece Diretrizes para a instalação de cemitérios, como por exemplo, o respeito à distância entre o nível inferior das sepulturas e o lençol freático, que deve ter, no mínimo, um metro e meio; e a área de sepultamento, que deve estar a mais de cinco metros do perímetro do cemitério. A resolução ainda fala sobre a composição granulométrica do solo e as áreas proibidas para a construção.

### **3.3 Fases do processo de decomposição**

Após a morte, os tecidos moles entram rapidamente em decomposição, passando por estágios naturais de degradação enzimática e bacteriana. Neste período da decomposição, os microrganismos presentes no intestino e na superfície do corpo desempenham um papel crucial no processo putrefativo, liberando um líquido orgânico denominado necrochorume. A quantidade e a mobilidade desse fluido variam de acordo com fatores ambientais, como disponibilidade de oxigênio, umidade e características do solo (POPOOLA et al., 2022).

Com o avanço do processo de degradação dos tecidos moles, restam apenas ossos, dentes e cartilagem, que vão se decompondo quimicamente ao longo do tempo (JANAWAY et al., 2009; IOAN et al., 2017.) Em condições ambientais específicas de pH e disponibilidade de oxigênio, podem ocorrer processos de mumificação ou saponificação (DENT et al., 2003).

A classificação das fases da decomposição cadavérica varia conforme os pesquisadores e as condições geográficas, podendo abranger de quatro a seis estágios (Carter et al., 2007; Hau et al., 2014). Reed (1958) e Shean, Messinger e Papworth (1993), a partir de estudos com carcaças de porcos, propuseram quatro fases: fresca, inchaço corporal, decomposição avançada e esqueletização. Payne (1965), em pesquisas com filhotes de porco, definiu seis estágios: fresca, inchaço corporal, decomposição ativa, decomposição avançada, fase seca e remanescentes corporais. Já Galloway et al. (1989, 1997), baseando-se em casos forenses, identificaram cinco fases: fresco, decomposição inicial, decomposição avançada (com extravasamento de necrochorume), esqueletização e decomposição extrema (com destruição dos restos ósseos). Essa última classificação permanece amplamente empregada na antropologia forense (WESCOTT, 2018).

### **3.4 Necrochorume: composição e impactos ambientais**

O necrochorume é o líquido viscoso, de odor desagradável, gerado pela decomposição cadavérica e resultado da putrefação dos tecidos moles. É um importante vetor de contaminação

ambiental. Em cemitérios, a decomposição dos corpos humanos pode causar poluição das águas subterrâneas devido à percolação dos líquidos provenientes da decomposição. Esses lixiviados aumentam a concentração de substâncias orgânicas e inorgânicas naturalmente presentes, podendo tornar a água subterrânea imprópria para uso (MASSAS et al., 2017).

O necrochorume é composto, principalmente, por sais minerais e subprodutos, potencialmente tóxicos, como dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), metano (CH<sub>4</sub>), amônio (NH<sub>4</sub><sup>+</sup>), nitrato (NO<sub>3</sub><sup>-</sup>) e as aminas biogênicas cadaverina e putrescina. Há ainda a presença de patógenos, como bactérias e vírus (BAUM et al., 2022), e de metais pesados provenientes de peças do caixão e próteses colocadas durante a vida, além de substâncias utilizadas para preservar o corpo para o funeral. Sua densidade é maior do que a da água (1.23g/cm<sup>3</sup>), o que favorece sua percolação e contaminação do solo (BRAGA et al., 2023).

### **3.5. Aminas biogênicas cadaverina e putrescina**

As aminas biogênicas cadaverina e a putrescina são compostos químicos de baixo peso molecular, formados, principalmente, pela descarboxilação de aminoácidos livres, por processos de aminação reductiva, transaminação, ou pela atividade de tecidos corporais. Essas aminas, em níveis fisiológicos, participam de processos essenciais do metabolismo de microrganismos, plantas e animais, como síntese de proteínas e de ácidos nucleicos, crescimento e divisão celular e regulação da pressão arterial e da temperatura corporal. Além disso, influenciam a estabilidade das membranas celulares e a resposta ao estresse (BUŇKOVÁ et al 2010; RABIE, 2011; SIROCCHI et al., 2013; FEDDERN et al., 2019; PARK; LEE; MAH, 2019; SILVA; GLORIA, 2002; NUÑEZ; DEL OLMO; CALZADA, 2016; WÓJCIK; ŁUKASIEWICZ; PUPPEL, 2020).

A cadaverina é produzida a partir da descarboxilação da lisina e participa de processos celulares como crescimento, divisão, transcrição, tradução e morte celular, interagindo com ácidos nucleicos, lipídios e proteínas (HASSAIN et al., 2011). Já a putrescina resulta da descarboxilação da ornitina, derivada da arginina, sendo precursora das poliaminas espermidina e espermina, fundamentais para a proliferação celular (MORGAN, 1998; SVENSSON, 2012). Embora essas aminas sejam essenciais para o metabolismo celular, como já descrito, elas são constituintes básicas do necrochorume, pois são geradas também em processos de decomposição cadavérica. Desta forma, se destacam como importantes contaminantes de ambientes de cemitérios, caracterizando-se como os principais contaminantes desses ambientes.

A presença dessas aminas no ambiente ainda é pouco investigada, mas alguns estudos de ecotoxicologia, alertam para o potencial fitotóxicos e citogenotóxicos em plantas. Ensaio realizados por Braga et al (2024), com o bioindicador *Allium cepa*, demonstraram que essas aminas, em concentrações acima das fisiológicas afetam o ciclo celular mitótico, comprometem a integridade cromossômica e induzem a formação de micronúcleos. Além disso, elas interferem em processos fisiológicos essenciais das plantas, como a germinação, alongação radicular e crescimento do hipocótilo, podendo comprometer o desenvolvimento vegetal, quando presentes no solo em concentrações elevadas (BRAGA et al., 2023). Portanto, a cadaverina e a putrescina funcionam tanto como indicadores de contaminação por necrochorume quanto como ferramentas para avaliar os impactos ecotoxicológicos da poluição de cemitérios.

### **3.6. Modelos experimentais de decomposição**

O estudo da decomposição cadavérica em seres humanos é limitado por fatores éticos e religiosos. Como alternativa, Payne, em 1965, sugeriu a utilização de cadáveres de porcos domésticos (*Sus scrofa*) como análogos a corpos humanos. Na década de 1980, seu uso foi recomendado para estudos forenses e, desde então, é amplamente utilizado para este fim (MATUSZEWSKI et al., 2019).

O porco doméstico apresenta diversas semelhanças com o ser humano que justificam seu uso como organismo modelo em estudos. Ambas as espécies possuem cobertura da pele com poucos pelos; dieta onívora, disposição dos órgãos, microbiota intestinal e processos gerais de decomposição semelhantes. Além disso, os estudos com suínos são de fácil replicação, uma vez que estes animais são relativamente baratos, disponíveis em grande número, com tempo e causa de morte controláveis, características corporais padronizáveis e a possibilidade de trabalhar com cadáveres frescos. Por outro lado, há limitações de seu uso, como diferenças na dieta, proporções corporais diferentes e restrições éticas, quanto ao seu uso. Ainda assim, a utilização de suínos como modelo de inumação humana é considerada válida (MATUSZEWSKI et al., 2019).

Recentemente, o porco doméstico tem sido utilizado, em diversos estudos, como modelo para estudos de decomposição cadavérica do ser humano, como no reparo de danos neurovasculares, ou até mesmo na proliferação de doenças contagiosas e seu impacto no sistema

imune e nas respostas inflamatórias do animal (KINSLEY et al., 2021; PEJCNOVSKA et al., 2025).

### 3.7. Bioindicadores vegetais

A avaliação da contaminação do solo por necrochorume tem sido realizada mundialmente, com sucesso, por meio do uso dos bioindicadores *Allium cepa* e *Lactuca sativa* (BRAGA et al., 2024). Esses organismos vegetais são amplamente utilizados devido à sua sensibilidade e à capacidade de revelar efeitos ecotoxicológicos em diferentes níveis de organização biológica. O bioensaio com *A. cepa*, por exemplo, é reconhecido como um dos métodos mais consistentes para a detecção de efeitos citogenotóxicos e mutagênicos de amostras ambientais, permitindo avaliar parâmetros como o Índice Mitótico (IM), alterações cromossômicas (AC) e alterações nucleares (AN). Essa planta possui cromossomos grandes, em número reduzido ( $2n=16$ ), o que facilita a observação, em microscopia, além de ser de fácil cultivo e baixo custo experimental, o que explica sua ampla aplicação desde a década de 1940 (LEME; MARIN-MORALES, 2009).

