

UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA
FACULDADE DE ENGENHARIA
CURSO DE ENGENHARIA AMBIENTAL E SANITÁRIA

NECROCHORUME: ASPECTOS DA MOBILIDADE E DA MITIGAÇÃO DOS
IMPACTOS

Leonardo Augusto de Paula Freitas Barbosa de Carvalho

Juiz de Fora
2019

Leonardo Augusto de Paula Freitas Barbosa de Carvalho

**NECROCHORUME: ASPECTOS DA MOBILIDADE E DA MITIGAÇÃO DOS
IMPACTOS**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental e Sanitária, da Universidade Federal de Juiz de Fora como requisito à obtenção do título de Engenheiro Sanitarista e Ambiental.

Área de concentração: Meio ambiente

Linha de pesquisa: Qualidade dos solos

Orientador: Jonathas Batista Gonçalves Silva

**Juiz de Fora
2019**

AGRADECIMENTOS

Primeiramente agradeço a Deus por toda misericórdia que me trouxe até aqui. Por toda força que me deu em meus momentos de desespero e angústias. Sem Ele não teria chegado até aqui e conquistado esse sonho.

Aos meus familiares, em especial a minha mãe Sandra Aparecida que sempre me apoiou e incentivou a estudar, me dando todo amparo que precisei. Aos tios e tias que me ajudaram nessa caminhada me incentivando e proporcionando momentos de alegria e conforto quando precisei.

Aos meus amigos que fiz durante essa caminhada em Juiz de Fora em especial o João Monteiro que foi um grande parceiro de faculdade e fora dela, que me ajudou em crescimento e aprendizado, espero que essa amizade seja eterna. Agradeço também minha amiga de vida, Daniella Aquino por todos os anos de amizade, e por sempre estar ao meu lado independente do que aconteça.

Ao professor Jonathas que aceitou o desafio de ser meu orientador e me apoiou e ajudou em todo o processo de conclusão deste trabalho e também em todo período de faculdade.

Aos professores Fabiano César Leal e Otávio Branco Eurico de Aquino que aceitaram participar da minha banca examinadora.

A todos os professores com quem tive contato durante o curso por repassar todo o conhecimento dentro e fora da sala de aula. Cada um propiciou uma ajuda diferente em algum momento de dificuldade.

De forma geral, agradeço a todos que fizeram parte da minha caminhada até aqui.

RESUMO

Os resíduos advindos das atividades dos cemitérios têm provocado grande receio a cerca dos impactos ambientais, entretanto pouco se sabe sobre os verdadeiros malefícios, como isso acontece, como evitar e como tratar principalmente os solos contaminados. Desta forma, este estudo tem como objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a solubilidade de solutos presentes no necrochorume localizado no perfil do solo. Caracterizar os compostos encontrados no necrochorume, verificar os impactos que o necrochorume pode causar no solo, na água e na saúde, apresentar os parâmetros de mobilidade no solo dos compostos presentes no necrochorume e indicar os tratamentos conhecidos e utilizados nos solos contaminados. Além do mau cheiro do necrochorume, o líquido pode causar problemas no solo e água, além dos problemas na saúde dos que ingerem a água contaminada. Foram analisados 5 elementos que estão presentes no necrochorume, são eles: nitrogênio, potássio, sódio, zinco e chumbo. De acordo com o fator de retardamento de cada elemento, conclui-se que o nitrato possui maior mobilidade. Medidas mitigadoras podem evitar o problema, como o uso de pastilhas, mantas para absorção e impermeabilização dos túmulos. Além do sistema de drenagem, o cemitério vertical e a cremação dos corpos. Como tratamento existe a fitorremediação, que consiste em usar plantas para extrair os elementos do solo contaminado, além do tratamento do necrochorume e a aplicação de zeólitas sintetizadas da cinza do carvão.

Palavra chave: Necrochorume; solutos; nitrogênio; fitorremediação.

ABSTRACT

Waste from cemetery activities has caused great fear about environmental impacts, however little is known about the real harm, how it happens, how to avoid and how to treat contaminated soils. Thus, this study aims to perform a literature review on the solubility of solutes present in necrochorume located in the soil profile. To characterize the compounds found in necrochorume, to verify the impacts that necrochorume can cause on soil, water and health, to present the soil mobility parameters of compounds present in necrochorume and to indicate known treatments used in contaminated soils. In addition to the bad smell of necrochorume, the liquid can cause soil and water problems, as well as health problems for those ingesting contaminated water. Five elements that are present in the necrochorume were analyzed, namely: nitrogen, potassium, sodium, zinc and lead. According to the retardation factor of each element, it is concluded that nitrate has greater mobility. Mitigation measures can avoid the problem, such as the use of tablets, blankets for absorption and waterproofing of the tombs. In addition to the drainage system, the vertical cemetery and the cremation of the bodies. As treatment there is phytoremediation, which consists of using plants to extract the elements from the contaminated soil, in addition to the treatment of necrochorume and the application of synthesized coal ash zeolites.

Keyword: Necrochorume; solutes; nitrogen; phytoremediation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Vazamento de necrochorume de sepultura.	12
Figura 2: Necrochorume oriundo de sepultura.	13
Figura 3: Sepultura depreciada.	13
Figura 4: Sepultura depreciada.	14
Figura 5: Composição média do necrochorume.	15
Figura 6: Diagrama das substâncias componentes do necrochorume.	15
Figura 7: Contaminação por necrochorume no aquífero freático.	21
Figura 8: Modelo de risco á contaminação da água subterrânea.	22
Figura 9: Modelo de risco á contaminação da água subterrânea.	23
Figura 10: Ilustração de pluma de contaminação no solo.	25
Figura 11: Distribuição das águas no solo.	27
Figura 12: Pastilhas para o tratamento do necrochorume.	34
Figura 13: Manta absorvente.	35
Figura 14: Processo de utilização da manta absorvente.	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1: Propriedades da cadaverina e da putrescina.	16
Quadro 2: Composição aproximada do corpo de um homem adulto de 70 kg.....	17
Quadro 3: Parâmetros físico-químicos das amostras de águas dos poços no lençol freático no entorno do cemitério Santa Inês, Vila Velha, ES.	23
Quadro 4: Parâmetros de transporte do nitrato: coeficiente de dispersão (D) e fator de retardamento (R) e dispersividade (λ).	29
Quadro 5: Parâmetros de transporte do nitrato: coeficiente de dispersão (D) e fator de retardamento (R).....	29
Quadro 6: Características obtidas no ensaio de deslocamento miscível e valores médios do fator de retardamento (R) e coeficiente dispersivo-difusivo (D) dos íons potássio.	30
Quadro 7: Características obtidas no ensaio de deslocamento miscível e valores médios do fator de retardamento (R) e coeficiente dispersivo-difusivo (D) dos íons potássio.	31
Quadro 8: Características obtidas no ensaio de deslocamento miscível e valores médios do fator de retardamento (R) e coeficiente dispersivo-difusivo (D) dos íons zinco.....	32
Quadro 9: fator de retardamento x carga hidráulica	32

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	9
2 OBJETIVOS	11
2.1 Objetivo Geral	11
2.2 Objetivos Específicos	11
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	12
3.1. Necrochorume: o que é?	12
3.2. Composição do necrochorume	14
3.3. Legislação	17
3.4. Impactos no meio físico e biótico	18
3.4.1. Impactos no meio físico	19
3.4.1.1. Solo contaminado	19
3.4.1.2. Água contaminada	20
3.4.2. Impactos no meio biótico	24
Impacto na saúde do ser humano.....	24
3.5. Mobilidade de solutos presentes no necrochorume ao longo do perfil do solo	25
3.5.1 Nitrogênio.....	28
3.5.2 Potássio.....	29
3.5.3 Sódio.....	30
3.5.4 Zinco.....	31
3.5.5 Chumbo	32
3.6 Medidas de mitigação, tratamentos e desafios	33
3.6.1 Medidas de mitigação.....	33
3.6.2 Tratamento de áreas contaminadas	36
3.7. Recomendações e Desafios	37
4. CONCLUSÃO	38
BIBLIOGRAFIA	39

1 INTRODUÇÃO

A importância que o solo possui, entre outras coisas, se deve ao fato de que ele exerce tarefas essenciais relacionadas ao uso humano, ao meio em que vivemos, entre outras. Os resíduos advindos das diversas atividades do homem têm provocado grande receio no que tange aos impactos ao meio ambiente, acima de tudo em relação aos processos de contaminação das propriedades do solo, como também à degradação e os riscos incalculáveis e iminentes aos mananciais hídricos e suas águas de superfície e subterrâneas.

A crescente contaminação dos solos, principalmente em área urbana, é o resultado de processos sociais e econômicos, resultante do uso e ocupação do solo sem a preocupação de se observar os parâmetros de proteção ambiental (GÜNTHER, 2006).

A forte interferência da indústria contribuiu para que se formassem grandes centros metropolitanos, porém deixaram sérias marcas por meio dos resíduos industriais descartados de forma incorreta, ocupação desordenada, desmatamento, erosão, saneamentos executados de forma irregular e sem planejamento, entre outras, foram as principais causas de degradação dos solos em áreas urbanas (GÜNTHER, 2006).

Muito se fala sobre a preocupação da poluição das águas, porém o solo precisa o mesmo cuidado. Os cemitérios vêm sendo alvo cada vez mais de estudos, dado ao fato da decomposição dos corpos nele sepultados serem causadores de poluição.

No passado havia o costume de enterrar os corpos dos mortos dentro ou ao redor das igrejas, pois acreditavam que dessa forma os mortos estariam mais próximos da salvação divina. Outra característica marcante era a divisão dos locais pelo poder aquisitivo (CARNEIRO e LADEIRA, 2016).

As preocupações ambientais começaram pelo fato dos cemitérios estarem aumentando. As condições do solo onde são construídos os cemitérios, as profundidades das covas, o sistema de drenagem desses locais e a proximidade com as habitações tem sido foco de estudos nos últimos anos.

É possível dizer que os cemitérios, em sua grande maioria, não foram estudados e nem projetados antes do processo de implantação e muito pouco se sabe sobre a potencialidade de contaminação do solo e seu entorno.

O corpo humano, depois de morto, se modifica. Passa a existir um ecossistema formado por populações de bactérias, artrópodes, microrganismos patogênicos que auxiliam na decomposição da matéria orgânica do corpo, entre outros. Os cemitérios realizam o papel de laboratórios de decomposição e depósitos de cadáveres, os quais apresentam grandes riscos para o meio ambiente e a saúde pública (ALMEIDA e MACÊDO, 2005).

