

III-520 – 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

Aline Ellen da Silva⁽¹⁾

Engenheira Ambiental pelo Centro Universitário Senac. Consultora Ambiental Júnior na Cutrim e Gutierrez Meio Ambiente e Geologia (CGAgeo).

Fabiana Alves Fiore

Engenheira Civil (UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos (UFMG). Doutora em Saneamento e Meio Ambiental (UNICAMP). Professora do ICT/UNESP – SJC.

Fabio Luiz Vieira de Oliveira

Geólogo pelo Instituto de Geociências da Universidade de São Paulo. Especialista em Ciências Toxicológicas pela Faculdade Oswaldo Cruz. Consultor Ambiental na Granada-Boettger Serviços Ambientais.

Maíra Prado de Sena

Engenheira Ambiental pelo Centro Universitário Senac.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Engenheiro Francisco José Longo, 777 - Jardim São Dimas - São José dos Campos - SP - CEP: 12245-000 - Brasil - Tel: +55 (11) 9-8351-8102 - e-mail: **aline_150@hotmail.com**

RESUMO

Os cemitérios são atividades com elevado risco de contaminação do meio ambiente, em especial dos solos e das águas subterrâneas, devido ao necrochorume liberado no processo de decomposição dos cadáveres. Poucos são os trabalhos relacionados com a degradação dos corpos humanos, uma vez que nesse campo de pesquisa as questões sociais, culturais e religiosas elevam os corpos humanos ao *status* de sagrado e, portanto, invioláveis. A implantação e operação de cemitérios horizontais é uma prática comum, inclusive em áreas urbanas, onde esses coexistem com empreendimentos de diferentes tipos. No Brasil, durante muitas décadas o sepultamento de cadáveres humanos no solo foi realizado sem qualquer critério técnico que garantisse o controle de seus impactos ambientais. No entanto, em 2003, o Conselho Nacional de Meio Ambiente promulgou a Resolução nº 335, que dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Ressalta-se que os instrumentos legais brasileiros classificam como resíduos sólidos dos serviços de saúde as carcaças de animais e partes dos corpos humanos, no entanto, os cadáveres humanos não são classificados como resíduos sólidos e, em grande parte dos municípios, continuam a serem dispostos diretamente no solo, em cemitérios implantados antes da promulgação do requisito legal onde inexistem mecanismos de controle da poluição e os impactos ambientais gerados não são sequer mensurados. É nesse contexto que o presente estudo foi realizado, com o intuito de avaliar a quantidade, as propriedades físico-químicas e a existência de microrganismos no necrochorume produzido durante os fenômenos transformativos da decomposição de cadáveres. O estudo de caso foi realizado com a decomposição de um cadáver suíno em um reator projetado e construído para simular as condições típicas de um sepultamento em cemitério horizontal. O processo de decomposição foi acompanhado semanalmente e os resultados foram equiparados aos parâmetros de um estudo realizado no cemitério Vila Formosa, localizado no município de São Paulo, e com faixas de variação do chorume produzido em aterros sanitários. A partir do acompanhamento do reator foi possível identificar a quase totalidade das fases transformativas do cadáver. No estudo de caso foi captado 45mL de necrochorume por quilograma de massa corpórea decomposta, apesar de haverem ocorrido perdas decorrentes de extravasamento do reator. As análises físico-químicas demonstraram altas concentrações dos compostos nitrogenados no necrochorume, que não se assemelhou ao chorume nem ao efluente coletado em poços no cemitério Vila Formosa.

PALAVRAS-CHAVE: Necrochorume, cemitérios, degradação de matéria orgânica, RSS.

INTRODUÇÃO

No Brasil, de acordo com a Resolução CONAMA 358/2005, animais, peças anatômicas, órgãos, tecidos, fluidos orgânicos e até pequenos embriões humanos são classificados como resíduos dos serviços de saúde.

Entretanto, a equiparação do processo de decomposição do corpo humano morto com a degradação de outros animais ainda é vista com restrições principalmente por questões sociais, religiosas e culturais envolvidas.