O cálculo do IM, obtido pela razão entre células em divisão mitótica e o número total de células analisadas, é um indicador sensível da atividade proliferativa e pode revelar tanto efeitos estimulantes quanto inibitórios do ciclo celular. Já a análise de alterações cromossômicas busca identificar danos estruturais ou numéricos, como perdas, fragmentos, aderências e pontes cromossômicas, que indicam instabilidade genômica (SILVEIRA et al., 2017). A avaliação de micronúcleos, por sua vez, reflete a ocorrência de processos como quebras cromossômicas, falhas na segregação ou poliploidização, resultando em núcleos adicionais que comprometem a integridade celular (LEME; MARIN-MORALES, 2009).

Por outro lado, o bioensaio com *Lactuca sativa* é amplamente recomendado por organismos internacionais, como a Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico (OECD, 2006) e a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2012), consolidando-se como teste padrão de fitotoxicidade. Os parâmetros avaliados incluem tanto a porcentagem de germinação quanto o crescimento do eixo radicular e do hipocótilo, que são sensíveis a contaminantes presentes no solo ou em efluentes líquidos (SOBRERA; RONCO, 2004; LIU et al., 2018). Alterações na germinação podem indicar efeitos diretos sobre processos metabólicos iniciais das sementes, enquanto reduções no crescimento radicular e

caulinar refletem impactos na absorção de nutrientes e na divisão celular, podendo comprometer o estabelecimento da planta no ambiente.

Assim, a associação entre os testes de *A. cepa* e *L. sativa* oferece uma abordagem valiosa, enquanto o primeiro fornece informações sobre a genotoxicidade e mutagenicidade em nível celular, o segundo indica os efeitos ecotoxicológicos, relacionados à fitotoxicidade, no desenvolvimento vegetal. Dessa forma, esses bioindicadores representam ferramentas indispensáveis para avaliar o risco ambiental associado ao necrochorume.

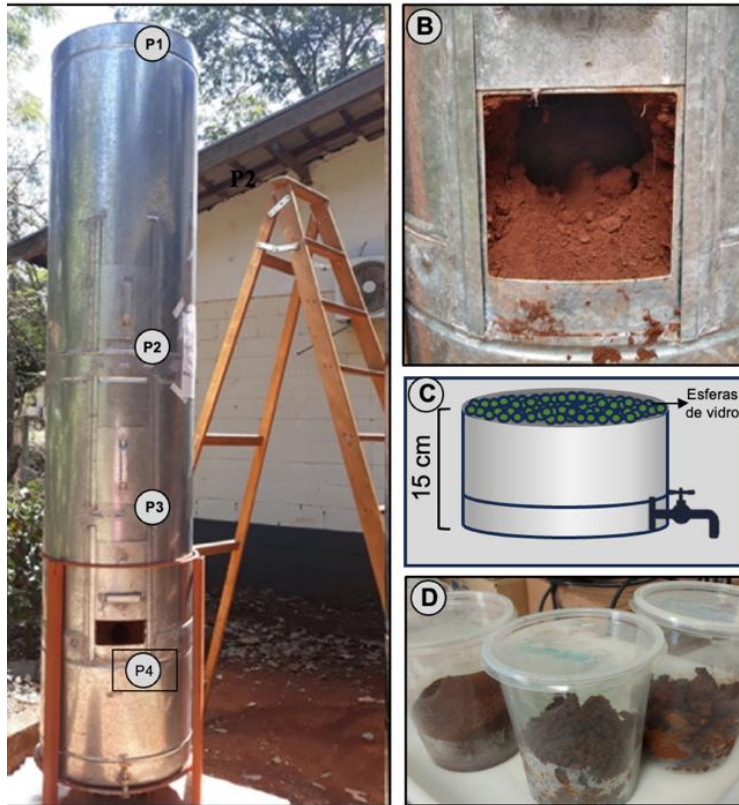
## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Experimento de inumação com carcaças suínas

Para o experimento de inumação, foi instalado, no Jardim Experimental do Instituto de Biociências Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Rio Claro, SP, Brasil (lat 23°23'47" S e log 47°32'4"O), um cilindro de aço galvanizado de 2 m de altura e 0,5 m de diâmetro (Figura 1), preenchido na sua base com cerca de 20 cm de esferas de vidro (diâmetro médio da esfera: 12 mm), simulando a porosidade do solo e favorecendo o escoamento do necrochorume. Sobre essa camada, adicionou-se o solo de referência, de textura argilosa, coletado no próprio Jardim Experimental da UNESP de Rio Claro, até atingir 1,5 m de altura. Esse solo, previamente utilizado em estudos anteriores, apresentou baixas concentrações de metais pesados e ausência de toxicidade, sendo considerado apropriado para o experimento (Mazzeo *et al.*, 2015; Sommaggio *et al.*, 2018; Braga *et al.*, 2024).

Neste cilindro, foram inumadas, consecutivamente, duas carcaças suínas recém abatidas, com cerca de 10 kg. A escolha do modelo suíno (*Sus scrofa domesticus*) é justificada pela ampla utilização em estudos que buscam compreender a decomposição cadavérica humana, dada as semelhanças relacionadas a vários fatores já descritos anteriormente, (HU *et al.*, 2023; DOWSON *et al.*, 2024). A primeira simulação de inumação aconteceu em agosto de 2019 e a segunda, em março de 2022. O objetivo da segunda inumação foi reproduzir a recontaminação do solo em cemitérios decorrente da reutilização das covas. Em ambos os casos, as carcaças foram posicionadas verticalmente na parte superior da estrutura e recobertas por cerca de 0,5 m do solo de referência. A estrutura contou ainda com três aberturas distribuídas ao longo de seu comprimento, espaçadas a cada 50 cm (0,5; 1,0 e 1,5 m da base), que possibilitaram a coleta do solo em diferentes profundidades, totalizando quatro pontos na área de decomposição: P1 – superfície; P2 – 1,5 m da base (mais próximo à carcaça); P3 – 1,0 m da base; e P4 – 0,5 m da base. O solo coletado nesses pontos foi combinado para constituir a amostra composta utilizada neste estudo.

**Figura 1** Estrutura cilíndrica de metal usada para a inumação da carcaça suína e coleta dos solos contaminados.



A: Estrutura de aço utilizada para o experimento de inumação da carcaça suína. Identificação dos pontos de coleta da estrutura - P1: superfície do cilindro- solo acima da carcaça suína; P2: janela a 1,5 m da base do cilindro; P3: janela a 1 m da base do cilindro; P4: janela a 0,50 m da base do cilindro metálico; B: vista ampliada das janelas do tubo; C: esferas de vidro da base do cilindro; D: amostras coletadas nas janelas do cilindro.

Fonte: Souza, 2022

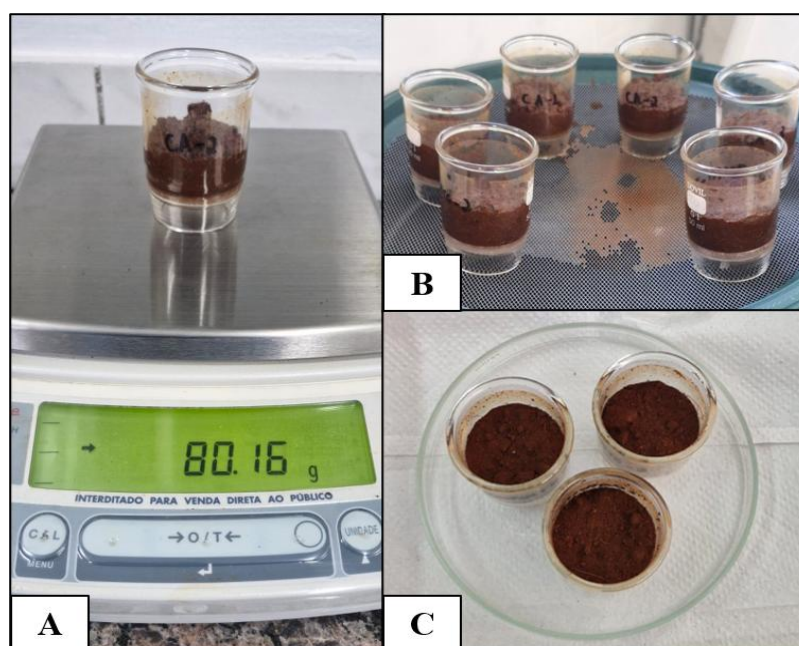
O solo foi coletado em quatro profundidades da estrutura experimental (P1, P2, P3 e P4). De cada ponto, retiraram-se porções de aproximadamente 600 g com o auxílio de espátula, devidamente higienizada entre as coletas para evitar contaminação. As amostras foram acondicionadas em sacos plásticos previamente identificados e transportadas ao Laboratório de Mutagênese Ambiental (LMA) da UNESP, campus de Rio Claro. Para a homogeneização, 200 g de solo provenientes de cada ponto foram reunidos em recipiente e misturados até a obtenção de aspecto uniforme. A partir desse processo, obteve-se a amostra composta, considerada representativa do perfil de solo da estrutura.

Além disso, foi coletado solo de referência (controle ambiental - CA) no mesmo local do experimento, em área adjacente não exposta às carcaças. Esse solo foi utilizado para comparação nos ensaios laboratoriais.