A decomposição de um cadáver acontece por partes, dando início com a coloração, passando pelo gasoso e coliquativo e finalizando com a esqueletização. Cada etapa possui um tempo de ocorrência, porém cada corpo se decompõe de forma individual. A liberação do necrochorume acontece no período coliquativo, é um líquido lixiviado, tóxico, com grande potencial de contaminação das águas superficiais e subterrâneas e do solo (FRANCISCO, SILVA, *et al.*, 2017).

Segundo Galli (2014), as etapas da decomposição do cadáver acontecem da seguinte forma:

Período de Coloração – Geralmente se inicia a partir de 18 a 24 horas depois do óbito e dura aproximadamente 10 dias, prazo pode ser alterado pela condição climática. Tem início com uma mancha verde na região no abdômen, a cor se justifica pela presença de sulfometahemoglobina.

Período Gasoso – tem início na primeira semana e dura por 30 dias aproximadamente. Os gases produzidos pela putrefação se infiltram no tecido muscular e modifica a forma externa do corpo e a fisionomia.

Período Coliquativo – é o período de redução dos tecidos que tem início do fim do primeiro mês podendo durar 2 ou 3 anos. Nesta fase acontece a desintegração e amolecimento dos tecidos, se convertendo em uma massa, semilíquida, forte odor e escura, conhecida como putrilagem.

Período de Esqueletização – No fim do período coliquativo, a putrilagem seca e se torna um pó, deixando o esqueleto exposto, então tem início o período de esqueletização. O esqueleto ósseo descoberto pode-se conservar por muito tempo.

Diante desta problemática, apresenta-se a necessidade do estudo dos contaminantes encontrados no necrochorume, como é feito o transporte dos contaminantes e o impacto causado no solo e meio ambiente.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

O presente trabalho tem por objetivo realizar uma revisão bibliográfica sobre a solubilidade de solutos presentes no necrochorume localizado no perfil do solo.

2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar os compostos do necrochorume;
- Verificar possíveis impactos ambientais e na saúde da população;
- Apresentar parâmetros de mobilidade de solutos presentes em necrochorume.
- Indicar os tratamentos mais eficazes na atualidade;

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Necrochorume: o que é?

Segundo Saraiva (2010, p.30), logo após a morte “os corpos se decompõem, passando por fases de destruição dos tecidos por ação de bactérias e enzimas, resultando em sua transformação em gases, líquidos e sais”.

No decorrer do processo de decomposição, é liberado um líquido (Figuras 1 e 2) que recebeu da resolução CONAMA 335 de 3 de abril de 2003 o nome de “produto da coliquação”, popularmente conhecido como necrochorume.

O necrochorume é um líquido percolado, que possui como característica uma coloração entre laranja avermelhado até acinzentado, apresenta um forte odor fétido e grande carga patogênica (NETO, JÚNIOR e SILVA, 2019).

De acordo com Campos (2007), o necrochorume é uma solução rica em sais minerais e substâncias degradáveis, aquosa, que é resultante do processo de decomposição de corpos enterrados em cemitérios, “com duração de seis a oito meses, ou mais, dependendo das condições ambientais, e cuja formação se inicia após a morte, no período coliquativo (após a fase gasosa)”.

Figura 1: Vazamento de necrochorume de sepultura.



Fonte: Alcântara, Santos, *et al.* (2010, p. 22).

Figura 2: Necrochorume oriundo de sepultura.



Fonte: Alcântara, Santos, *et al.* (2010, p. 22).

Leite (2009) defende a necessidade de se fazer um controle anual dos cemitérios, buscando identificar se o solo e o lençol freático estão contaminados, além disso, destaca a importância de um estudo da topologia e uma análise hidro geográfica do local.

Figura 3: Sepultura depreciada.



Fonte: Acervo pessoal.

Além de realizar o estudo do solo e do lençol freático, é preciso realizar manutenções devidas dos túmulos para que não ocorra deterioração e assim o cadáver ficar exposto a céu aberto. Nas Figuras 3 e 4 ilustram-se sepulturas depreciadas.

Figura 4: Sepultura depreciada.

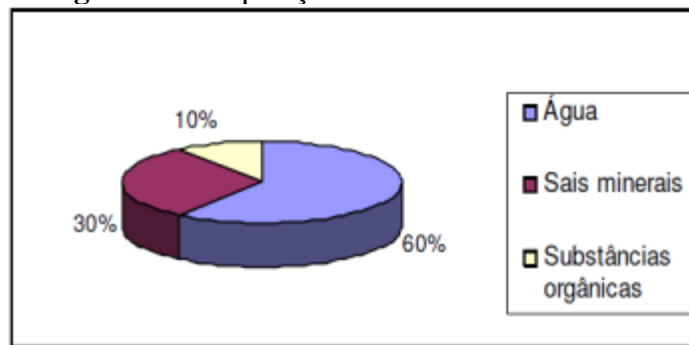


Fonte: Acervo pessoal.

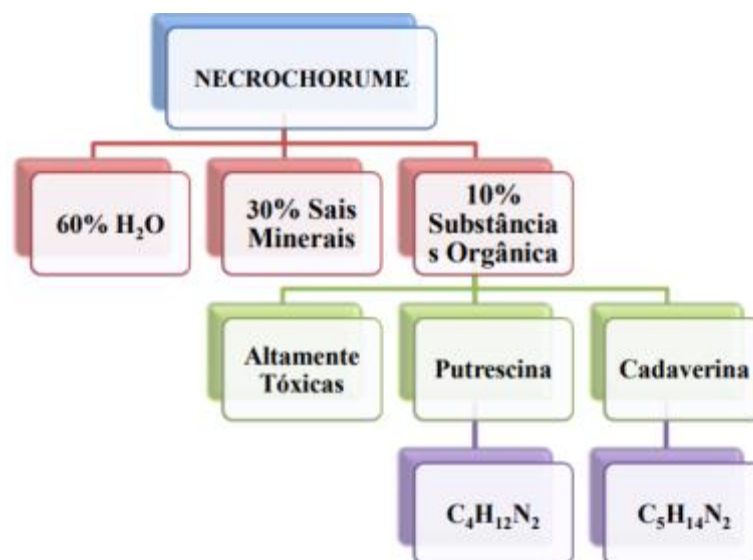
3.2. Composição do necrochorume

O necrochorume é um material viscoso, com cor castanho-avermelhada, possui cheiro forte e alto grau de patogenicidade. Tem densidade média de $1,23 \text{ g/cm}^3$ (material mais denso que a água), sua relação entre o peso do corpo e o volume de necrochorume produzido é de $0,60\text{L/Kg}$ (CARNEIRO, 2008). Sendo assim, cada corpo que sofre a decomposição pode liberar em torno de 30 a 40 litros de necrochorume (CAMPOS, 2007).

Constituído por 60% de água (Figura 5 e 6), o necrochorume ainda apresenta 30% de sais minerais e 10% de substâncias orgânicas, como as bactérias e diaminas consideradas tóxicas como a cadaverina (1,5 pentanodiamina) e putrescina (1,4 butanodiamina), vistas como fortes venenos e não possuem antídotos eficazes. À temperatura de 23 a 28°C , apresenta pH entre 5 e 9 (CAMPOS, 2007).

Figura 5: Composição média do necrochorume.

Fonte: Carneiro (2008, p. 11).

Figura 6: Diagrama das substâncias componentes do necrochorume.

Fonte: Bortolassi (2012, p. 23).

Entre os teores normais de compostos das cadeias de nitrogênio e fósforo, aminas e metais pesados, destacam-se as duas diaminas mais tóxicas: cadaverina (1,5 Pentanodiamina) e a putrescina (1,4 Butanodiamina). O nível elevado desses compostos no lençol freático pode ser relacionado com a toxicidade química do necrochorume (FINEZA, 2008). Essas substâncias orgânicas são responsáveis pela transmissão de doenças infecto contagiosas como a febre tifóide e a hepatite.

A putrescina é uma substância produzida pela composição cadavérica, é uma poliamina de grande importância nos processos fisiológicos, é uma molécula necessária para a espermidina e espermina. Além disso, é considerada uma substância reguladora, que auxilia no desenvolvimento e crescimentos das plantas (PEREIRA, 2017). A cadaverina é oriunda da descarboxilação do aminoácido lisina encontrada na matéria orgânica, a cadaverina é uma

amina biogênica. Está presente no processo de crescimento e desenvolvimento (em concentrações fisiológicas) de diversos organismos vivos, entretanto, quando encontradas em níveis anormais, pode-se relacionar com o aparecimento de doenças, além disso, constituem um grupo de alta biotoxicidade (HARA, 2016).

Tanto a putrescina quanto a cadaverina podem ser degradadas e se transformarem em amônio (NH_4^+) (XAVIER, FILHO, *et al.*, 2018).

No Quadro 1 apresentam as propriedades da cadaverina e putrescina.

Quadro 1: Propriedades da cadaverina e da putrescina.

Propriedade	Cadaverina ($\text{C}_5\text{H}_{14}\text{N}_2$)	Putrescina ($\text{C}_4\text{H}_{12}\text{N}_2$)
Massa Molecular	102,18	88,15
Densidade	0,873g/cm ³	0,877g/cm ³
Ponto de fusão	26° - 28° C	27° - 28° C
Ponto de ebulição	178° - 180° C	158° - 160° C
N ²⁰ _D índice de refração	1,4582	1,4569
Solubilidade em água (23°-28°)	Elevada	Elevada
Toxidade	Elevada	Elevada
Coloração	Pardacenta	Pardacenta
Odor	Corrosivo	Corrosivo

Fonte: Fineza (2008, p. 18).

N - índice de refração; D - comprimento de onda; 20 - temperatura de referência.

No Quadro 2 é mostrado a composição do corpo de um homem adulto de 70 kg e os principais elementos que são lançados no solo na fase coliquativa.

O necrochorume contém principalmente nitrogênio, carbono, fosforo, cálcio, potássio, enxofre, cloro, sódio, ferro, magnésio e água, sendo encontrados em maior quantidade o nitrogênio, cálcio e carbono (RANGONI, 2014).

Sobre a composição química do necrochorume é possível encontrar altos índices de bactérias que degradam a matéria orgânica, proteínas e lipídios, além disso, é possível encontrar bactérias excretadas por animais e humanos, “como coliformes totais (*Escherichia coli*, *Enterobacter*, *Klebsiella* e *Citrobacter*), *Streptococcus faecalis* e alguns *clostrídios* como, por

exemplo, *Clostrídiosperfringens*. Também é possível encontrar bactérias patogênicas e enterovírus” (SILVA, SANTOS, *et al.*, 2014).

Quadro 2: Composição aproximada do corpo de um homem adulto de 70 kg.