O corpo humano assim como o de outros animais é constituído basicamente por substâncias inorgânicas: água e sais minerais diversos e substâncias orgânicas: carboidratos (glicose), lipídios (óleos e gorduras), aminoácidos e proteínas, além dos ácidos nucleicos (SILVA e SASSON, 2007). Dessa forma, o processo de decomposição dos cadáveres humanos, dos animais, e até mesmo dos resíduos orgânicos possui similaridades. Existem vários modelos que descrevem a degradação dos resíduos orgânicos em condições anaeróbias, segundo Teixeira (1993), a diferença nesses modelos está no nível de detalhamento de cada classificação e não no processo. Em aterros, o processo de degradação de resíduos sólidos orgânicos envolve fenômenos físico-químicos e microbiológicos que resulta na liberação de gases e chorume (CINTRA, 2003).

O controle dos impactos ambientais associados à degradação da matéria orgânica é previsto nos instrumentos legais brasileiros que determinam a obrigatoriedade de licenciamento dos aterros de resíduos e dos cemitérios. Para a implantação e operação de aterros de resíduos foram estabelecidos no Brasil requisitos e critérios técnicos, inclusive normatizados pela ABNT, que garantem a captação e o tratamento dos efluentes líquidos e gasosos. No entanto, esses requisitos não são aplicados aos cemitérios o que pode levar à contaminação do solo, do ar e dos aquíferos (FIORE, 2013; MATOS, 2001; PACHECO, 2012; MARINHO, 1998).

Por ser considerado um universo sensível, principalmente nos países de tradição cristã, os cemitérios possuem poucos estudos, onde há quem duvide do potencial de contaminação ambiental através das necrópoles. Porém existem trabalhos que evidenciam a existência de contaminação do solo e água subterrânea por cemitérios mal implantados e gerenciados (PACHECO, 2012). No Brasil, ainda há grande quantidade de cemitérios tradicionais que foram implantados antes da vigência da Res. CONAMA 335/2003 e que não foram adaptados às diretrizes estabelecidas pelo instrumento legal. Em vista disso, é possível considerar que essas áreas estejam contaminadas e que demandem investigações apropriadas.

Os impactos da percolação do necrochorume no solo estão relacionados à composição, concentração e volume do efluente, às características naturais das áreas e aos mecanismos de controle associados às atividades. Sabe-se que o necrochorume possui densidade aproximada de 1,23 g/cm³ e é constituído de água, sais minerais, proteínas, vírus, bactérias e 471 substâncias orgânicas, incluindo duas diaminas que são muito tóxicas, a cadaverina (1,5 pentanodiamina) e a putrescina (1,4 butanodiamina) (BRASIL, 2007). Sabe-se também que a composição do corpo humano adulto de 70 kg contém aproximadamente: 1600g de carbono, 1800g de nitrogênio, 110g de cálcio, 500g de fósforo, 140g de enxofre, 140g de potássio, 95g de cloro, 19g de magnésio, 4,2g de ferro e média de 65% do peso de água (WHO, 1998). Em vista disso, esse trabalho foi desenvolvido com o intuito de apresentar a relação entre a massa corpórea em degradação e o volume de necrochorume gerado, observadas as características socioculturais e ambientais do Brasil, utilizando um cadáver suíno, em função de sua semelhança fisiológica, morfológica e bioquímica com o ser humano.

MATERIAIS E MÉTODOS

Construção do Reator

O reator foi dimensionado para acompanhar as características do corpo a ser decomposto e dos efluentes a serem gerados no processo. Tendo em vista a produção de gases e necrochorume, optou-se pela construção de um reator em poliestireno (PS), pois esse material possui dureza elevada, baixa absorção de umidade, impermeabilidade a odores, resistência ao calor e a impactos.

Como base para o cadáver suíno, foi confeccionada uma prateleira com a própria placa de PS e nela foram feitos diversos furos de 0,5 cm de diâmetro permitindo a passagem do necrochorume para a caixa de armazenamento. A caixa de armazenamento interna foi implantada logo abaixo da placa em que o suíno foi colocado. O necrochorume foi direcionado para a torneira de PVC (ϕ 3/4) instalada na parte lateral do reator. Para que fosse possível acompanhar visualmente o processo de decomposição foi instalada, na parte frontal do reator, uma placa de acrílico.