### 4.3 Cálculo da capacidade de retenção de água no solo (WHC)

O cálculo da capacidade máxima de retenção de água no solo (Water Holding Capacity – WHC) foi realizado conforme o protocolo descrito na norma ABNT NBR ISO 11269-2:2014. Para isso, cadinhos de vidro com pedra porosa em sua base (porosidade 1: 100–160  $\mu\text{m}$ ) foram preenchidos com 30 g de solo e submersos em um recipiente contendo água de osmose reversa, até a altura de sua borda superior (Figura 2). O sistema permaneceu em temperatura ambiente por 2 h. Em seguida, para permitir a drenagem, os cadinhos foram posicionados sobre uma peneira apoiada em um recipiente, por mais 2 h. Posteriormente, as amostras foram secas em estufa a 105 °C até obtenção de massa constante. A capacidade de retenção de água foi expressa como a porcentagem de massa seca. O ensaio foi conduzido em triplicata, adotando-se, para os testes com bioindicadores vegetais, uma WHC correspondente a 70%.

**Figura 2** Etapas do cálculo da WHC



A: amostras de solo durante a pesagem; B: drenagem das amostras de solo; C: amostras de solo secas a 105 °C. Fonte: Registrado pelo autor (2025).

### 4.4 Preparo dos extratos solubilizados do solo

Os extratos solubilizados foram preparados conforme o protocolo descrito na norma ABNT NBR 10.006 (2004). Para cada amostra, foram adicionados 125 g de solo seco em 500 mL de água de osmose reversa. As soluções foram agitadas continuamente, em baixa rotação, por 5 minutos e, em seguida, permaneceram em decantação por 7 dias a 22 °C. Após esse

período, os sobrenadantes foram coletados e filtrados em membranas com porosidade de 0,45  $\mu\text{m}$ . Após a filtragem dos sobrenadantes, o pH de cada amostra foi medido por meio de um pHmetro.

A determinação do peso seco foi realizada em triplicata. Para isso, 10 g de solo foram dispostos em placas de Petri e mantidos em estufa a 105 °C, por 24 h. Em seguida, as amostras foram pesadas e novamente submetidas à estufa até a estabilização da massa. O teor de água presente no solo foi calculado a partir da diferença entre os pesos inicial e final.

**Figura 3** Extratos solubilizados



Amostras de solo solubilizadas antes da etapa de filtração em membrana porosa, evidenciando o sobrenadante. Fonte: Registrado pelo autor (2025).

#### 4.5 Bioensaios com *Lactuca sativa*

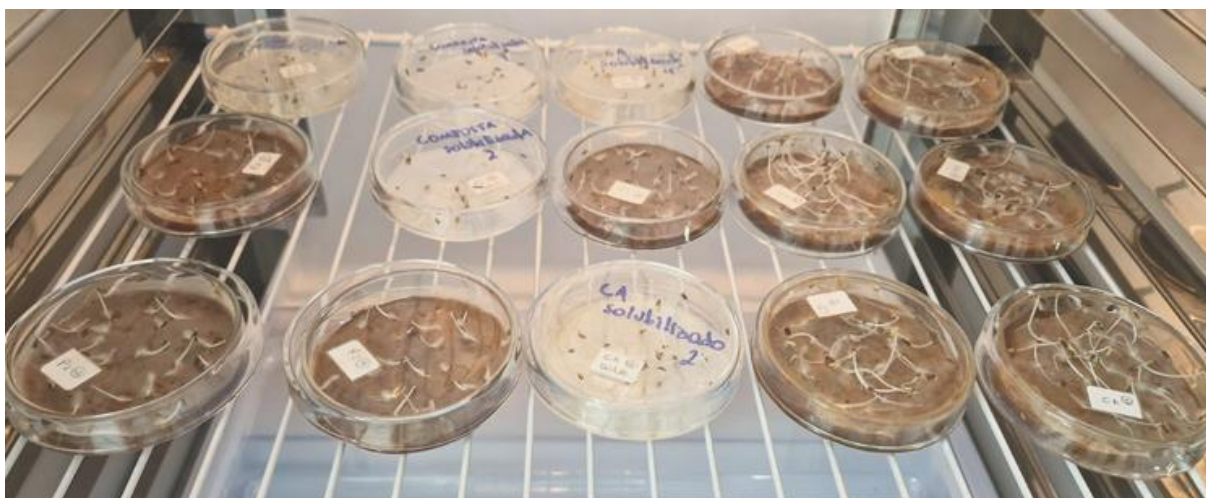
Os bioensaios com *L. sativa* (Figura 4) foram realizados com sementes da variedade Grand rapids (Isla), de acordo com a metodologia proposta por Sobrero e Ronco (2004). Foram desenvolvidos dois tipos de ensaios: com solos e com os extratos solubilizados dessas mesmas amostras. Foram dispostas 20 sementes em placas de Petri, contendo 30 g dos solos ou papéis de filtro embebidos com 4 mL dos extratos solubilizados. Para facilitar a coleta das sementes germinadas em solo, foi colocado sobre o solo um tecido fino (voil). As placas foram incubadas em BOD (sem fotoperíodo), por um período de 120 h, a temperatura de 22  $\pm$  2 °C. O controle negativo (CN) foi realizado com água de osmose reversa (4 mL) e o controle positivo (CP) com sulfato de zinco heptaidratado (0,005M -  $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ ) (4 mL).

O experimento foi conduzido em delineamento inteiramente casualizado, em quintuplicata. Após o período de incubação, foram contabilizadas as sementes germinadas, para a obtenção da porcentagem de germinação (relação entre o número de sementes germinadas/total de sementes dispostas por placa x 100). A análise da fitotoxicidade foi realizada pela medição, em milímetros, dos comprimentos da radícula e hipocótilo, com auxílio de paquímetro digital.

Os dados foram analisados de acordo com os testes de normalidade e homogeneidade de variância de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Como foi verificada uma distribuição não normal dos dados, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ), com o teste de comparações múltiplas de Dunn.

#### **Figura 4** Ensaio e fitotoxicidade com *L. sativa*

Germinação de sementes de *L. sativa* em diferentes tratamentos, incubadas em BOD. Fonte: Registrado pelo autor (2025).



#### **4.6 Bioensaios com *Allium cepa***

Nos ensaios com *A. cepa*, foram utilizadas 100 sementes da variedade Baia periforme (Isla). Para os ensaios com solo, as sementes foram dispostas diretamente em placas de Petri contendo 30 g das amostras. Já nos ensaios com extratos solubilizados, as sementes foram dispostas sobre papéis de filtro previamente umedecidos com 5 mL do respectivo extrato.

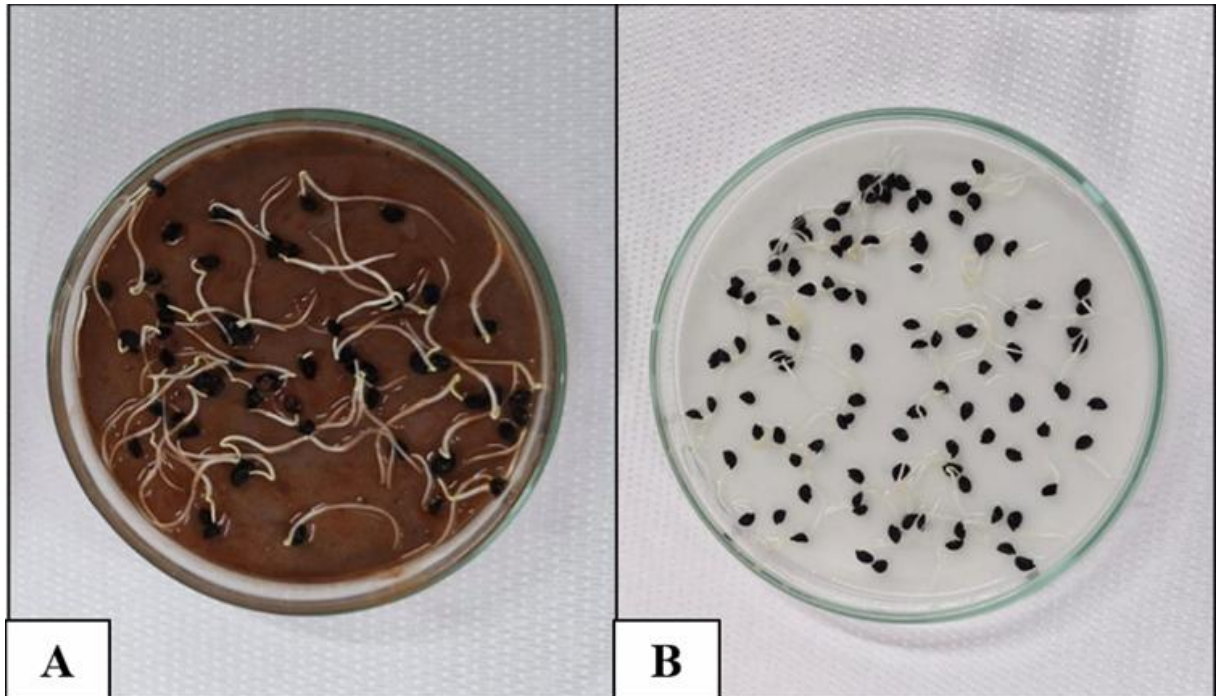
Os tratamentos controles foram: controle negativo (CN), realizado com água de osmose reversa; controle ambiental (CA), realizado com solo de referência coletado no Jardim Experimental do IB- UNESP de Rio Claro, utilizado rotineiramente em ensaios ambientais do