Substância	Quantidade (g)	% por peso
Carbono	16.000	22,9
Nitrogênio	1.800	2,57
Cálcio	1.100	1,57
Fósforo	500	0,71
Enxofre	140	0,2
Potássio	140	0,2
Sódio	100	0,14
Cloro	95	0,14
Magnésio	19	0,03
Ferro	4,2	0,006
Zinco	2,3	0,003
Cobre	0,07	0,0001
Manganês	0,01	0,00001
Estrôncio	0,32	0,00005
Chumbo	0,12	0,00017
Alumínio	0,06	0,00009
Água	-	70-74%

Fonte: Saraiva (2010, p. 18).

3.3. Legislação

O Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA) divulgou a resolução nº 335, de 3 de abril de 2003, que trata sobre o licenciamento ambiental de cemitérios, com isso os órgãos ambientais passaram a ter responsabilidade e obrigação de fiscalizar a implantação de novos cemitérios (ALMEIDA e MACÊDO, 2005).

De acordo com Brasil (2003), de acordo com a resolução CONAMA nº 335/2003 e nº 368/2006, foram estabelecidos os seguintes critérios:

- “I - o nível inferior das sepulturas deverá estar a uma distância de pelo menos um metro e meio acima do mais alto nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias;
 - II - nos terrenos onde a condição prevista no inciso anterior não puder ser atendida, os sepultamentos devem ser feitos acima do nível natural do terreno;
 - III - adotar-se-ão técnicas e práticas que permitam a troca gasosa, proporcionando, assim, as condições adequadas à decomposição dos corpos, exceto nos casos específicos previstos na legislação;
 - IV - a área de sepultamento deverá manter um recuo mínimo de cinco metros em relação ao perímetro do cemitério, recuo que deverá ser ampliado, caso necessário, em função da caracterização hidrogeológica da área;
 - V - documento comprobatório de averbação da Reserva Legal, prevista em Lei;
 - VI - estudos de fauna e flora para empreendimentos acima de 100 (cem) hectares.
- § 1º Para os cemitérios horizontais, em áreas de manancial para abastecimento humano, devido às características especiais dessas áreas, deverão ser atendidas, além das exigências dos incisos de I a VI, as seguintes:
- I - a área prevista para a implantação do cemitério deverá estar a uma distância segura de corpos de água, superficiais e subterrâneos, de forma a garantir sua qualidade, de acordo com estudos apresentados e a critério do órgão licenciador;
 - II - o perímetro e o interior do cemitério deverão ser providos de um sistema de drenagem adequado e eficiente, destinado a captar, encaminhar e dispor de maneira segura o escoamento das águas pluviais e evitar erosões, alagamentos e movimentos de terra;
 - III - o subsolo da área pretendida para o cemitério deverá ser constituído por materiais com coeficientes de permeabilidade entre 10⁻⁵ e 10⁻⁷ cm/s, na faixa compreendida entre o fundo das sepulturas e o nível do lençol freático, medido no fim da estação das cheias. Para permeabilidades maiores, é necessário que o nível inferior dos jazigos esteja dez metros acima do nível do lençol freático.
- § 2º A critério do órgão ambiental competente, poderão ser solicitadas informações e documentos complementares em consonância com exigências legais específicas de caráter local”.

Entretanto, o maior desafio encontrado é adaptar os cemitérios já existentes as exigências do CONAMA. Após a divulgação da Resolução CONAMA nº 402/2008, os cemitérios tiveram o prazo até dezembro de 2010 para se adaptarem as medidas solicitadas.

Em Minas Gerais a regularização dos cemitérios é feita através da Deliberação Normativa da COPAM nº 74/2004. Para Minas Gerais (2004), os cemitérios são considerados potencial poluidor degradador geral médio, sendo susceptível a licenciamento ambiental caso tiver área maior que cinco hectares.

3.4. Impactos no meio físico e biótico

De um modo geral, as principais fontes de poluição e contaminação nos centros urbanos são as fossas sépticas, as redes de esgoto, os aterros sanitários, postos de armazenamento e

distribuição de combustíveis, as atividades industriais e os cemitérios. Entre todas essas fontes de contaminação e poluição, os cemitérios são os mais sutis e silenciosos, devido a sua dificuldade de detectar a contaminação dos solos e lençóis freáticos causados pelo nicrochorume (LEITE, 2009).

As águas provenientes das chuvas infiltram pelo solo e túmulos causando lixiviação de substâncias químicas orgânicas e inorgânicas, além de micro-organismos, apresentando um risco ambiental e sanitário, para o meio ambiente e saúde da população (BETIATTO, SOUZA e BINI, 2015).

3.4.1. Impactos no meio físico

3.4.1.1. Solo contaminado

Segundo os autores Alcântara, Santos, *et al.* (2010), o solo é um meio trifásico, constituído por partes gasosas, líquidas e sólidas. Formado por materiais orgânicos, minerais e matéria viva, além de poder ser modificado e alterado pela ação humana.

O solo argiloso é caracterizado por possuir mais de 35% de argila em sua decomposição, apresentam alta capacidade de retenção de água, baixa permeabilidade e alto poder de floculação. Podendo apresentar cores acinzentadas, amareladas e avermelhadas (ALCÂNTARA, SANTOS, *et al.*, 2010).

No caso dos solos arenosos, possuem em sua composição mais de 70% de areia e menos de 15% de argila. Estes solos possuem boa aeração, são permeáveis e possui baixa capacidade de retenção, além de apresentar baixo teor de matéria orgânica, o que atrapalha no desenvolvimento de microrganismos e plantas (ALCÂNTARA, SANTOS, *et al.*, 2010).

Desta forma, os solos argilosos (menos permeáveis) tem maior capacidade de reter os microrganismos do que os solos arenosos e cascalhos (mais permeáveis). Portanto, solos com canais de dissolução, fraturas ou com interstícios podem ser mais susceptíveis a contaminação (CAMPOS, 2007).

Para Campos (2007) as camadas do solo são subdivididas em: zona não-saturada e zona saturada. A zona não-saturada é a camada entre a superfície do solo e a zona saturada, com a presença de vazios entre as partículas sólidas e parcialmente preenchida por água. A zona

saturada se localiza abaixo da zona não-saturada, que possui fraturas ou poros completamente preenchidos por água. A velocidade de percolação nesta zona é bem reduzida.

Pedron, Dalmolin, *et al.* (2004), defende que poluição do solo é “presença de níveis de algum elemento ou substância que pode afetar componentes bióticos do ecossistema, comprometendo sua funcionalidade e sustentabilidade”.

Silva, Fiore, *et al.* (2015), em estudo de caso realizado em um cadáver suíno, verificaram-se que após a decomposição, o solo em que o animal foi sepultado adquiriu uma cor esverdeada, tal fato se justifica pela presença e ação de fungos.

Conforme os autores Almeida e Macêdo (2005), ao estudar os arredores dos cemitérios do município de Juiz de Fora - MG, analisaram os seguintes parâmetros: dureza, pH, condutividade, amônia, nitrato, cloretos e Ca^{2+} e Mg^{2+} . A conclusão do estudo indica a contaminação por necrochorume no solo entorno dos cemitérios determinado pelo aumento considerável de alguns parâmetros, entre eles, principalmente, a condutividade elétrica da água que aumentou em até 500% e os cloretos que sofreram aumento entre 100% e 1200%.

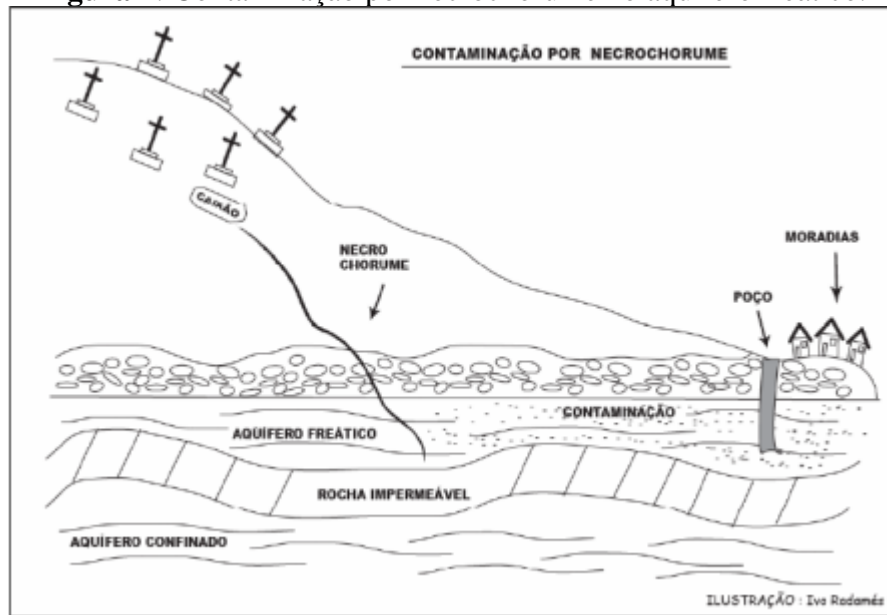
Em estudo realizado por Romanó (2003), foram analisados o meio físico os cemitérios municipais do Boqueirão e de Santa Cândida, no município de Curitiba – PR. Ao serem estudados os solos desta região, verificou-se a presença de altas concentrações de carbono e forte odor, evidenciando a contaminação através do necrochorume.

Ao analisar amostras de solos internos e externos do cemitério de Nossa Senhora da Pena, na cidade de Lages – SC, os autores Dutra, Souza e Bem (2015), concluíram que as amostras os solos internos apresentaram maior teor de matéria orgânica e pH que as amostras de solo do perímetro externo do cemitério, justificado pela influência e contaminação do necrochorume, oriundo da decomposição dos corpos. Além disso, os autores destacaram que a ação antropogênica (ação do homem) no local alterou os parâmetros físico-químicos do solo.

3.4.1.2. Água contaminada

A implantação de cemitérios em locais inadequados pode causar contaminação através do necrochorume, além das técnicas utilizadas para conservação do cadáver, contribuindo para a poluição dos aquíferos. Conforme ilustrado na Figura 7, é necessário realizar o gerenciamento do necrochorume a fim de evitar danos ao meio ambiente (SILVA, RODRIGUES e OLIVEIRA, 2012).

Figura 7: Contaminação por necrochorume no aquífero freático.



Fonte: Leite (2009, p. 135).