Para o acabamento e sustentação foram instaladas cantoneiras de metal nos quatro cantos do reator. Como os gases não foram objeto de estudo foi prevista a sua liberação para o ambiente externo, por meio de 40 furos de 0,5 cm de diâmetro instalados na tampa do reator.

Acompanhamento do processo de decomposição

Para simulação do sepultamento foi utilizado o cadáver de um suíno pequeno, com poucos dias de vida (por volta de 20 dias) que pesava 9,0 kg. O mesmo estava com sangue, não eviscerado, e durante a preparação do sepultamento o cadáver ficou 3 dias conservado no congelador, para que o mesmo não iniciasse o processo de decomposição fora do reator. Os fenômenos transformativos foram registrados semanalmente e o necrochorume foi coletado depois de 60 e 120 dias após a inumação do suíno.

Como não foi possível utilizar o solo de um cemitério, o qual possui bastante matéria orgânica, alguns compostos químicos orgânicos e inorgânicos em sua composição, visto que não foi concedida autorização da administração dos cemitérios consultados, utilizou-se 30 kg de solo extraído de um sítio localizado na APA Bororé Colônia, situado no sul do município de São Paulo, distando cerca de 25 km do centro de SP, onde foi realizada uma análise tátil-visual desse solo e observada características argilo-siltosas, pouca umidade e matéria orgânica (restos de folhas e galhos). A terra foi colocada em cima do cadáver suíno, exceto na região da coluna que estava encostada no acrílico para posterior observação do processo de decomposição.

Considerada a ocupação humana nas áreas de entorno dos cemitérios, optou-se pela realização das seguintes análises do efluente: Nitrito (NO₂-), Nitrato (NO₃-), Amônia (NH₄+), Potássio (K), Fosfato (PO₄3), Cloro (Cl), medição de DBO₅, 20, pH, temperatura e condutividade, as análises foram realizadas segundo especificação do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. A análise bacteriológica foi realizada com o objetivo de detectar a presença de bactérias no necrochorume e utilizou o meio *Agar Standard Methods*, também conhecido como PCA (Agar Padrão para Contagem) para contagem dos microrganismos nas placas.

Correlação entre o estudo de caso e os cemitérios urbanos

A fim de relacionar os resultados físico-químicos do estudo de caso com os cemitérios para cadáveres humanos foi utilizado como base o estudo feito no Cemitério Vila Formosa, localizado no município de São Paulo, pelos pesquisadores Renato Blat Migliorini, Annkarin Aurélia Kimmelman e Silva e Alberto Pacheco, no ano de 1989. O trabalho teve como principal objetivo investigar os parâmetros indicadores de contaminação físico-química das águas subterrâneas da área do cemitério (MIGLIORINI, SILVA e PACHECO, 1986).

A equiparação do necrochorume com o chorume proveniente de aterros sanitários foi realizada por meio da comparação com os intervalos de variação dos parâmetros encontrados no chorume, essa tabela constitui o estudo da caracterização do chorume do aterro sanitário de Bauru, realizado pela engenheira química Luciana Maturana Segato e pelo professor adjunto do departamento de Engenharia Mecânica da Faculdade de Engenharia da UNESP – Campus Bauru/SP. As faixas de variação do chorume foram definidas por Clareto (1997) e Held (1996).

RESULTADOS

O reator de poliestireno construído para a simulação do sepultamento, apresentado na Figura 1, foi adequado para a realização do estudo e apresentou resistência satisfatória, exceto o acrílico, que não suportou uma das fases do processo transformativo destrutivo, o estouro cadavérico. O material do reator apresentou boa retenção dos maus odores gerados no processo de decomposição do suíno.