LMA; e controle positivo (CP), realizado com trifluralina (0,84 mg/L). As placas foram incubadas em BOD, sob fotoperíodo de 12 h claro/12 h escuro, a  $22 \pm 2$  °C, por 5 dias. Todos os ensaios foram realizados em triplicata. Após a germinação, as raízes foram coletadas e fixadas em Carnoy (álcool: ácido acético glacial, 3:1 [v/v]), por 24 horas, em temperatura ambiente. Após este tempo, o fixador foi trocado por um recém-preparado e as raízes foram armazenadas a 4 °C, até a preparação das lâminas

A citotoxicidade foi avaliada pelo Índice Mitótico (IM), calculado pela razão entre o número de células em divisão e o número total de células analisadas. Como parâmetros de genotoxicidade, foram consideradas alterações cromossômicas (pontes, perdas e aderências cromossômicas) e nucleares (brotos, núcleos lobulados, entre outras) em células meristemáticas. O potencial mutagênico foi estimado pela porcentagem de células com micronúcleos (MN) e/ou quebras cromossômicas, em relação ao total de células analisadas. Esses parâmetros citados foram obtidos pela análise de cerca de 500 células/lâmina, 4 lâminas /réplica (12 lâminas/tratamento), totalizando cerca de 6.000 células contadas.

Os dados foram analisados de acordo com os testes de normalidade e homogeneidade de variância de Shapiro-Wilk e Levene, respectivamente. Como foi verificada uma distribuição não normal, foi utilizado o teste de Kruskal-Wallis ( $p < 0,05$ ), com o teste de comparações múltiplas de Dunn.

**Figura 5** Germinação de sementes de *Allium cepa*, para a realização do ensaio de citogenotoxicidade



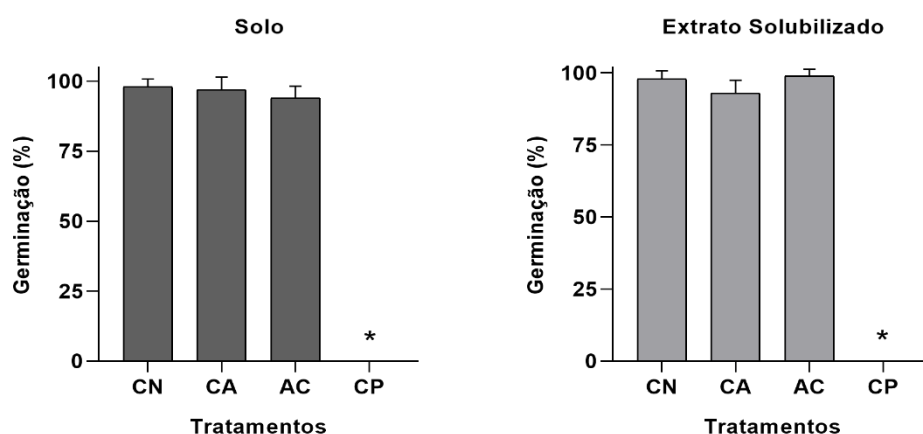
Sementes de *Allium cepa* germinadas, prontas para fixação: (A) exposição direta ao solo; (B) exposição ao extrato solubilizado. O voil foi utilizado como suporte para as sementes, porém não é visualmente distinguível devido à impregnação por solo úmido. Fonte: Registrado pelo autor (2025).

## 5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 5.1 Bioensaio com *Lactuca. sativa*

De acordo com os resultados apresentados na Figura 6, os ensaios de germinação com sementes de *L. sativa* não apresentaram diferenças estatisticamente significativas entre os tratamentos com amostras de solo e extratos solubilizados, em relação ao CN. A germinação constitui um parâmetro inicial e sensível para a detecção de substâncias tóxicas. Entretanto, a ausência de efeitos fitotóxicos neste estudo não significa ausência de toxicidade das amostras contaminadas com necrochorume. Nesse sentido, destaca-se a importância de avaliar outros *endpoints* de toxicidade.

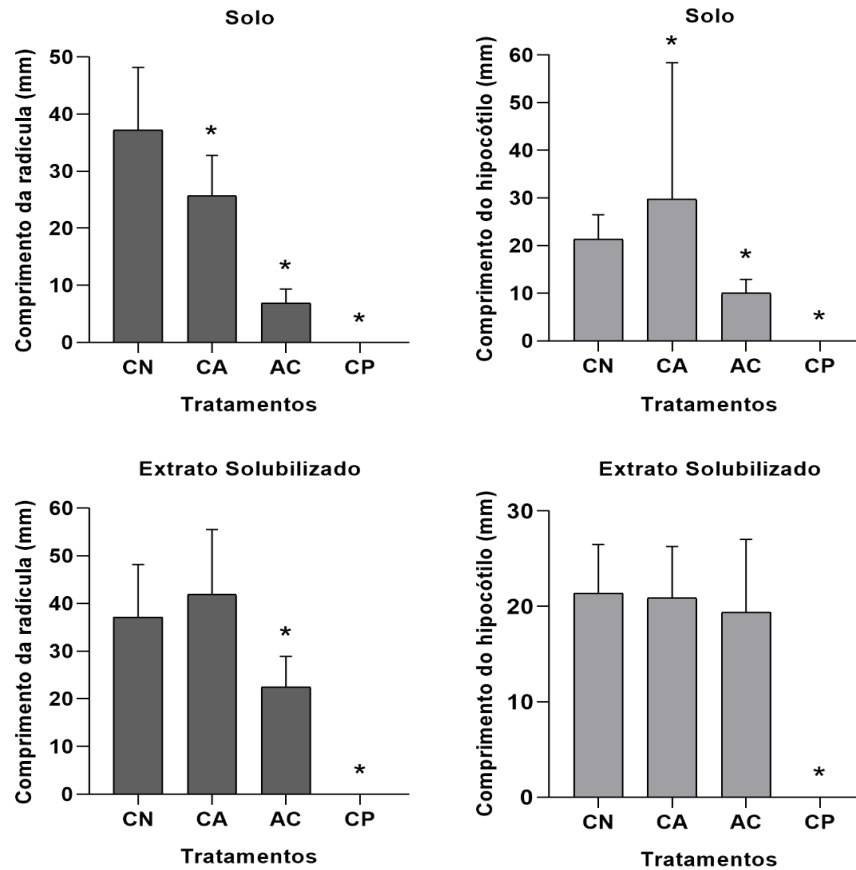
**Figura 6** Resultados dos bioensaios de germinação realizados com *L. sativa*



CN: controle negativo; CA: controle ambiental; AC: amostra composta; CP: controle positivo; \* Estatisticamente significativo em relação ao CN (Kruskal-Wallis;  $p < 0,05$ ; comparações múltiplas pelo teste de Dunn). Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Conforme apresentado na Figura 7, no ensaio com solo, as radículas apresentaram inibição significativa, quando expostas à amostra composta (AC), enquanto que para comprimento do hipocótilo houve aumento do comprimento em CA e redução em AC, em relação ao CN. Para os extratos solubilizados, a inibição da radícula foi observada em AC, e a do hipocótilo apenas no CP. Esses resultados demonstram que o parâmetro de crescimento foi mais sensível que a germinação.

**Figura 7** Resultados dos bioensaios de crescimento de radícula e hipocótilo com *L. sativa*



CN: controle negativo; CA: controle ambiental; AC: amostra composta; CP: controle positivo.  
 \*Estatisticamente significativo em relação ao CN (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ; comparações múltiplas pelo teste de Dunn). Fonte: elaborado pelo autor (2025).

A inibição do crescimento radicular observada em AC, tanto no solo quanto nos extratos solubilizados, está em concordância com os achados de Braga (2024), no qual foi demonstrado que as aminas biogênicas derivadas da putrefação, como cadaverina e putrescina, exercem efeitos fitotóxicos sobre *L. sativa*, podendo interferindo no alongamento. De forma complementar, Souza (2021) também evidenciou a toxicidade dessas moléculas para plantas, reforçando seu papel como agentes de estresse em bioensaios vegetais.