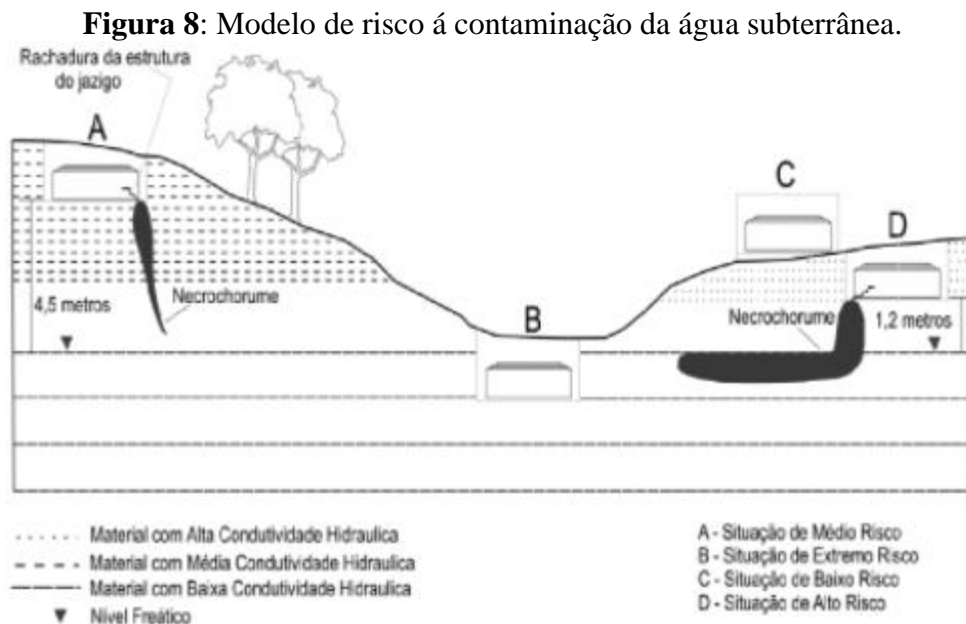
Na Figura 8 apresentam-se quatro tipos de sepultamento e as possíveis formas de contaminação da água pelo necrochorume. Na situação A o contaminante é infiltrado na zona não saturada e recebe a classificação de baixo risco de contaminação da água subterrânea. Na situação B, o jazigo se encontra sob o nível freático e pode ser inundado, apresenta a classificação de extremo risco. A situação C é a forma que a resolução CONAMA 335 de 3 de abril de 2003 aconselha, ou seja, sepultamento deve ter uma altura mínima de 1,5m do lençol freático. Na situação D, acontece um favorecimento na condução do necrochorume para profundidades maiores, por possuir uma alta condutividade hidráulica, situação chamada de alto risco.

O maior impacto causado no meio ambiente pela presença do cemitério é o extravasamento do necrochorume e sua infiltração no nível hidrostático, onde existe a facilidade de disseminar a contaminação (SILVA, RODRIGUES e OLIVEIRA, 2012).

Em um estudo realizado em um cemitério no município de Vila Velha – ES (figura 9), pelos autores Neira, Terra, *et al.* (2008), obtiveram os resultados encontrados no Quadro 3.

De acordo com os parâmetros apresentados no Quadro 3, constatou-se que a presença de cálcio, oriundo da decomposição dos ossos, permaneceu dentro dos valores permitidos. A cor real estava elevada, que acontece quando ácidos húmicos são adicionados a água natural, mostrando uma possível contribuição de matéria orgânica no local de análise. O alto índice de nitrogênio amoniacal encontrado no local, pode ser justificado pela presença de um lixão

próximo ao posto de coleta 4. Com relação ao nitrato e nitrito, foram encontrados valores além do permitido pela CONAMA335 de 3 de abril de 2003, evidenciando a contaminação do local tendo como origem o necrochorume. Na pesquisa foi observado um nível de pH próximo de 5, o que caracteriza a amostra de água como ácida, evidenciando a possibilidade de contaminação pelo cemitério. A temperatura interfere de maneira direta no crescimento microbiológico, assim sendo, a altura elevada no poço 5 pode ser justificada por estar mais próximo da superfície, absorvendo mais calor. A turbidez, alteração da incidência de luz pelas partículas em suspensão, apresentou um teor elevado, que se justifica pela lixiviação da matéria orgânica e de outras substâncias da água percolados pelo solo, tendo como origem os sepultamentos em cova rasa (NEIRA, TERRA, *et al.*, 2008).

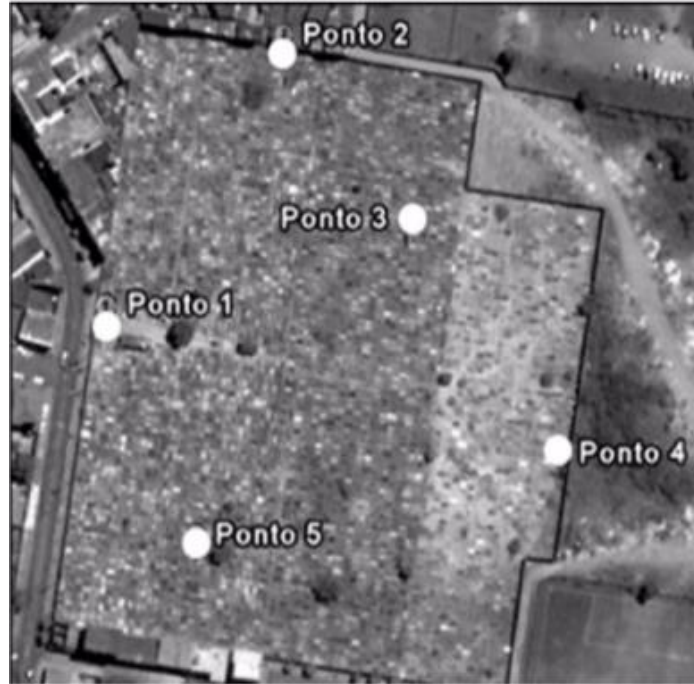


Fonte: Silva e Filho (2008, p. 31).

Em uma pesquisa realizada pelos autores Luz, Morales e Maia (2019), em um cemitério no município de Itacoatiara-AM, verificou-se que a estrutura do cemitério não é capaz de conter a percolação do necrochorume incidente no local. Fato preocupante encontrado no local foi o limite operacional do cemitério excedido, o que aumenta o risco de excessiva produção de necrochorume e contaminação das reservas subterrâneas de água. Em três amostras de água retiradas em um ponto de coleta próximo ao cemitério foi detectada a presença das aminas

putrescina e cadaverina. Concluindo o estudo, foi possível afirmar que a água coletada no entorno do cemitério encontra-se sobre a influência do necrochorume oriundo do cemitério.

Figura 9: Modelo de risco á contaminação da água subterrânea.



Fonte: Neira, Terra, *et al.* (2008, p. 37).

Quadro 3: Parâmetros físico-químicos das amostras de águas dos poços no lençol freático no entorno do cemitério Santa Inês, Vila Velha, ES.

Parâmetros	Poços de coleta									
	1		2		3		4		5	
	1ª Campanha	2ª Campanha	1ª Campanha	2ª Campanha	1ª Campanha	2ª Campanha	1ª Campanha	2ª Campanha	1ª Campanha	2ª Campanha
Cálcio (mg L ⁻¹)	34,87	*	45,71	55,79	23,24	19,37	60,44	5579	44,94	49,59
Cor real (uH)	200	*	3	106	80	508	25	86	30	112
Nitrogênio amoniacal (mg L ⁻¹)	3,78	*	13,77	2,00	3,18	3,63	9,55	10,74	1,11	2,00
Nitrato (mg L ⁻¹)	0,95	*	0,66	14,47	0,02	1,09	0,52	0,02	2,37	12,84
Nitrito (mg L ⁻¹)	0,02	*	0,02	0,21	0,02	0,08	0,02	0,02	0,02	0,02
pH	6,52	*	7,48	7,55	7,38	7,25	5,29	5,12	7,71	7,54
Temperatura (°C)	32	*	28	26	29	28	31	28	29	28
Turbidez (UNIT)	35	*	483	2.140	134	1.430	118	14.100	362	4.170

Fonte: Neira, Terra, *et al.* (2008, p. 38).

Segundo os autores Viana, Costa, *et al.* (2019), verificando as amostras de águas subterrâneas no entorno e um cemitério em João Pessoa – PB, constatou que os valores de pH ácido, em torno de 5, confirma a presença de bactérias patogênicas, além dos parâmetros potencial hidrogênico e coliforme termotolerantes que apresentaram valores acima do permitido para a potabilidade da água.

3.4.2. Impactos no meio biótico

Impacto na saúde do ser humano

A contaminação do cemitério pode chegar a um raio de 400 metros e acarretar doenças e distúrbios como vômitos, gastroenterite, diarreias e cólicas. Esta contaminação acomete a saúde de pessoas que consomem águas oriundas de poços artesianos ou cisternas próximas ao cemitério (STIPP, SILVA e BERTACHI, 2011).

Segundo os estudos do hidrogeólogo Leziro Marques Silva, o cadáver humano pode por em risco a saúde dos vivos:

Porque o necrochorume é vertido pela matéria orgânica em decomposição, ele é rico em nutrientes que proliferam uma assembleia de vírus e bactérias, inclusive as bactérias patogênicas, que são as causadoras da maior parte dos óbitos. Se esse necrochorume escapa do túmulo, entra na circulação do lençol freático. Se você tem no caminho desse lençol freático um poço escavado, uma captação, uma fonte, uma pessoa que inadvertidamente consuma essa água, e se ela tiver com imunidade natural baixa, ela pode ser acometida por uma dessas doenças infectocontagiosas (SILVA, 2007, p.30).

A legislação brasileira vigente utiliza os coliformes totais e fecais como micro-organismos para indicar a existência de contaminação nas águas. Além desses, a Organização Mundial de Saúde (OMS) propõe outros micro-organismos capazes de determinar a potabilidade da água, são eles: *pseudomonas*, *giardia lamblia*, *estreptococos*, *stafilococcus* e *cryptosporidium* (NOGUEIRA, JÚNIOR e COIMBRA, 2013).