O sepultamento do suíno foi realizado diferentemente das práticas por inumação e/ou tumulação seguidas nas necrópoles brasileiras que utilizam caixões para os cadáveres, vide Figura 2. Além disso, na atualidade grande parte dos corpos é submetida a algum tipo de tratamento antes de serem dispostos nos caixões. O uso da placa de acrílico e da pequena quantidade de solo de recobrimento, para que os processos transformativos fossem visíveis, também são diferenciais a serem considerados.



Figura 1: Foto do reator



Figura 2: Disposição do suíno no reator.

Durante o andamento do estudo registrou-se a ocorrência de chuva em alguns dias, conforme Tabela 1, assim não houve a necessidade de simular os índices pluviométricos. O reator provia de uma tampa com aproximadamente 40 furos de 0,5 cm de diâmetro, sendo essa a única entrada dos fatores externos (chuva, ar), portanto entrou pouca água, o qual não teve quantidade suficiente para diluir o necrochorume gerado durante os processos transformativos destrutivos.

Tabela 1: Índices pluviométricos

Dados Pluviométricos	
Estação - A701 - São Paulo	
Mês	Precipitação (mm)
Junho	101
Julho	79
Agosto	8
Setembro	81
Outubro	125
Total	394

Fonte: BRASIL, 2013

Por meio do registro semanal do reator foi possível identificar as seguintes fases transformativas: período gasoso, período coliquativo, formação da putrilagem e ação da fauna cadavérica. Essas fases estão associadas aos fenômenos transformativos destrutivos que, segundo Miotto (1990) possuem os seguintes processos: autólise, putrefação e maceração. A exceção da autólise, as demais fases foram registradas, conforme apresentado nas Figuras 3 a 11.



Figura 3: Início dos fenômenos transformativos



Figura 4: 1ª semana: Período gasoso



**Figura 5: 1ª semana: Período gasoso –
Desprendimento da derme do suíno**



Figura 6: 3ª semana: Período coliquativo



Figura 7: 3ª semana: Período coliquativo



Figura 8: 4ª semana: Período coliquativo



Figura 8: 5ª semana: Formação da putrilagem



Figura 9: 6ª semana: Formação da putrilagem



Figura 10: 7ª semana: Gases gerados e ação da fauna cadavérica



Figura 11: Final da observação do processo

As Figuras 3 e 4 apresentam o período gasoso, ou seja, o desenvolvimento dos gases no interior do cadáver, dando um aspecto gigantesco ao corpo do suíno. No período gasoso ocorre a ruptura das paredes abdominais, liberando o necrochorume, nestas figuras é possível notar o líquido que vazou após o “estouro cadavérico” e o desprendimento da derme do suíno. Também pode ser visto uma mancha preta na região da coluna do suíno, a qual indica o período de coloração, que começa a aparecer em torno de 18 e 24 horas após a morte e tende a ficar cada vez mais escura. As Figuras 5, 6 e 7 representam o período coliquativo, que se caracteriza pela dissolução das partes moles do cadáver, juntamente com a ação da fauna necrófaga, nesta fase os tecidos e órgãos se transformam em necrochorume.

Nas Figuras 8 e 9 pode se observar a matéria produzida por meio da putrefação (putrilagem), o suíno perdeu totalmente a sua forma estrutural, as figuras também apresentam a ação de algumas larvas que fazem parte da fauna cadavérica. São notáveis os gases gerados na Figura 10, onde o acrílico se encontra bem embaçado, além do aumento do tamanho das larvas. A Figura 11 apresenta o fim das observações, consegue-se observar somente a terra, que em algumas partes está com coloração esverdeada, provavelmente em decorrência da ação de fungos.

Durante o monitoramento do reator foram coletados 400mL de necrochorume. A Tabela 2 apresenta os resultados das análises físico-químicas do necrochorume, em 60 e 120 dias de monitoramento da decomposição, assim como os valores de referência encontrados na literatura.