As taxas de germinação não apresentaram diferenças significativas entre os tratamentos, indicando que a fase inicial de ativação metabólica e emergência da plântula não foi comprometida pela exposição aos solos contaminados. Esse resultado está de acordo com outros estudos realizados no laboratório LMA (Souza, 2021 e Damasceno, 2023), o que sugere que os compostos derivados da decomposição, especialmente as aminas biogênicas, não

exercem impacto imediato sobre o processo germinativo, ou não estão presentes em quantidade suficiente para fazê-lo, mas afetam etapas posteriores do desenvolvimento, especialmente o crescimento da radícula. Dessa forma, a germinação mostra-se um parâmetro menos sensível para a detecção da fitotoxicidade, em comparação ao alongamento radicular, reforçando a necessidade de considerar múltiplos biomarcadores na avaliação de contaminantes associados ao necrochorume.

A realização de ensaios com extratos solubilizados mostrou ser de grande importância, pois a porção solúvel dos contaminantes representa a porção mais biodisponível e, portanto, a mais diretamente associada a riscos ambientais. De acordo com Rocha et al. (2011), a fração aquosa de elementos potencialmente tóxicos em solos contaminados reflete a parte mais efetivamente assimilável pelos organismos. Dessa forma, os ensaios com solubilizados permitem identificar os efeitos tóxicos associados diretamente aos contaminantes de mais fácil dispersão, contribuindo para o entendimento dos impactos ambientais. Como o necrochorume contém compostos nitrogenados como aminas biogênicas que são solúveis em água, essa abordagem é fundamental, para avaliar o potencial imediato de contaminação de organismos vegetais e aquáticos.

As alterações observadas no crescimento de *L. sativa* indicam que o necrochorume presente no solo possui uma persistência prolongada, portanto capaz de afetar o desenvolvimento de organismos, mesmo após certo tempo de contato com o solo contaminado com necrochorume. Esse efeito evidencia que substâncias liberadas em cemitérios podem permanecer ativas por longos períodos, representando risco tanto para a vegetação quanto para a contaminação de aquíferos superficiais ou subterrâneos.

Esse problema se torna ainda maior no contexto atual, pois o crescimento urbano, leva a uma maior densidade demográfica, que resulta, de modo geral, em um maior número de sepultamentos, o que aumenta o volume de necrochorume liberado, potencializando a persistência de contaminantes no solo. Em situações de pandemia, quando a taxa de mortalidade pode subir rapidamente, essa superlotação torna-se ainda mais preocupante, pois amplia a carga de poluentes, reforçando a necessidade de planejamento adequado de espaços destinados à sepultamento, e de monitoramento ambiental (NECKEL et al., 2021; GONÇALVES et al., 2021).

## 5.2 Bioensaio com *Allium cepa*

Os resultados dos ensaios de citogenotoxicidade e potencial mutagênico, realizados com o bioindicador *A. cepa*, estão apresentados na Tabela 1.

**Tabela 1** Resultados dos bioensaios de Índice Mitótico, de genotoxicidade e potencial mutagênico, realizados com o bioindicador *A. cepa*

Amostras	Índice Mitótico (%)		Genotoxicidade (%)		Potencial Mutagênico (%)	
	Solo	Solubilizado	Solo	Solubilizado	Solo	Solubilizado
CN	42,89 ± 5,58	42,89 ± 5,58	0,06 ± 0,13	0,06 ± 0,13	0,08 ± 0,13	0,08 ± 0,13
CA	42,28 ± 3,62	39,60 ± 3,70	0,06 ± 0,12	0,03 ± 0,08	0,02 ± 0,05	0 ± 0
AC	46,52 ± 3,18	42,53 ± 2,85	0,72 ± 1,16 *	0,18 ± 0,28	0,02 ± 0,06	0,41 ± 0,26 *
CP	45,84 ± 3,07	45,84 ± 3,07	0,94 ± 0,55 *	0,94 ± 0,55 *	0 ± 0 *	0 ± 0 *

CN: controle negativo; CA: controle ambiental; AC: amostra composta; CP: controle positivo. \*Estatisticamente significativo em relação ao CN (Kruskal-Wallis,  $p < 0,05$ ; comparações múltiplas pelo teste de Dunn). Fonte: elaborado pelo autor (2025).

Os resultados dos ensaios do índice mitótico (IM) não evidenciaram diferenças estatisticamente significativas entre as amostras de solo e extratos solubilizados, em comparação ao controle negativo (CN), indicando ausência de efeito citotóxico. Em relação à genotoxicidade, verificou-se aumento significativo da frequência de alterações cromossômicas (Figura 8) em AC, enquanto os extratos solubilizados não apresentaram diferenças significativas em relação ao CN. Entretanto, o ensaio de mutagenicidade detectou efeito significativo em AC solubilizada, possivelmente devido a pequenas quebras cromossômicas e micronúcleos em algumas células, que podem induzir mutações permanentes sem alterar significativamente o índice de genotoxicidade ou causar alterações cromossômicas mais complexas.

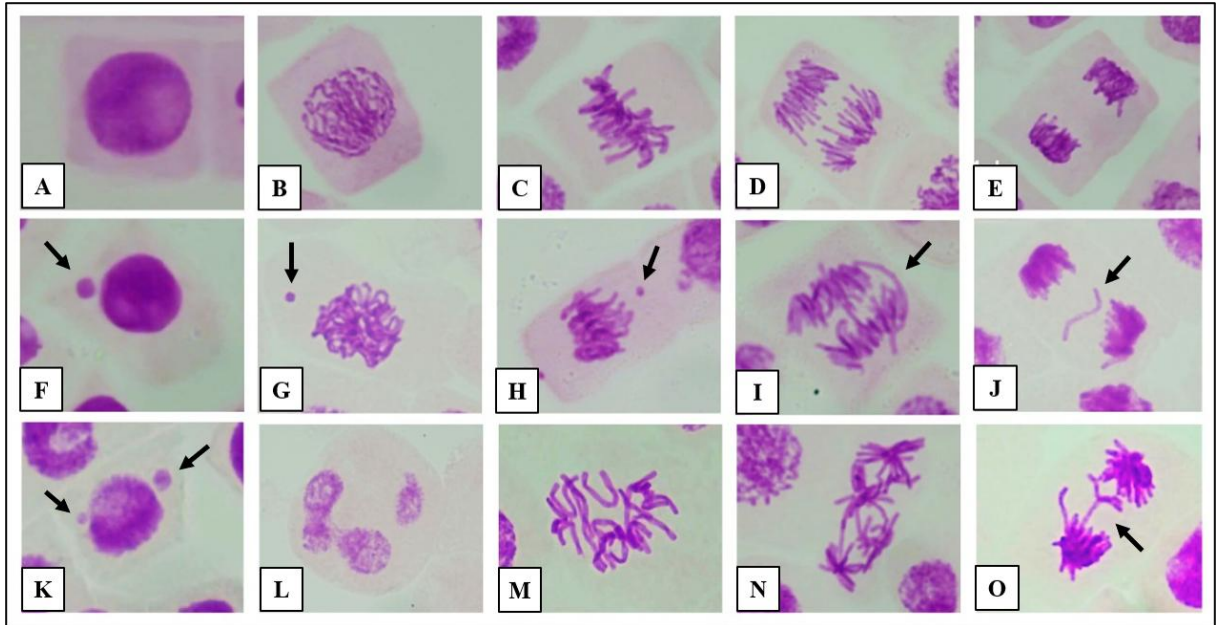
As alterações cromossômicas mais frequentes foram micronúcleos e pontes, indicando ação clastogênica e perdas cromossômicas, comprovando um potencial aneugênico para solos contaminados com necrochorume. Micronúcleos são elementos nucleares adicionais ao núcleo principal, que contêm fragmentos cromossômicos ou cromossomos inteiros que não se incorporaram ao núcleo principal. Perdas cromossômicas indicam que um ou mais cromossomos não foram segregados corretamente durante a divisão celular. Esse tipo de alteração está relacionado a falhas de segregação cromossômica. Já as pontes cromossômicas, refletem instabilidade estrutural, gerada por cromátides que permanecem ligadas, comprometendo a adequada segregação do material genético entre as células-filhas. Esses

resultados evidenciam que os componentes do necrochorume podem induzir tanto efeitos clastogênicos quanto aneugênicos, reforçando seu potencial genotóxico sobre *A. cepa* (SOUZA, 2021).

Esses resultados são particularmente relevantes, considerando que as amostras analisadas foram compostas pela mistura de solos provenientes de diferentes pontos de uma mesma estrutura experimental e de distintas simulações de decomposição de carcaças suínas realizadas em períodos diversos. As evidências apontam que os efeitos genotóxicos e o potencial mutagênico observados estão diretamente associados à toxicidade do necrochorume e, sobretudo, à sua persistência, já que o solo manteve atividade tóxica mesmo após longo tempo das inumações.

Além disso, constatou-se que os exsudatos da decomposição possuem caráter hidrofílico, o que favorece sua mobilidade vertical no solo e amplia os riscos de contaminação de camadas mais profundas e, conseqüentemente, dos aquíferos subterrâneos. A persistência desses compostos solúveis e seu deslocamento no perfil do solo foram confirmados pelos ensaios com *L. sativa*, reforçando o caráter duradouro e perigoso desses resíduos para o ambiente.