Em estudo realizado em cemitérios de Curitiba e São José dos Pinhais – PR constatou-se presença de alumínio, chumbo, ferro, manganês, cálcio e magnésio, acima dos níveis permitidos pela legislação. A alta concentração de alumínio pode causar surdez, tremores, perda de memória, dores musculares e danos ao sistema nervoso central do indivíduo. A presença de ferro causa hemocromatose e o manganês causa problemas respiratórios e efeitos neurotóxicos. O chumbo é considerado um metal bioacumulável que interfere de forma direta no sistema

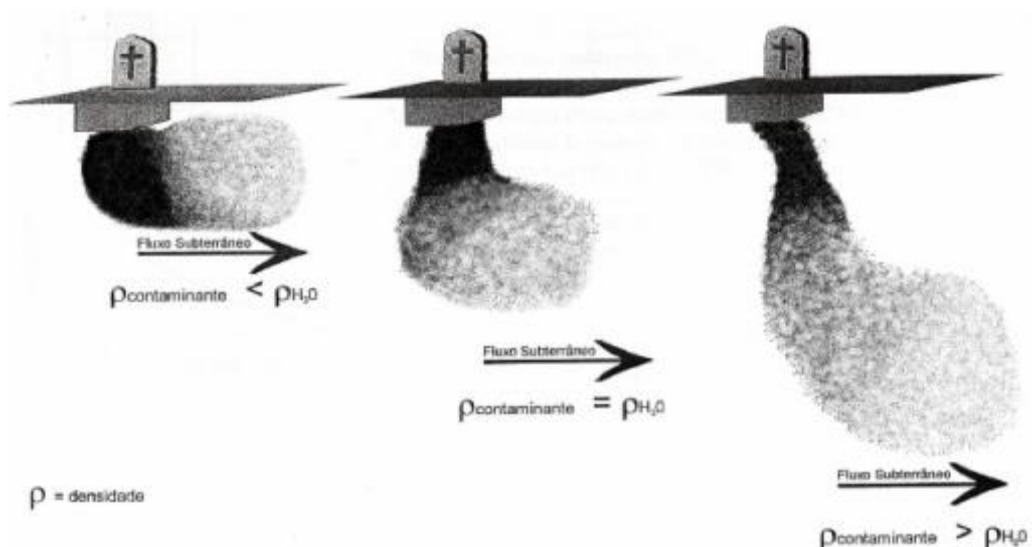
nervoso, rins e medula óssea. O cálcio, em excesso, causa irritabilidade, fraqueza muscular, depressão, anorexia e pedra nos rins. O excesso de magnésio pode causar sede crônica, náuseas, boca seca e hipotensão. Além disso, ainda foram encontrados micro-organismos como *Proteusmorgani*, *Serratiamarcescens* e *Salmonellasp*, que são os principais responsáveis pela pneumonia, febre tifóide e septicemia (CAROLINO, MORAES e RODRIGUES, 2009).

3.5. Mobilidade de solutos presentes no necrochorume ao longo do perfil do solo

De uma maneira geral, o contaminante, no momento em que entra em contato com o solo, sofre algumas reações que podem reter, permitir que passe livremente ou até mesmo atenuar o seu teor em meio sólido. Assim sendo, o comportamento do contaminante irá depender do meio em que está sendo introduzido e suas propriedades físico-químicas. Destaca-se a importância de investigar o movimento do contaminante no solo antes da construção do cemitério (CARNEIRO, 2008).

Em função da densidade e viscosidade do necrochorume em relação à água, acontece a formação de plumas de contaminação que são capazes de se dispersar e alcançar distâncias significativas com velocidade variável, conforme a Figura 9.

Figura 10: Ilustração de pluma de contaminação no solo.



Fonte: Campos (2007, p. 32).

Segundo Leite (2009), antes da construção dos cemitérios é preciso analisar a topografia do local, visto que as substâncias resultantes da decomposição dos corpos podem alcançar “um raio superior a 400 metros” do cemitério.

Para Campos (2007), em meio natural, o necrochorume “decompõe-se e reduz-se a substâncias mais simples e inofensivas, em função do teor de argilas ativas, processando-se uma filtração lenta dos percolados associada à oxidação”. Entretanto, tal condição depende essencialmente do tipo de solo em que o contaminante esteja inserido.

O tipo de solo interfere diretamente no processo de contaminação do solo. O solo arenoso é constituído de grãos maiores, ou seja, possui área superficial menor, o que significa que não apresenta a capacidade de reter o contaminante. Em contrapartida, o solo argiloso possui grãos bem menores, o que aumenta sua área superficial, permitindo que as moléculas do contaminante fiquem retidas (CARNEIRO, 2008).

Além da importância de se conhecer o contaminante que incidirá sobre o local, é preciso analisar o solo sob o qual o cemitério será construído:

Para uma decomposição segura e total dos corpos sepultados, devem ser evitados os solos muito permeáveis como areia, cascalho e as misturas, os solos constituídos por materiais de granulação muito fina (areia finíssima, siltes e argilas) e os terrenos formados pelo intemperismo de rochas cársticas, calcossilicatadas ou muito fina (COMPANHIA DE TECNOLOGIA DE SANEAMENTO AMBIENTAL, 1999, p. 6).

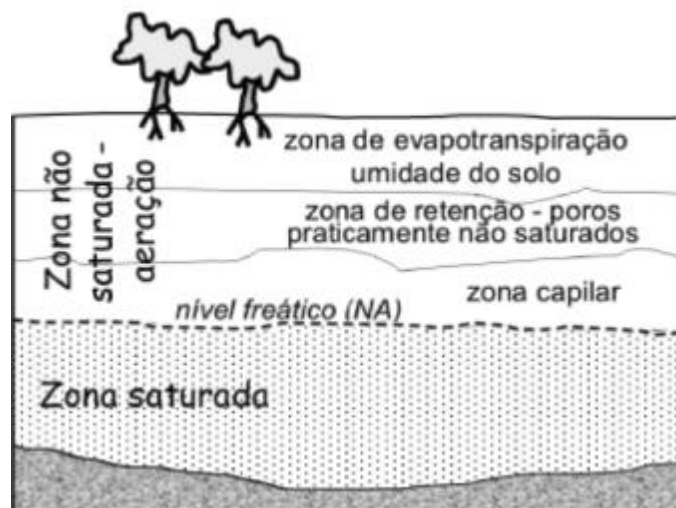
A contaminação do solo acontece de acordo com a vulnerabilidade do meio físico, oriunda das características hidrogeológicas e geológico-geotécnica. A zona de aeração ou zona não-saturada (Figura 10), é formada por partículas sólidas e espaços vazios, podendo conter água. Ainda na zona não-saturada existe o fluxo das águas intersticiais, sendo normalmente vertical. Este mesmo fluxo continua na zona saturada, porém a velocidade de percolação é alterada, sendo muito menores, e o sentido do fluxo é horizontal. A zona não-saturada funciona como filtro (SILVA e FILHO, 2008).

Os autores Silva e Filho (2008) defendem que a mobilidade do soluto é inversamente proporcional a capacidade de absorção dos micro-organismos. De acordo com a resolução CONAMA 335 de 3 de abril de 2003, o material geológico dos cemitérios deve ter condutividade hidráulica entre 10^{-5} e 10^{-7} cm/s. Para que as condições de drenagem do necrochorume e os processos de decomposição aeróbica sejam favorecidos, o solo precisa ter

entre 20 a 40% de argila. De acordo com Carneiro (2008), “a mobilidade do poluente no solo é medida pela condutividade hidráulica do mesmo”, ou seja, “a mobilidade do soluto depende do peso molecular e densidade do poluente e significa a velocidade de infiltração em solo saturado”.

Os sepultamentos ocorrem normalmente, entre 1,5 e 1,8 metro de profundidade, sendo assim, é importante observar a qualidade e o teor de argila presente nessas camadas do solo. Depois de 2 metros de profundidade deste mesmo solo, em direção ao lençol freático, percebe-se que a contaminação é quase inexistente, devido ao solo funcionar como um filtro (LEITE, 2009).

Figura 11: Distribuição das águas no solo.



Fonte: Silva e Filho (2008, p. 31).

Naturalmente, a habilidade do solo em reter substâncias é limitada. Assim sendo, se a fonte de contaminação tiver alimentação contínua, a taxa de retenção tende a diminuir com o tempo, podendo chegar a se anular. Neste ponto, diz-se que o solo atingiu sua capacidade de retenção. A quantidade da substância que permanece dissolvida na água percolante aumenta à medida que a quantidade acumulada no solo se aproxima da sua capacidade de retenção (YONG, MOHAMED e WARKENTIN, 1992).

O fator de retardamento reflete a capacidade do solo de reter o soluto, de acordo com o fluxo que a massa alcança e as interações da fase sólida e líquida que acontecem na percolação. Quando este fator é menor ou igual a 1 mostra que no solo existe competição iônica, que causa a dessorção de cátions (MATOS, GARIGLIO e MONACO, 2013). Em outras palavras o fator

de retardamento é a razão entre a velocidade do fluido percolante e a velocidade da frente de contaminação, podendo ser obtido através de ensaios de coluna.

Além do fator de retardamento, tem o coeficiente muito importante que descreve o comportamento do soluto/contaminante no solo. O coeficiente dispersivo-difusivo, também chamado coeficiente de difusão aparente ou coeficiente de dispersão hidrodinâmica longitudinal, representa o efeito combinado da dispersão mecânica e da difusão iônica. A dispersão mecânica é um movimento proporcionado por variações na velocidade de deslocamento da solução, através de poros individuais e entre poros de diferentes tamanhos, formas e direções. A difusão iônica origina-se em resposta à existência de gradientes de concentração (NIELSEN *et al.*, 1986)

Foram escolhidos os íons nitrato, potássio e sódio por serem os solutos com maior presença no necrochorume e os metais pesados zinco e chumbo, por também estarem presentes neste contaminante, a fim de apresentar os parâmetros de mobilidade destes no solo.

3.5.1 Nitrogênio

Para Fineza (2008), “em ambientes aeróbios ocorre a nitrificação ou oxidação bioquímica (mineralização) das formas de nitrogênio, de amônia a nitratos (NO_3^-); em ambientes anaeróbios ocorre a desnitrificação, ou redução das formas de nitrogênio, de NO_3^- a nitritos (NO_2^-) e a gás nitrogênio (N_2)”.

No solo o nitrogênio se comporta como ânion (NO_3^-) e cátion (NH_4^+). A forma mais encontrada é NO_3^- (nitrato) e é a que possui maior facilidade de ser lixiviada. O nitrogênio encontrado no solo, cerca de 90%, está em sua forma orgânica (SENGIK, 2003).

O nitrogênio pode contribuir na indicação de poluição da água, ou seja, a presença de amônia e nitrogênio orgânico está associada à presença de poluição recente, enquanto a presença de nitrato significa uma poluição mais remota. As formas oxidadas de nitrogênio e a amônia livre são utilizadas como parâmetros para avaliar a qualidade das águas superficiais, principalmente por ser tóxica à vida aquática (FINEZA, 2008).

Nos quadros 4 e 5 são apresentados valores do coeficiente de dispersão, fator de retardamento e dispersividade do nitrato em diversos tipos de solo .

Quadro 4: Parâmetros de transporte do nitrato: coeficiente de dispersão (D) e fator de retardamento (R) e dispersividade (λ).