Tabela 2: Características físico-química do necrochorume

Resultados físico-químicos do necrochorume (mg/L)			Padrões de Referência (mg/L)	
Parâmetros	21/08	24/10	Cemitério Vila Formosa ⁽¹⁾	Chorume ⁽²⁾ Faixas de Variação
Nitrito	6,7	6,6	0,28	0,1 - 40
Nitrato	33	67	0,10	0,1 - 250
Amônia	330	401	-	-
Potássio	840	698	1,89	-
Fosfato	30	760	-	-
Cloro Combinado	0,15	0,68	8,2	100 - 2400
DBO _{5,20}	34,28	32,61	-	15000 - 50000
pH	8,2	8,7	6,57	3,5 - 9,0
Temperatura	24,2°C	27,4	21,25	-
Condutividade	13250 µS	17680	347,5	-

Fonte: ⁽¹⁾ - MIGLIORINI, KIMMELMANN e PACHECO (1986); ⁽²⁾ - CLARETO (1997) e HELD (1996)
apud SEGATO e SILVA (2012)

O efluente gerado não se equiparou ao chorume gerado nos aterros em relação ao cloro combinado e à carga orgânica, isso pode estar associado ao fato de que não houve entrada de águas pluviais no reator.

Os resultados no cemitério Vila Formosa, foram obtidos por meio da amostragem das águas subterrâneas em poços de monitoramento, este fator pode ter influenciado nos valores das análises, já que o necrochorume não estava *in natura*, mesmo assim os autores consideraram as concentrações dos nitrogenados excessivas. A análise bacteriológica Agar Padrão de Contagem (PCA) apresentou a existência de colônias de bactérias, mas essas não foram identificadas.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O processo de decomposição do cadáver suíno chegou ao fim em menos de dois meses (7 semanas), a decomposição de corpos humanos sepultados em condições similares varia de quatro a oito semanas, os fatores como temperatura, umidade, ventilação e o solo utilizado foram primordiais para a desintegração do material orgânico do suíno.

No estudo de caso foi captado 45mL de necrochorume para cada Kg de massa corpórea decomposta. As condições climatológicas e operacionais do reator, principalmente aquela associada ao descolamento da porção inferior da placa de acrílico, influenciaram no volume e na composição do efluente coletado. A primeira amostra de necrochorume coletada tinha uma cor castanho clara, já a segunda estava com aspecto cinzento, além de mais concentrada. O líquido humoso tende a se polimerizar, e essa reação química aconteceu no estudo de caso, visto a dificuldade para coletar a segunda amostra, que estava com uma vazão lenta. A polimerização e perda por meio do vazamento no acrílico impossibilitou a coleta total do líquido gerado.

As análises físico-químicas demonstraram altas concentrações dos compostos nitrogenados, que tem sua origem relacionada ao processo de decomposição do suíno, com participação da contaminação bacteriológica. Diante dos resultados pode-se observar uma variação das concentrações de alguns parâmetros, provavelmente em decorrência das fases de degradação do necrochorume.

O necrochorume possui potencial para contaminar o solo, as águas subterrâneas e superficiais, assim os cemitérios são fontes potenciais, devido ao grande volume de cadáveres em processos de decomposição, os quais podem disseminar doenças a partir dos microrganismos por meio hídrico decorrente das redes de distribuição de água, poços escavados e tubulares nas proximidades das residências, já que boa parte dos cemitérios é cercado pelo aglomerado urbano.

No final do processo de decomposição o solo utilizado para o sepultamento apresentou uma cor esverdeada, devido a ação de fungos, os mesmos não produzem doenças graves, no entanto podem gerar problemas de saúde nas pessoas com deficiências imunológicas (PACHECO, 2000). Foi identificada a presença da ação de dípteras (moscas e mosquitos) na decomposição do suíno, boa parte dos artrópodes morreram dentro do reator.

Uma das discussões levantadas no decorrer do estudo, foi a equiparação dos cadáveres humanos com a classificação dos resíduos de serviços de saúde, pois por questões sensíveis em relação a morte do cadáver essa similaridade não é discutida, mas há a necessidade de levantar a importância de tal questão, pois neste estudo foi verificado as altas concentrações de alguns parâmetros do necrochorume, e os cemitérios não provêm de nenhum sistema de drenagem e captação do mesmo. Os cemitérios devem ter a mesma atenção que os aterros sanitários, pois a decomposição dos cadáveres gera substâncias e bactérias a níveis provavelmente tóxicos a saúde humana.