**Figura 8** Alterações cromossômicas e nucleares observadas nos ensaios de genotoxicidade e potencial mutagênico com células meristemáticas de *A. cepa*



A: Intérfase normal; B: Prófase normal; C: Metáfase normal; D: Anáfase normal; E: Telófase normal; F: Intérfase com micronúcleo; G: Prófase com micronúcleo; H: Metáfase com micronúcleo; I: Anáfase com ponte cromossômica; J: Telófase com perda cromossômica; K: Intérfase com dois micronúcleos; L: Prófase com núcleo lobulado; M: C-metáfase; N: Anáfase multipolar; O: Telófase com ponte e perda cromossômica.

## 6 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos neste estudo demonstram que os bioindicadores vegetais *L. sativa* e *A. cepa* apresentam elevada sensibilidade aos compostos presentes no necrochorume. As amostras compostas de solo analisadas revelaram que tais contaminantes persistem por longos períodos, mesmo após um ano da última inumação, mantendo seu potencial tóxico. Em *L. sativa*, foi observada redução da germinação e inibição do crescimento radicular e do hipocótilo, evidenciando fitotoxicidade. Já em *A. cepa*, verificou-se a ocorrência de alterações cromossômicas e nucleares, como micronúcleos, pontes cromossômicas e perdas, caracterizando tanto efeitos clastogênicos quanto aneugênicos, que indicam citogenotoxicidade e potencial mutagênico.

Os resultados reforçam que o necrochorume pode alterar, significativamente, a qualidade do solo e comprometer a estabilidade genética de organismos expostos. O problema se agrava em cemitérios localizados em centros urbanos, onde a alta densidade populacional, a proximidade com áreas residenciais e com lençóis freáticos ampliam os riscos de contaminação ambiental e de exposição humana. Além disso, a presença prolongada desses contaminantes representa não apenas uma ameaça ecotoxicológica, mas também um potencial risco epidemiológico, capaz de favorecer a disseminação de microrganismos patogênicos e até contribuir para cenários com características pandêmicas.

Dessa forma, a simulação de inumações sucessivas de carcaças suínas se mostrou um modelo eficiente para avaliar a toxicidade e a persistência do necrochorume, permitindo compreender melhor os impactos de sua liberação no ambiente. Os resultados obtidos ressaltam a urgente necessidade de adequação dos cemitérios às legislações ambientais vigentes, considerando fatores como profundidade do lençol freático, propriedades do solo, riscos associados à reutilização de covas e medidas de contenção da lixiviação. O manejo correto desses espaços é essencial para reduzir impactos fitotóxicos e citogenotóxicos, proteger o ambiente local e prevenir riscos potenciais à saúde pública.

## 7 REFERÊNCIAS

AMIN, Mohsin; TANG, Shiyang; SHALAMANOVA, Liliana; TAYLOR, Rebecca L.; WYLIE, Stephen; ABDULLAH, Badr M. Polyamine biomarkers as indicators of human disease. **Journal of Clinical Pathology**, v. 74, p. 1–6, 2021. Disponível em: Polyamine biomarkers as indicators of human disease – PubMed.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 10007: **Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro: ABNT, 2004. Disponível em: [wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-10007-amostragem-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf](http://wp.ufpel.edu.br/residuos/files/2014/04/nbr-10007-amostragem-de-resc3adduos-sc3b3lidos.pdf).

BAINES, John; LACOVARA, Peter. Burial and the dead in ancient Egyptian society: Respect, formalism, neglect. **Journal of Social Archaeology**, v. 2, n. 1, p. 5–36, 2002.

BAUM, Camila Angélica; BECEGATO, Valter Antônio; VILELLA, Pâmela Becalli; LAVNITKI, Laís; BECEGATO, Vitor Rodolfo. Paulino, Alexandre Tadeu. Contamination of groundwater by necro-leachate and the influence of the intervening factors in cemeteries of the municipality of Lages – **Brazil. Water, Air, & Soil Pollution**, v. 229, n. 6, p. 210, 2018. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210037>.

BAR-YOSEF MAYER, Daniella E.; VANDERMEERSCH, Bernard; BAR-YOSEF, Ofer. Shells and ochre in Middle Paleolithic Qafzeh Cave, Israel: indications for modern behavior. **Journal of Human Evolution**, v. 56, n. 3, p. 307–314, 2009. DOI: 10.1016/j.jhevol.2008.10.005.

BI, Chenxiao; LI, Chengyu; XING, Liangxiu; LU, Zixuan; LIU, Haiyan; HU, Tao; WANG, Bin; LIU, Chengxia. Extracellular putrescine can augment the epithelial-mesenchymal transition of gastric cancer cells by promoting MAL2 expression by elevating H3K27ac in its promoter region. **Cancer Gene Therapy**, v. 30, p. 1555–1566, 2023. DOI: DOI: 10.62347/BEUV4081. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/39005660/>. Disponível em: <https://doi.org/10.1177/14696053020020015>.

BRAGA, Ana Paula Andrade; SOUZA, Letícia Rosa de; LIMA, Maria Gabriela Franco; GONÇALVES, Matheus de Moraes Cunha; MARIN-MORALES, Maria Aparecida. A study on phytogenotoxicity induced by biogenic amines: cadaverine and putrescine. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 31, n. 21, p. 30902–30913, 15 abr. 2024. DOI: 10.1007/s11356-024-33328-4. Disponível em: A study on phytogenotoxicity induced by biogenic amines: cadaverine and putrescine – PubMed.

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 402, de 17 de novembro de 2008. Altera os arts. 11 e 12 da Resolução CONAMA nº 335/03 e revoga o art. 3º da Resolução CONAMA nº 368/06**. Disponível em: [https://conama.mma.gov.br/?option=com\\_sisconama&task=arquivo.download&id=571](https://conama.mma.gov.br/?option=com_sisconama&task=arquivo.download&id=571).

BRASIL. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 335, de 3 de abril de 2003. **Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios**. Diário Oficial da União: seção 1, n. 101, p. 98–99, 28 maio 2003. Disponível em: Resolução CONAMA nº 335 de 03/04/2003.

BROWNLEE, Emma. Bed Burials in Early Medieval Europe. **Medieval Archaeology**, v. 66, n. 1, p. 1–29, 2022. DOI: 10.1080/00766097.2022.2065060. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/abs/black-death-mass-grave-at-thornton-abbey-the-discovery-and-examination-of-a-fourteenth-century-rural-catastrophe/E0CC072A347CD3E91116DFB5133505F5>.

BRZOBOHATÁ, H.; FROLÍK, J.; ZAZVONILOVÁ, E. Bioarchaeology of past epidemic- and famine-related mass burials with respect to recent findings from the Czech Republic. **Interdisciplinaria Archaeologica – Natural Sciences in Archaeology**, v. 10, n. 1, p. 79–87, 2019. DOI: 10.24916/iansa.2019.1.6. Disponível em: <https://www.iansa.eu/papers/IANSAS-2019-01-brzobohata.pdf>.

CARTER, D. O.; YELLOWLEES, D.; TIBBETT, M. Cadaver decomposition in terrestrial ecosystems. **Naturwissenschaften**, v. 94, n. 1, p.12-24, 2007.

CASTRO, Viviane Maria Cavalcanti de; RAMOS, Ana Catarina Peregrino Torres; FREITAS, Pollyana Calado de (Orgs.). Memórias póstumas: arqueologia cemiterial em Pernambuco. Recife: **Editora UFPE**, 2024. Disponível em: <https://editora.ufpe.br/books/catalog/book/933>.

COSTA SILVA, R. W. C.; FILHO, W. M. Cemitérios como Áreas Potencialmente Contaminadas. **Revista Brasileira de Ciências Ambientais** –, v. 9, n. 9, p. 26–35, 2008. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/266374557>.

CREVECOEUR, Isabelle; DIAS-MEIRINHO, Marie-Hélène; ZAZZO, Antoine; ANTOINE, Daniel; BON, François. New insights on interpersonal violence in the Late Pleistocene based on the Nile valley cemetery of Jebel Sahaba. **Scientific Reports**, v. 11, n. 1, p. 9991, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41598-021-89386-y>.

DENT, B. B.; FORBES, S. L.; STUART, B. H. Review of human decomposition processes in soil. **Environmental Geology**, v. 45, n. 4, p. 576-585, 2004. Disponível em: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00254-003-0913-z>.

FEDDERN, V.; MAZZUCO, H.; FONSECA, F. M. DA; LIMA, G. J. M. M. DE. A review on biogenic amines in food and feed: toxicological aspects, impact on health and control measures. **Animal Production Science**, v. 59, n. 4, p. 608–618, 2019.

GALLOWAY, A. The process of decomposition: a model from the Arizona-Sonoran Desert. In: HAGLUND, W. D.; SORG, M. H. Forensic taphonomy: the *post mortem* fate of human remains. **Boca Raton**: CRC Press, 1997, p. 139-150.