Tipo de Amostra	Solo	D (cm ² min ⁻¹)	λ (cm)	R
Deformada	1	0,3731	0,8175	1,207
	2	0,446	0,1822	0,9322
Indeformada	1	0,1561	0,0936	0,8102
	2	0,3488	0,0753	0,6333

Fonte: Adaptado de Rossi, Miranda e Duarte (2007).

Solo 1: Latossolo Vermelho-Amarelo, textura média; Solo 2: Latossolo Vermelho-Amarelo, textura argilosa; D: coeficiente de dispersão; R: fator de retardamento; λ : dispersividade.

No quadro 4 foram encontrados valores de R (fator de retardamento) menores que 1, fato que pode justificar algum erro na montagem dos métodos de pesquisa.

Quadro 5: Parâmetros de transporte do nitrato: coeficiente de dispersão (D) e fator de retardamento (R).

Solo	λ (cm)	R
1	11,7741	1,3440
2	2,1501	1,0880
3	0,3870	1,5720

Fonte: Adaptado de Miranda e Duarte (2001).

Solo 1: Latossolo Vermelho Amarelo, Fase arenosa, série "Sertãozinho"; Solo 2: Latossolo Vermelho Amarelo, Fase areno-argilosa; Solo 3: Terra Roxa Estruturada
D: coeficiente de dispersão; R: fator de retardamento

3.5.2 Potássio

O Potássio presente no solo se comporta como cátion monovalente e é facilmente fixado, absorvido e lixiviado, por ser bastante móvel, principalmente nos solos arenosos. Encontrado na forma de minerais, de 90 a 98% do total, como leucita, biotita, moscovita e ortoclássio (SENGIK, 2003).

No quadro 6 apresentam-se valores de fator de retardamento e coeficiente dispersivo para o íon potássio obtido por diversos autores e em diversos tipos de solo.

Quadro 6: Características obtidas no ensaio de deslocamento miscível e valores médios do fator de retardamento (R) e coeficiente dispersivo-difusivo (D) dos íons potássio.

	R	D (cm ² h ⁻¹)
LVAd ¹	1,63	6,76
LVd ¹	2,17	3,44
LVe ¹	1,43	1,22
Rqo ²	3,16	48,63
LVAd ²	2,37	31,57
LVd 1 ²	2,4	51
LVd 2 ²	2,59	34,65
LVd 3 ²	4,18	58,2
Aluvial ³	1,22	7,02
Argissolo ³	1,27	12,84
Latossolo ³	2,58	8,25
RQo ⁴	1,75	125
LAd ⁴	1,52	30,8
LVAd ⁴	2,39	6,1

Fonte: Adaptado de Oliveira *et al.* (2004) ¹; Ferreira, Garcia, *et al.* (2006) ²; Matos, Gariglio e Monaco (2013) ³; Melo *et al.* (2005) ⁴

R – fator de retardamento; D - coeficiente dispersivo difusivo; LVAd – latossolo vermelho amarelo distrófico; LVd – latossolo vermelhodistófico; LVe – latossolo vermelho eutrófico; RQo - neossoloquartzarênicoórtico; Aluvial - aluvial eutrófico, Argissolo - argissolo vermelho amarelo e Latossolo - latossolo vermelho-amarelo; LAd – latossolo amarelo distrófico

É encontrado em pequenas quantidades, inferior a 10 mg L⁻¹, ou está ausente em águas subterrâneas, tal fato se justifica por ser facilmente adsorvido pelas argilas, através de processos de trocas iônicas e é usado pelas plantas como macronutriente (FINEZA, 2008).

Não existe valor máximo permitido para consumo humano deste elemento (KEMERICH, CANTO, *et al.*, 2012).

3.5.3 Sódio

É um elemento químico que está sempre presente nas águas subterrâneas, o sexto mais abundante na terra. Os feldspatos plagioclásios são a fonte de sódio, pouco resistentes às intempéries. O valor máximo de sódio recomendável na água potável é 200 mg/L (KEMERICH, CANTO, *et al.*, 2012).

É considerado um dos principais parâmetros e controle e produz um efeito dispersante nas partículas mais finas do solo, o que contribui para sua obstrução (FINEZA, 2008).

No Quadro 7 apresentam-se valores de fator de retardamento e coeficiente dispersivo para o íon sódio obtido para diversos tipos de solo.

Quadro 7: Características obtidas no ensaio de deslocamento miscível e valores médios do fator de retardamento (R) e coeficiente dispersivo-difusivo (D) dos íons potássio.

	R	D (cm ² h ⁻¹)
Aluvial ¹	1,12	7,28
Argissolo ¹	1,24	10,92
Latossolo ¹	1,82	5,24
RQo ²	1,83	62,7
LAd ²	1,58	42,1
LVAd ²	2,36	6,7

Fonte: Adaptado de Ferreira, Garcia, *et al.* (2006) ¹ e Melo *et al.* (2005) ²

Aluvial - aluvial eutrófico, Argissolo - argissolo vermelho amarelo e Latossolo - latossolo vermelho-amarelo; RQo - neossoloquartzarênicoórtico; LAd – latossolo amarelo distrófico; LVAd – latossolo vermelho amarelo distrófico.

3.5.4 Zinco

O zinco no solo é encontrado como íon divalente catiônico, o teor no solo é de 10 a 300 ppm. Em solos lixiviados, ácidos e arenosos sua deficiência é comum. O zinco está diretamente ligado à matéria orgânica do solo, sendo assim, a erosão no solo pode agravar a sua deficiência (SENGIK, 2003).

Em estudo realizado por Menezes, Oliveira, *et al.* (2016), observou-se que o elemento zinco apresentou menor mobilidade com relação aos outros metais, fato justificado pela sua facilidade de adsorção aos coloides orgânicos e inorgânicos, além de ser o metal pesado menos disponível para ser lixiviado.

Quadro 8: Características obtidas no ensaio de deslocamento miscível e valores médios do fator de retardamento (R) e coeficiente dispersivo-difusivo (D) dos íons zinco.

	LVa	PVc
R	2,206	4,021
D (cm ² h ⁻¹)	2,661	1,691

Fonte: Adaptado de Martinez, Ramos, *et al.* (2001).

LVa - Latossolo Vermelho-amarelo, álico; PVc - Podzólico Vermelho-Amarelo câmbico.

No Quadro 8 apresentam-se valores de fator de retardamento e coeficiente dispersivo do metal zinco obtido em diversos tipos de solo.

3.5.5 Chumbo

Tanto o zinco quanto o chumbo são considerados elementos com elevada toxicidade, mesmo estando em baixas concentrações. Não são biodegradáveis e permanecem longos períodos no ambiente.

O chumbo pode ser quimissorvido em minerais silicatados e óxidos, quando em condições de alto pH pode ser precipitado como fosfato, hidróxido e carbonato, além de ser complexado pela matéria orgânica (COSTA, MEURER, *et al.*, 2007).

Coelho (2003) fez uma avaliação da concentração subterrânea por metais pesados, na área do Aterro de disposição de resíduos sólidos urbanos de Catas Altas, MG. Os resultados apresentados no quadro mostram que o fator de retardamento é inversamente proporcional à carga hidráulica. O resultado apresentado encontra-se no quadro 9.

Quadro 9: fator de retardamento x carga hidráulica

Ensaio de Coluna Carga Hidráulica (cm)	R
39	3,35
102	1,49

Fonte: Adaptado Coelho (2003).

Soares (2004) em sua tese de mestrado estudou o coeficiente de distribuição (Kd) do chumbo e chegou aos valores médios de: 2481,2 L KG⁻¹ para o Latossolo, 2951,37 L KG⁻¹ para

o Argissolo e 1200 L KG^{-1} para o Neossolo. O chumbo apresentou comportamento particular, diferente dos demais metais, notado pelo maior valor de K_d . Isso indicou que o chumbo apresentou maior afinidade pela fase sólida e, provavelmente, é o elemento com menor potencial de figurar na solução do solo.

Ao comparar o fator de retardamento dos 5 elementos (nitrogênio, potássio, sódio, zinco e chumbo), é possível perceber que o nitrato se comporta como sendo o mais móvel, tal fato se justifica por ser um ânion, possui carga negativa e o solo é eletronegativo, fazendo com que ele fique pouco retido no solo. O potássio e o sódio são cátions, são retidos na dupla camada difusa, CTC do solo, e por serem monovalentes possuem uma ligação fraca, desta forma, quando em contato com qualquer elemento bivalente ou trivalente, faz com que seja deslocado para a solução do solo ficando a disposição para ser lixiviado, o que justifica o seu fator de retardamento baixo.

Com relação aos metais são mais retidos no solo, o que explica o fator de retardamento do zinco ser maior do que os demais e o chumbo possui um fator de retardamento ainda maior que o do zinco.

3.6 Medidas de mitigação, tratamentos e desafios

Com a disseminação de informações sobre os malefícios causados pela contaminação dos solos e das águas pelo necrochorume, aumentou a necessidade de solucionar este problema o quanto antes (PINHEIRO, 2018).

Abaixo serão apresentadas medidas de mitigação e de tratamentos usualmente empregados.

3.6.1 Medidas de mitigação

Com o objetivo de evitar que o necrochorume contamine o solo, recomenda-se a utilização de um sistema de drenagem, que pode ser planejado com um conjunto de tubulação que capta o necrochorume de cada sepultura para um filtro biológico. Neste filtro biológico existem micro-organismos responsáveis pela decomposição desse líquido até que não exista mais nenhum tipo de risco para o meio. Assim sendo, a utilização desses filtros se tornou item

obrigatório para que o cemitério consiga o licenciamento necessário (CARNEIRO e LADEIRA, 2016).

A revista Exame (2019) publicou uma reportagem sobre uma nova lei criada no estado de Washington que permite que os cadáveres se tornem compostos para voltarem para a terra. Esta lei autoriza a redução natural orgânica. O processo consiste em colocar o corpo em um contêiner, junto com palha, alfafa e lascas de madeira, criam-se as condições perfeitas de oxigenação e umidade para que as bactérias façam o trabalho de decomposição.

Buscando atenuar o problema do necrochorume, é aconselhável o uso de pastilhas (Figura 11) que são colocadas dentro da urna e são ativadas à medida que o corpo entra em decomposição e acontece a liberação do necrochorume. Essas pastilhas são compostas por bactérias selecionadas, que são capazes de decompor a matéria orgânica oriunda da decomposição dos corpos, inclusive alguns compostos orgânicos que possuem maior dificuldade na decomposição, como a gordura (CARNEIRO e LADEIRA, 2016).