Pacheco (2012) concluiu que os cemitérios como laboratórios de decomposição de corpos, também podem contaminar o meio ambiente, particularmente a água subterrânea, por coliformes fecais e microrganismos patogênicos, como bactérias e vírus, assim cuidados devem ser tomados na implantação das necrópoles, levando em consideração a distância dos mananciais e poços de captação de água.

O presente estudo foi um passo inicial para a problemática que envolve os cemitérios e a decomposição dos cadáveres humanos, não existem muitas informações sobre o necrochorume e seu potencial poluidor, muitos

são estimados, mas que se façam a partir desta, pesquisas mais detalhadas e precisas, já que o mesmo teve diversos imprevistos e ajustes por falta de materiais e equipamentos para análises.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. **Resolução CONAMA nº 335, de 3 de abril de 2003**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental de cemitérios. Diário Oficial, Brasília, 2003
2. _____. Ministério do Meio Ambiente. **Resolução nº 358/2005**. Brasília, 2005.
3. _____. Fundação Nacional da Saúde – FUNASA. **Cemitérios como fonte potencial de contaminação das águas subterrâneas – Região de Cuiabá e Várzea Grande (MT)**. Brasília, 2007.
4. CINTRA, Ilka. **Estudo da Influência da Recirculação de Chorume Cru e Chorume Inoculado na Aceleração Do Processo De Digestão Anaeróbia De Resíduos Sólidos Urbanos**. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia – Universidade Federal De Minas Gerais, 2003.
5. FIORE, F. A. **A gestão municipal de resíduos sólidos por meio de redes técnicas**. 2013. Tese (Doutorado em Engenharia Civil). UNICAMP, Campinas.
6. MARINHO, A. M. C.P. – **Contaminação de aquíferos por instalação de cemitérios. Estudo do caso do cemitério São Joao Batista, Fortaleza-Ceará**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Fortaleza. Fortaleza, 1998.
7. MATOS, Bolivar Antunes. **Avaliação da ocorrência e do transporte de microrganismos no aquífero freático do cemitério de Vila Nova Cachoeirinha município de São Paulo, 2001**. Dissertação (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, USP. São Paulo, 2001.
8. MIGLIORINI, Renato Blat; KIMMELMANN e SILVA, Annkarin Aurélia; PACHECO, Alberto. **Estudo físico-químico e químico das águas subterrâneas do cemitério Vila Formosa**. São Paulo/SP. 1986.
9. MIOTTO, Sebastião Luiz. **Aspectos Geológico – Geotécnicos da Determinação da Adequabilidade de Áreas para a Implantação de Cemitérios**. Dissertação de Mestrado. Universidade de São Paulo – Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 1990.
10. PACHECO, Alberto. **Cemitério e Meio Ambiente**. Tese Livre Docência. Universidade de São Paulo / Instituto de Geociências. São Paulo, 2000.
11. PACHECO, Alberto. **Meio Ambiente e Cemitérios**. São Paulo: Senac, 2012.
12. SEGATO, L. M.; SILVA, C.L. **Caracterização do chorume do aterro Sanitário de Bauru**. XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. São Paulo, 2012.
13. SILVA JUNIOR, Cesar da; SASSON, Sezar. **Biologia – Volume único (Ensino Médio)**. São Paulo: Saraiva, 4 ed., 2007.
14. TEIXEIRA, E. N. **Efeito Inibidor da Recirculação Direta de Chorume na Decomposição Anaeróbia de Resíduos Sólidos**. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos – USP. (Tese de Doutorado em Hidráulica e Saneamento), 227p., 1993.
15. WORLD HEALTH ORGANIZATION – WHO. **The impact of cemeteries on the environment and public health**. Copenhagen. 1998. Disponível em: [http://whqlibdoc.who.int/euro/1998-99/eur_icp_ehna_01_04_01\(a\).pdf](http://whqlibdoc.who.int/euro/1998-99/eur_icp_ehna_01_04_01(a).pdf). Acesso em: 25/03/13.