GALLOWAY, A.; BIRKBY, W. H.; JONES, A. M.; HENRY, T. E.; PARKS, B. O. Decay rates of human remains in an arid environment. **Journal of Forensic Sciences**, v. 34, p. 607-616, 1989.

GONÇALVES, Vanessa; ALBUQUERQUE, Antonio; CARVALHO, Paulo; ALMEIDA, Pedro; CAVALEIRO, Victor. Groundwater Vulnerability Assessment to Cemeteries Pollution through GIS-Based DRASTIC Index. **Water**, v. 15, n. 4, p. 812, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/w15040812>.

GONÇALVES, Letícia Rocha; ROBERTO, Matheus Mantuanelli; BRAGA, Ana Paula Andrade; BAROZZI, Gabriel Bertoletti; CANIZELA, Giovanna Segati; GIGECK, Letícia de Souza; SOUZA, Letícia Rosa de; MARIN-MORALES, Maria Aparecida. Another casualty of the SARS-CoV-2 pandemic—the environmental impact. **Science of the Total Environment**, v. 764, p. 142800, 2021. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34689297/>.

GOVERNMENT OF THE UNITED KINGDOM. Burial Act 1857. 20 & 21 Vict. c. 81. **UK Parliament**, 1857. Disponível em: <https://www.legislation.gov.uk/ukpga/Vict/20-21/81>.

SIROCCHI, V.; CAPRIOLI, G.; CECCHINI, C.; COMAN, M.M.; CRESCI, A.; MAGGI, F.; PAPA, F.; RICCIUTELLI, M.; VITTORI, S.; SAGRATINI, G. Biogenic amines as freshness index of meat wrapped in a new active packaging system formulated with essential oils of *Rosmarinus officinalis*. **International Journal of Food Sciences and Nutrition**, v. 64, n. 8, p. 921-928, 2013.

HAU, T. C.; HAMZAH, N. H.; LIAN, H. H.; HAMZAH, S. A. A. Decomposition process and *post mortem* changes: review. **Sains Malaysiana**, v. 43, n. 12, p. 1873-1882, 2014.

IOAN, B. G.; MANEA, C.; HANGANU, B.; STATESCU, L.; GHEUCASOLOVASTRU, L.; MANOILESCU, I. The Chemistry decomposition in human corpses, **REVISTA DE CHIMIE**, v. 68, n. 6, p. 1352-1356, 2017.

JANAWAY, R. C.; PERCIVAL, S. L.; WILSON, A. S. Decomposition of human remains. In: PERCIVAL, S. L. *Microbiology and Aging: Clinical Manifestations*. **New York: Humana Press**, 2009, p. 313-334.

KIND, Luciana; CORDEIRO, Rosineide. Narrativas sobre a morte: a gripe espanhola e a COVID-19 no Brasil. **Psicologia & Sociedade (Online)**, v. 32, e020004, 2020. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/psoc/a/LdMLvxpDHB YgLqt8fC5SZRp/?format=html&lang=pt>.

KINSLEY, Sarah E.; FERNICOLA, Stephen D.; DINGLE, Marvin E.; WILLIAMS, Milfred S.; RICHARDSON, Jody M.; TAYLOR, Dennis; VASCONCELLOS, Jaira F. de; MALONE, Timothy R.; BLATTNER, Matthew R.; SMITH, Jonathan K.; OLIVER, Alli; KOCH, Amory L.; RIDDLE, Laura E.; REITER, Cara; CULP, William E.; CATERSON, Edward J.; NESTI, Leon J.; TALBOT, Simon G. A Yorkshire swine (*Sus scrofa domesticus*) model for nerve regeneration and ischemia based on the sciatic nerve and femoral artery. **Annals of Anatomy**,

v. 233, p. 151587, 2021. DOI: 10.1016/j.aanat.2020.151587. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S094096022030131X?via%3Dihub>.

LEME, Daniela Morais; MARIN-MORALES, Maria Aparecida. Allium cepa test in environmental monitoring: A review on its application. **Mutation Research/Reviews in Mutation Research**, v. 682, n. 1, p. 71–81, jul./ago. 2009. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2009.06.002>.

LIPPOK, Femke Eline. The pyre and the grave: early medieval cremation burials in the Netherlands, the German Rhineland and Belgium. **World Archaeology**, v. 52, n. 1, p. 147–162, 2020. DOI: 10.1080/00438243.2020.1769297. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00438243.2020.1769297>.

Liu, J., Simms, M., Song, S., King, R. S., & Cobb, G. P. (2018). Physiological effects of copper oxide nanoparticles and arsenic on the growth and life cycle of rice (*Oryza sativa japonica* ‘Koshihikari’). **Environmental Science & Technology**, 52(23), 13728–13737. DOI: 10.1021/acs.est.8b03731. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.est.8b03731>.

MASSAS, Ioannis; KEFALOGIANNI, Io; CHATZIPAVLIDIS, Iordanis. Is the ground of an old cemetery suitable for the establishment of an urban park? A critical assessment based on soil and microbiological data. **Journal of Soils and Sediments**, v. 18, p. 1161–1173, 2018. Disponível em: [https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference\\_id/4897542#:~:text=Is%20the%20ground%20of%20an%20old%20cemetery%20suitable,Online%20%28HERO%29%20%7C%20US%20EPA%204897542%20Journal%20Article](https://hero.epa.gov/hero/index.cfm/reference/details/reference_id/4897542#:~:text=Is%20the%20ground%20of%20an%20old%20cemetery%20suitable,Online%20%28HERO%29%20%7C%20US%20EPA%204897542%20Journal%20Article).

MARTÍNÓN-TORRES, Marcos; D’ERRICO, Francesco. Earliest known human burial in Africa. **Nature**, v. 609, p. 123–128, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1038/s41586-021-03457-8>.

MARTINS, José de Souza. *História e arte no Cemitério da Consolação*. São Paulo: Secretaria Municipal de Cultura, 2013. Disponível em: [https://drive.prefeitura.sp.gov.br/cidade/upload/cemiterio\\_baixa\\_1219246534.pdf](https://drive.prefeitura.sp.gov.br/cidade/upload/cemiterio_baixa_1219246534.pdf).

MATUSZEWSKI, Szymon; HALL, Martin J. R.; MOREAU, Gaétan; SCHOENLY, Kenneth G.; TARONE, Aaron M.; VILLET, Martin H. Pigs vs people: the use of pigs as analogues for humans in forensic entomology and taphonomy research. **International Journal of Legal Medicine**, v. 134, n. 2, p. 793–810, 2020. doi: 10.1007/s00414-019-02074-5. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/31209558/>.

MORANDI, Leandra; BORBA, Willian Fernando de; ROS, Clóvis Orlando da; SILVA, Vanderlei Rodrigues da; TOEBE, Marcos; SOMAVILLA, Lucindo; KEMERICH, Pedro Daniel da Cunha; STAHLHÖFER, Dienifer. Soil contamination in a cemetery area: a case study in Nova Hartz City—RS, Brazil. **Environmental Sciences Europe**, v. 36, p. 95, 2024. DOI: 10.1186/s12302-024-00864-2.

MORGAN, D. M. L. Methods in molecular biology. In: MORGAN, D. Polyamine protocols. **Totowa: Human Press**, 1998, p. 1–30.

NECKEL, Alcindo; COSTA, Carlos; MARIO, Débora Nunes; SABADIN, Clarice Elvira Saggin; BODAH, Eliane Thaines. Environmental damage and public health threat caused by cemeteries: a proposal of ideal cemeteries for the growing urban sprawl. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, v. 9, n. 2, p. 216–230, 2017. DOI:10.1590/2175-3369.009.002.ao05. Disponível em: [https://www.researchgate.net/publication/313832099\\_Environmental\\_damage\\_and\\_public\\_health\\_threat\\_caused\\_by\\_cemeteries\\_A\\_proposal\\_of\\_ideal\\_cemeteries\\_for\\_the\\_growing\\_urban\\_sprawl](https://www.researchgate.net/publication/313832099_Environmental_damage_and_public_health_threat_caused_by_cemeteries_A_proposal_of_ideal_cemeteries_for_the_growing_urban_sprawl).

NECKEL, Alcindo; KORCELSKI, Cleiton; KUJAWA, Henrique Aniceto; SILVA, Luis Felipe Oliveira. Hazardous elements in the soil of urban cemeteries; constructive solutions aimed at sustainability. **Chemosphere**, v. 262, p. 128248, 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2020.128248>.

NECKEL, Alcindo; TOSCAN, Paloma Carollo; KUJAWA, Henrique Aniceto; BODAH, Brian William; KORCELSKI, Cleiton; MACULAN, Laércio Stolfo; SILVA, Caliane Christie Oliveira de Almeida; GONÇALVES Junior, AFONSO Celso; SNAK, Aline; DAL MORO, Leila; OLIVEIRA, Luis Felipe Silve. Hazardous elements in urban cemeteries and possible architectural design solutions for a more sustainable environment. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 30, n. 17, p. 48227–48242, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/S11356-023-25891-Z>.