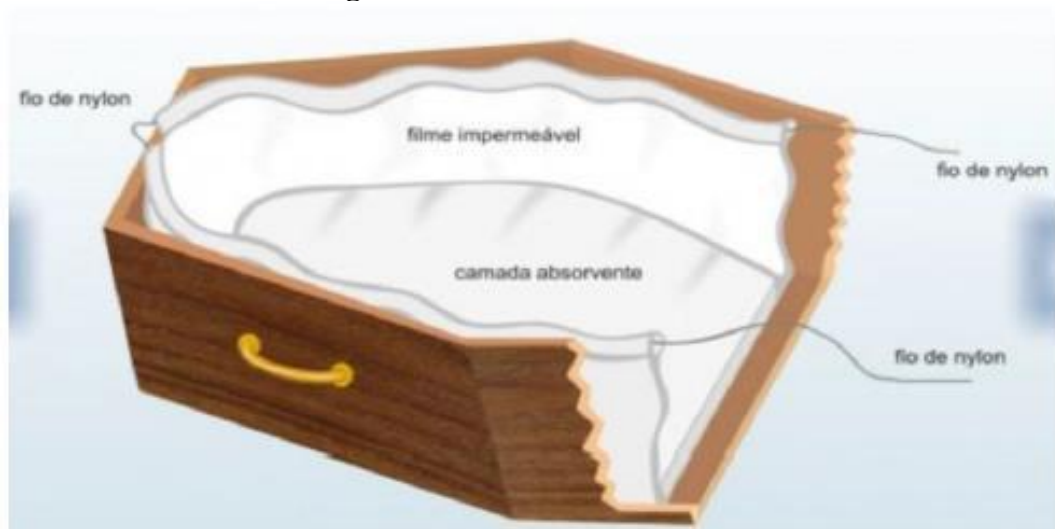
Os autores Carneiro e Ladeira (2016), também defendem o uso de mantas absorventes (Figuras 12 e 13). Estas mantas são fabricadas com plástico, celulose e um pó, que quando entra em contato com o necrochorume o transforma em um gel. Esta manta é colocada na parte interna da urna e conforme o corpo entra em decomposição e libera o necrochorume, esta manta absorve e impede que o líquido extravase para o solo.

Figura 12: Pastilhas para o tratamento do necrochorume.



Fonte: Pinheiro (2018, p. 17).

Figura 13: Manta absorvente.



Fonte: Pinheiro (2018, p. 17).

Após a realização de estudos hidrogeológicos e geológicos no local onde o cemitério é instalado, caso seja constatado que o lençol freático é altamente vulnerável, é aconselhável a implantação de um sistema de poços de monitoramento. Para um monitoramento de qualidade, deve-se realizar a análise das águas antes da implantação do cemitério, com o objetivo de estabelecer um padrão de qualidade para a área, e a cada trimestre conforme o órgão ambiental responsável (NOGUEIRA, JÚNIOR e COIMBRA, 2013).

Figura 14: Processo de utilização da manta absorvente.



Fonte: Pinheiro (2018, p. 17).

3.6.2 Tratamento de áreas contaminadas

A infiltração e percolação do necrochorume no solo são facilitadas pela ação da chuva, aumentando a carga hidráulica, também aumenta a velocidade de infiltração do contaminante. As plantas, de uma forma geral, tem a capacidade de remover as bactérias e vírus do solo e também podem consumir uma parte considerável de matéria orgânica resultante do necrochorume (CARNEIRO, 2008).

Segundo os autores Coutinho, Cadorin, *et al.* (2015), existem algumas técnicas usadas para a descontaminação dos solos, classificadas como biológicas, são elas: biorremediação e a fitoremediação. A biorremediação é o uso de microrganismos naturalmente presentes no subsolo, que são capazes de transformar contaminantes em substâncias que são menos tóxicas, ou seja, neste processo se utiliza agentes biológicos que removem os contaminantes tóxicos do solo, transformando ou destruindo, através da decomposição, esses microrganismos podem ser fungos, bactérias e protozoários. A fitoremediação (fito = planta e remediação = corrigir) utiliza as plantas para extrair, imobilizar, conter ou degradar os contaminantes presentes no solo. As espécies mais utilizadas são: *Thlaspi caerulescens*, *Aeolanthus biformifolius* e *Alyssum bertolonii*.

Em estudo realizado pelo autor Boechat (2014), verificou a capacidade de espécies vegetais espontâneas extraem ou estabilizam os metais Fe, Zn, Cu, Mn, Ni, Cd, Pb, Cr, Ba. No mesmo estudo, o autor identificou que o processo de biorremoção do chumbo depende do pH inicial, concentração inicial do chumbo e da temperatura.

Para que a retirada do contaminante do solo argiloso seja realizada de forma eficaz, é preciso de uma pressão maior do que em solos arenosos. Tal fato é explicado pela capilaridade encontrada no solo argiloso, o espaço entre as partículas é menor, o que causa maior pressão de retenção. A contaminação causada pelo necrochorume é atenuada em solos argilosos por possuírem micro-organismos em seu interior (CARNEIRO, 2008).

O cemitério Parque Iguaçu, localizado na cidade de Curitiba – PR implantou estações de tratamento do necrochorume, que consiste em remover as cargas orgânicas mais tóxicas do poluente, permitindo que o líquido restante possa ser reutilizado, como por exemplo, para a irrigação da terra. Segundo a responsável pelo projeto, Maria Rosi, explica que “isso é possível porque a carga poluente é tratada de forma anaeróbica, num recipiente fechado onde ele passa por uma desinfecção, antes de ser devolvido à natureza” (ALMEIDA, 2010).

Ainda sobre o tratamento de solos contaminados pela presença dos solutos oriundos do necrochorume, no caso da contaminação pelo zinco, foi verificada a ação das zeólitas sintetizadas das cinzas do carvão, quando adicionadas ao solo contaminado, reduz a mobilidade e biodisponibilidade do zinco (FUNGARO, FLUES e CELEBRONI, 2004).

3.7. Recomendações e Desafios

Recomenda-se, apenas para a prevenção, impermeabilizar a parte interna dos jazigos, com o intuito de retardar a percolação do necrochorume, buscando evitar a contaminação do solo.

Uma possível solução para se evitar a contaminação de solos e água é o processo de cremação, onde se consegue destruir os micróbios presentes no processo de decomposição o corpo de forma eficaz.

Outra alternativa que tem se buscado são os cemitérios verticais, em que os corpos são sepultados em gavetas (lóculos), sobrepostos e divididos por andares. Além de não contaminar o solo e água, é uma alternativa para o crescimento da população. Entretanto, é preciso que se tenha a mesma preocupação com o líquido oriundo das decomposições e é importante construir os lóculos de forma a impedir que os gases gerados cheguem até o espaço de circulação dos trabalhadores e visitantes.

Atualmente, as funerárias oferecem serviços de manutenção dos túmulos, entretanto tal fato se torna um grande desafio por diversos motivos, entre eles existe a dificuldade de localizar as famílias dos falecidos e a não aceitação da família diante a intervenção nos túmulos. Mesmo sendo um problema para a sociedade, a prefeitura não toma posição diante da situação, pois alega ser uma obrigação da família.

4. CONCLUSÃO

A população ainda sabe muito pouco pelos malefícios causados pela atividade dos cemitérios, entretanto a preocupação neste sentido vem aumentando, juntamente com as pesquisas e as legislações.

Diante desta problemática, veio à necessidade de realizar uma revisão bibliográfica a cerca dos estudos e pesquisas já existentes com relação aos solutos presentes no necrochorume infiltrado no solo.

A maior dificuldade está em adaptar os cemitérios já existentes as novas regulamentações e, além de adotar medidas que evitem a contaminação do solo e água no entorno dos cemitérios, como recuperar os solos que já foram contaminados.

Ao caracterizar os compostos oriundos do necrochorume, foi possível verificar como solutos se comportam no solo e quais eram os principais impactos causado no solo e na água, além de que forma isto pode influenciar na saúde do ser humano.

Foram selecionados 5 elementos presentes no necrochorume, sendo eles: nitrogênio, potássio, sódio, zinco e chumbo, e analisou-se seu comportamento no solo em relação a sua mobilidade. Assim sendo, conclui-se que o nitrato é o elemento mais móvel. O potássio e sódio, por possuírem o fator de retardamento muito baixo ficam disponíveis para ser lixiviado, ficando retidos na dupla camada difusa. Os metais, zinco e chumbo, são os mais retidos no solo, possuem o fator de retardamento elevado.

Com o objetivo de sanar este problema, encontra-se no mercado algumas soluções mitigadoras para o problema, como uso de pastilhas e mantas que auxiliam na decomposição, buscando impedir o extravasamento do necrochorume para o solo. O sistema de drenagem, cemitério vertical e a cremação dos corpos, também são considerados medidas mitigadoras.

Entretanto é preciso solucionar o problema já existente, ou seja, é preciso tratar o solo já contaminado, para isto pesquisadores obtiveram sucesso utilizando a fitorremediação e a aplicação de zeólitas sintetizadas da cinza do carvão.

BIBLIOGRAFIA

ALCÂNTARA, L. A. et al. **Contaminação de recursos naturais por necrópoles.** Disc. Scientia. Série: Ciências Naturais e Tecnológicas, S. Maria, v. 11, n. 1, p. 17-28, 2010.

ALMEIDA, A. **Cemitérios precisam ter controle de contaminação.** Gazeta do povo, 2010. Disponível em: <<https://www.gazetadopovo.com.br/vida-e-cidadania/cemiterios-precisam-ter-controle-de-contaminacao-07fs87vetmgxosb6ar0qf1k5q/>>. Acesso em: Dezembro 2019.

ALMEIDA, A. M. D.; MACÊDO, J. A. B. D. **Parâmetros físico-químicos de caracterização da contaminação do lençol freático por necrochorume.** Seminário de Gestão Ambiental - Um convite a interdisciplinariedade, Juiz de Fora, p. 1-12, junho 2005.

ALMEIDA, F. R. et al. **Avaliação da ocorrência de contaminação microbiológica no aquífero freático localizado sob o cemitério da várzea em recife-PE.** Águas Subterrâneas, v. 20, n. 2, p. 19-26, 2006.

BETIATTO, A. C.; SOUZA, F. X. D.; BINI, M. C. **A morte, a atividade cemiterial e o meio ambiente.** Gepesvida, v. 1, n. 2, p. 121-141, 2015.

BOECHAT, C. L. **Biorremediação de solos contaminados por metais pesados em áreas de beneficiamento de minério de ouro.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, p. 120. 2014.