NECKEL, Alcindo; KORCELSKI, Cleiton; SILVA, Luis F. O.; KUJAWA, Henrique Aniceto; BODAH, Brian William; FIGUEIREDO, Adriano Marcos Rodrigues; MACULAN, Laércio Stolfo; GONÇALVES Junior, Afonso Celso; BODAH, Eliane Thaines; MORO, Leila Dal. Metals in the soil of urban cemeteries in Carazinho (South Brazil) in view of the increase in deaths from COVID-19: projects for cemeteries to mitigate environmental impacts. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 28, n. 13, p. 15888–15898, 2021. DOI: 10.1007/s10668-021-01879-y. Disponível em: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/34658662/>.

PARK, Y. K.; LEE, J. H.; MAH, J. H. Occurrence and reduction of biogenic amines in traditional Asian fermented soybean foods: A review. **Food Chemistry**, v. 278, p. 1-9, 2019.

PAYNE, J. A. A summer carrion study of the baby pig *Sus scrofa* Linnaeus. **Ecology**, v. 46, p. 592-602, 1965.

POMEROY, Emma; BENNETT, Paul; HUNT, Chris O.; REYNOLDS, Tim; FARR, Lucy. New Neanderthal remains associated with the 'flower burial' at Shanidar Cave. **Antiquity**, v. 94, n. 373, p. 11–26, 2020. DOI: 10.15184/aqy.2019.207. Disponível em: <https://www.cambridge.org/core/journals/antiquity/article/new-neanderthal-remains-associated-with-the-flower-burial-at-shanidar-cave/E7E94F650FF5488680829048FA72E32A>

POPOLLA, Sunday O.; ERINOMO, Olagoke O.; BABALOLA, Waheed O.; OMADACHI, Aleke J. Anatomic inquiry into burial disposal. **Clinical Medicine And Health Research Journal**, v. 2, n. 1, p. 74-81, fev. 2022.

PORTIER, Tristan. Building the city of the dead: Bath and burial reforms, 1820–1860. **Mortality**, v. 30, n. 1, p. 1–19, 2025. DOI: 10.1080/13576275.2024.2326006. Disponível em: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/13576275.2024.2326006>.

RABIE, M. A.; ELSAIDY, S.; EL-BADAWY, A. A.; SILIHA, H.; MALCATA, F. X. Biogenic amine contents in selected egyptian fermented foods as determined by ion-exchange chromatography. **Journal of Food Protection**, v. 74, n. 4, p. 681-685, 2011.

REED, H. B. JR. A study of dog carcass communities in Tennessee, with special reference to insects. **American Midland Naturalist Journal**, v. 59, p. 213-245, 1958.

SHEAN, B. S.; MESSINGER, L.; PAPWORTH, M. Observations of differential decomposition on sun exposed v. shaded pig carrion in coastal **Washington State**. **Journal of Forensic Sciences**, v. 38, p. 938-949, 1993.

SILVA, Adriana Fabiana Correia da; GIGECK, Letícia de Souza (Editoras). **Protocolo de organismos vegetais**. Revisão de: MARIA Aparecida Marin-Morales. Rio Claro: Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – UNESP, Instituto de Biociências, Departamento de Biologia Geral e Aplicada, 2023.

SILVA, C. M. G.; GLÓRIA, M. B. A. Bioactive amines in chickenbreast and thigh afterslaughter and during storage at 4 +/- 1 °C and in chicken-based meat products. **FoodChemistry**, v. 78, p. 241-248, 2002.

SILVEIRA, Graciele Lurdes; LIMA, Maria Gabriela Franco; REIS, Gabriela Barreto dos; PALMIERI, Marcel José; ANDRADE-VIEIRA, Larissa Fonseca. Toxic effects of environmental pollutants: Comparative investigation using *Allium cepa* L. and *Lactuca sativa* L. **Chemosphere**, v. 178, p. 359-367, 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2017.03.048>.

SOBRERO, M. C.; RONCO, A. Ensayo de toxicidad aguda con semillas de lechuga (*Lactuca sativa* L.). Ensayos toxicológicos y métodos de evaluación de calidad de aguas. **IDRC/IMTA**. Canadá, Capítulo, v. 4, p. 71-79, 2004. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/358711400>.

SOUZA, Letícia Rosa de. Citogenotoxicidade de solo contaminado por necrochorume e toxicidade de aminas biogênicas derivadas de processos putrefativos. 2021. Dissertação (Mestrado em Ciências Biológicas – Biologia Celular e Molecular) – **Instituto de Biociências**, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Rio Claro, 2021. Disponível em: <http://hdl.handle.net/11449/215398>.

STADLER, S.; STEFANUTO, P. H.; BROKL, M.; FORBES, S. L.; FOCANT, J. F. Characterization of volatile organic compounds from human analogue decomposition using thermal desorption coupled to comprehensive two-dimensional gas chromatography-time-of-flight mass spectrometry. **Analytical Chemistry**, v. 85, n. 2, p. 998-1005, 2013.

SUN, J.; LI, C.; XING, L.; LU, Z.; LIU, H.; HU, T.; WANG, B.; LIU, C. Ultrasensitive SERS Analysis of Liquid and Gaseous Putrescine and Cadaverine by a 3D-Rosettelike Nanostructure-Decorated Flexible Porous Substrate. **Analytical Chemistry**, v. 94, n. 6, p. 2594–2602, 2022. DOI: 10.1021/acs.analchem.1c05013. Disponível em: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acs.analchem.1c05013>.

SVENSSON, K, 2012. Mechanistic studies on the role of polyamines and microvesicles intumor growth and hypoxia-mediated angiogenesis. Disponível em:<https://lup.lub.lu.se/search/ws/files/4071587/2294184.pdf>. Acesso em: 06 jun. 2021.

VANDERMEERSCH, Bernard; BAR-YOSEF, Ofer. *The Paleolithic Burials at Qafzeh Cave, Israel*. *Paleo: Revue d'archéologie préhistorique*, v. 31, p. 5–24, 2019. DOI: 10.4000/paleo.4848. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0047248408002340?via%3Dihub>.

VAROUJAN K. SISSAKIAN, Shanidar Cave - An Interesting Archaeological Site in the Kurdistan Region, Iraq. **UKH Journal of Science and Engineering**, December 2019. Disponível em: <file:///Users/Marin-Morales/Downloads/ShanidarCave.pdf>. Acesso em 29/09/2025.

VIDAL, Monique Leone Cunha. A febre amarela, os médicos e a cremação de cadáveres no Rio de Janeiro das décadas de 1870 e 1880. 2015. Dissertação (Mestrado em História) – **Programa de Pós-Graduação em História**, Universidade Federal do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2015. Disponível em: [unirio.br/cch/escoladehistoria/pos-graduacao/ppgh/dissertacao\\_monique](http://unirio.br/cch/escoladehistoria/pos-graduacao/ppgh/dissertacao_monique).

VIVAS, Mathieu. Christian Burial Privation in the Middle Ages: An Interdisciplinary Approach (France, Mid-10th–Early 14th). **Imago Temporis: Medium Aevum**, v. 12, p. 119–145, 2018. DOI: 10.21001/itma.2018.12.06. Disponível em: [https://www.raco.cat/index.php/ImagoTemporis/article/view/353494?utm\\_source=chatgpt.com](https://www.raco.cat/index.php/ImagoTemporis/article/view/353494?utm_source=chatgpt.com).

WESCOTT, D. J. Recent advances in forensic anthropology: decomposition research. *Forensic Sciences Research*, p. 1-16, 2018.

WILLMOTT, H.; TOWNEND, P.; SWALES, D. M.; POINAR, H.; EATON, K.; KLUNK, J. A Black Death mass grave at Thornton Abbey: the discovery and examination of a fourteenth-century rural catastrophe. **Antiquity**, v. 94, n. 373, p. 179–196, 2020. Disponível em: <https://doi.org/10.15184/aqy.2019.213>.

WÓJCIK, W.; ŁUKASIEWICZ, M.; PUPPEL, K. Biogenic amines - formation, action and toxicity—review. **Journal of the Science of Food and Agriculture**, v. 101, n. 7, p. 2634–2640, 2020.

ZADORA-RIO, É. The making of churchyards and parish territories in the early-medieval landscape of France and England in the 7th–12th centuries: a reconsideration. **Medieval Archaeology**, v. 47, n. 1, p. 1–19, 2003. Disponível em: <https://doi.org/10.1179/med.2003.47.1.1>.

ZHOU, Ning; ZHANG, Alei; WEI, Guoguang; YANG, Sai; XU, Sheng; CHEN, Kequan; OUYANG, Pingkai. Cadaverine production from L-lysine with chitin-binding protein-mediated lysine decarboxylase immobilization. **Applied Microbiology and Biotechnology**, v. 107, p. 987–997, 2023. DOI:10.3389/fbioe.2020.00103. Disponível em: <https://www.frontiersin.org/journals/bioengineering-and-biotechnology/articles/10.3389/fbioe.2020.00103/full>.