BORTOLASSI, C. C. **Cemitérios: Fontes Potencialmente Poluidoras.** UNIVERSIDADE DE PASSO FUNDO. Passo Fundo, p. 82. 2012.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 335, de 3 de março de 2003. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Diário Oficial da União, Brasília, 28 mar, 2003.

BRASIL. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da União, Brasília, 18 mar, 2005.

CAMPOS, A. P. S. **Avaliação do potencial de poluição no solo e nas água subterrâneas decorrente da atividade cemiterial.** Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 141. 2007.

CARNEIRO, L. A.; LADEIRA, C. B. **Impactos Causados Por Necrochorume De Cemitérios.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE JUIZ DE FORA. JUIZ DE FORA, p. 6. 2016.

CARNEIRO, V. S. **Impactos causados por necrochorume de cemitérios: meio ambiente e saúde pública.** XV Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, São Paulo, p. 18, 2008.

CAROLINO, E. F.; MORAES, M.; RODRIGUES, M. L. F. **Avaliação microbiológica e de metais pesados do aquífero freático nos cemitérios municipais Água Verde - Curitiba e Córrego Fundo - São José dos Pinhais - PR.** Tuiuti: Ciência e Cultura, Curitiba, n. 40, p. 127-130, 2009.

COELHO, H. M. G. E. A. **Estudo Preliminar da Contaminação por Metais Pesados na Área do Aterro de Disposição de Resíduos Sólidos Urbanos do Município de Catas Altas – MG.** V Congresso Brasileiro de Geotecnia Ambiental, 2003.

COMPOSTAGEM humana se torna alternativa legal em estado dos EUA. **Exame**, 2019. Disponível em: <<https://exame.abril.com.br/brasil/compostagem-humana-se-torna-alternativa-legal-em-estado-dos-eua/>>. Acesso em: dez. 2019.

COSTA, C. D. N. et al. **Fracionamento sequencial de cádmio e chumbo em solos.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 5, p. 1323-1328, set-out 2007.

COUTINHO, P. W. R. et al. **Alternativas de remediação e descontaminação de solos: biorremediação e fitorremediação.** Nucleus, v. 12, n. 1, abr. 2015.

DUTRA, L. D. A.; SOUZA, M. D.; BEM, B. P. D. **Análise de pH, matéria orgânica e textura do solo, no cemitério Nossa Senhora da Penha, Lages - SC.** Instituto Federal de Santa Catarina. Lages SC, p. 1-9. 2015.

FERREIRA, P. A. et al. **Transporte no solo de solutos presentes na água residuária de café conilon.** Acta Sci. Agron., Maringá, p. 29-35, jan./mar. 2006.

FINEZA, A. G. **Avaliação da contaminação de águas subterrâneas por cemitérios: estudo de caso de Tabuleiro - MG.** Universidade Federal de Viçosa. Viçosa, p. 63. 2008.

FRANCISCO, A. M. et al. **Tratamento do necrochorume em cemitérios.** Atas de Saúde Ambiental, São Paulo, p. 172-188, 2017.

FUNGARO, D. A.; FLUES, M. S.-M.; CELEBRONI, A. P. **Estabilização de solo contaminado com zinco usando zeólitas sintetizadas a partir de cinzas de carvão.** Quim. Nova, v. 27, p. 582-585, 2004.

GALLI, L. B. **Sinais abióticos.** Jus.com.br, 2014. Disponível em: <<https://jus.com.br/artigos/33919/sinais-abioticos>>. Acesso em: dezembro 2019.

GÜNTHER, W. M. R. **Áreas contaminadas no contexto da gestão urbana.** São Paulo em Perspectiva, São Paulo, v. 20, p. 105-117, abr./jun. 2006.

HARA, R. V. **Avaliação dos efeitos citogenotóxicos da diamina cadaverina, presente no necrochorume, por meio de ensaios com sistemas testes in vitro e in vivo.** UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA. Rio Claro - SP, p. 37. 2016.

KEMERICH, P. D. D. C. et al. **Variação espacial da qualidade da água subterrânea em área ocupada por cemitério tipo parque jardim.** Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal, v. 9, n. 3, p. 264-279, jul /set 2012.

LEITE, E. B. **Análise físico-química e bacteriológica da água de poços localizados próximo ao cemitério da comunidade de Santana, Ilha de Maré, Salvador-BA.** Candombá, v. 5, p. 132-148, jul – dez 2009.

- LUZ, M. A. M. D.; MORALES, B. F.; MAIA, P. J. D. S. **Contaminação das águas subterrâneas por cemitérios: influência do necrochorume na qualidade da água do entorno do cemitério divino espírito santo em Itacoatiara, Amazonas.** ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Itacoatiara, p. 1-10, 2019.
- MARTINEZ, M. A. et al. **Influência da competição catiônica nos valores de fator de retardamento e coeficiente de dispersão-difusão de zinco e cobre no solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v. 5, n. 2, p. 211-215, 2001.
- MATOS, A. T. D.; GARIGLIO, H. A. D. A.; MONACO, P. A. V. L. **Deslocamento miscível de cátions provenientes da vinhaça em colunas de solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 17, n. 7, p. 743-749, 2013.
- MELO, R. F. D. et al. **Deslocamento miscível de cátions básicos provenientes da água residuária de mandioca em colunas de solo.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 10, n. 2, p. 456-465, dez. 2005.
- MENEZES, J. P. C. D. et al. **Mobilidade de metais pesados em solos de disposição de resíduos sólidos urbanos.** I Simpósio Internacional de Águas, Solos e Geotecnologias - SASGEO, v. 12, Novembro 2016.
- MINAS GERAIS. Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 09 de setembro de 2004. Diário do Executivo, Belo Horizonte, 2 out, 2004.
- NEIRA, D. F. et al. **Impactos do necrochorume nas águas subterrâneas do cemitério de Santa Inês, Espírito Santo, Brasil.** Natureza online, v. 6, p. 36-41, 2008.
- NETO, J. A. F.; JÚNIOR, I. M. P.; SILVA, G. S. D. **Necrochorume: conceitos, leis e influências.** Ciências exatas e tecnológicas, Alagoas, v. 5, p. 141-158, Maio 2019.
- NIELSEN, D. R.; VAN GENUCHTEN, M. T.; BIGGAR, J. W. **Water flow and solute transport processes in the unsaturated zone.** Water Resources Research, Washington, v. 22, n. 9, p. 89s-108s, 1986.
- NOGUEIRA, C. D. O. G.; JÚNIOR, J. E. V. C.; COIMBRA, L. A. B. **Cemitérios e seus impactos socioambientais no Brasil.** IX Fórum Ambiental da Alta Paulista, v. 9, n. 11, p. 331-344, 2013.
- OLIVEIRA, E. M. M. et al. **Fatores de r e de retardamento e coeficientes de dispersão-difusão de fosfato, coeficientes de dispersão-difusão de fosfato, potássio e amônio em solos de Minas Gerais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, Campina Grande, v. 8, p. 196-203, 2004.
- PEDRON, F. D. A. et al. **Solos urbanos.** Ciência Rural, Santa Maria, v. 34, n. 5, p. 1647-1653, set-out 2004.

- PEREIRA, D. C. **Estudo dos efeitos biológicos da poliamina putrescina em diferentes organismos-teste**. UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”. Rio Claro - SP, p. 165. 2017.
- PINHEIRO, T. M. D. **Contaminação ambiental causada pelo necrochorume proveniente de cemitérios**. INOVAE , São Paulo, v. 6, p. 145-171, JAN-DEZ 2018.
- RANGONI, C. S. **Cemitério Municipal de São Francisco: visão crítica sobre as condições das necrópole de Salvador**. Candombá, v. 10, n. 1, Jan-Dez 2014.
- ROMANÓ, E. N. D. L. **Caracterização do meio físico no cemitério municipal do boqueirão e no cemitério municipal de Santa Cândida no município de Curitiba - PR**. Universidade Federal do Paraná. Curitiba, p. 124. 2003.
- ROSSI, P.; MIRANDA, J. H.; DUARTE, S. N. **Curvas de distribuição de efluentes do íon nitrato em amostras de solo deformadas e indeformadas**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v. 27, n. 3, p. 675-682, set./dez. 2007.
- SARAIVA, F. A. **Avaliação de métodos geofísicos no comportamento espacial de plumas de necrochorume**. Universidade de São Paulo. São Paulo, p. 137. 2010.
- SENGIK, E. S. **Os macronutrientes e os micronutrientes das plantas**. Nucleo Pluridisciplinar de pesquisa e estudo da cadeia produtiva o leite, p. 22, 2003.
- SILVA, A. E. D. et al. **Avaliação da quantidade e das propriedades físico-químicas do necrochorume produzido pelos fenômenos transformativos na decomposição do corpo humano. Estudo de caso realizado em cadáver suíno**. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, Rio de Janeiro, p. 1-8, out. 2015.
- SILVA, C. D. O.; RODRIGUES, L. B. D. O.; OLIVEIRA, R. D. S. **Impactos ambientais causados pelo necrochorume do cemitério municipal da cidade de São José da Laje/AL**. Revista Científica do IFAL, v. 3, n. 2, p. 22, jul./dez. 2012.
- SILVA, F. L. D. et al. **Análise do abastecimento de água do entorno dos cemitérios São José e São Francisco - Castanhal - Pará**. XVIII Congresso Brasileiro de Águas Subterrâneas, Belo Horizonte , p. 14, 2014.
- SILVA, R. W. D. C.; FILHO, W. M. **Cemitérios como áreas potencialmente contaminadas**. Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v. 9, p. 26-35, Abril 2008.
- SOARES, M. R. **Coefficiente de distribuição (Kd) de metais pesados em solos do estado de São Paulo**. Universidade de São Paulo. Piracicaba, p. 214. 2004.
- 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.

VASCONCELOS, U. **Investigação do Antagonismo entre Pseudomonas aeruginosa e Bacterias do Grupo Coliforme**. Universidade Federal de Pernambuco. Recife, p. 135. 2005.

VIANA, L. A. B. et al. **Avaliação de possível contaminação de água subterrânea com necrochorume nas imediações do cemitério Santa Catarina na cidade de João Pessoa - PB**. CONAPESC - Congresso Nacional de Pesquisa e Ensino em Ciências, Campina Grande, 2019.

XAVIER, F. V. et al. **Emprego da sondagem elétrica vertical integrada às análises químicas e microbiológicas no diagnóstico preliminar da contaminação do solo e da água subterrânea no cemitério municipal da cidade de Rio Claro (SP)**. Engenharia Sanitaria e Ambiental, p. 1-13, março 2018.

YONG, R. N.; MOHAMED, A. M. O.; WARKENTIN, B. P. **Principles of Contaminant Transport in Soils**. Elsevier, Amsterdam, 1992.