

Programa de Pós-Graduação em **Engenharia Civil e Ambiental**

Universidade Federal de Campina Grande
Centro de Tecnologia e Recursos Naturais
Departamento de Engenharia Civil

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE BACTÉRIAS
AERÓBIAS E ANAERÓBIAS TOTAIS NA
BIODEGRADABILIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB

ELAINE PATRÍCIA ARAÚJO

Campina Grande
Data: MAIO / 2011



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE-UFCA
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE BACTÉRIAS AERÓBIAS E
ANAERÓBIAS TOTAIS NA BIODEGRADABILIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB**

ELAINE PATRÍCIA ARAÚJO

Campina Grande, PB
2011



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE-UFCG
CENTRO DE TECNOLOGIAS E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL E AMBIENTAL

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE BACTÉRIAS AERÓBIAS E
ANAERÓBIAS TOTAIS NA BIODEGRADABILIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB**

Elaine Patrícia Araújo

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental da Universidade Federal de Campina Grande, em cumprimento às exigências para obtenção do título de Mestre em Engenharia Civil e Ambiental.

Área de concentração: Engenharia de Recursos Hídricos e Sanitária.

Orientador: Profa. Dra. Veruschka Escarião Dessoles Monteiro

Co-Orientadora: Profa. Dra. Janete Magali de Araújo

Co-orientador: Prof. Dr. William de Paiva

Campina Grande, PB
2011



FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA BIBLIOTECA CENTRAL DA UFPG

A663e

Araújo, Elaine Patrícia.

Estudo do comportamento de bactérias aeróbias e anaeróbias totais na biodegradabilidade de resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande - PB / Elaine Patrícia Araújo. — Campina Grande, 2011.

116 f. : il. col.

Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologias e Recursos Naturais.

Referências.

Orientadores: Prof^ª. Dr^ª. Veruschka Escarião Dessoles Monteiro, Prof^ª. Dr^ª. Janete Magali de Araújo, Prof^º. Dr^º William de Paiva.

1. Resíduos Sólidos Urbanos. 2. Bactérias Aeróbias e Anaeróbias. 3. Biodegradação. 4. Célula Experimental. I. Título.

CDU – 628.4(043)

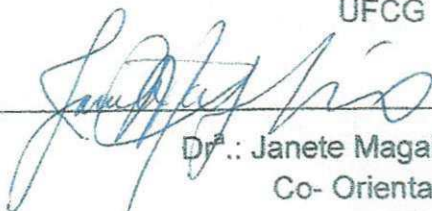
**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE BACTÉRIAS AERÓBIAS E
ANAERÓBIAS TOTAIS NA BIODEGRADABILIDADE DE RESÍDUOS SÓLIDOS
URBANOS DA CIDADE DE CAMPINA GRANDE-PB**

Elaine Patrícia Araújo

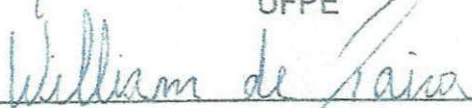
Dissertação apresentada e aprovada em 31 de maio de 2011 pela banca
examinadora constituída dos seguintes membros:



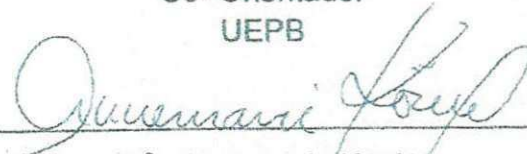
Dr^a.: Veruschka Escarião Dessoles Monteiro
Orientadora
UFCG



Dr^a.: Janete Magali de Araújo
Co- Orientadora
UFPE



Dr.: William de Paiva
Co- Orientador
UEPB



Dr^a.: Annemarie König
Examinadora interna
UFCG



Dr^a.: Hélvia Waleska Casullo de Araújo
Examinadora externa
UEPB

*"Não existe um caminho para a felicidade.
A felicidade é o caminho".
(Mahatma Gandhi)*

Dedicatória

A Nossa Senhora e ao seu filho unigênito Jesus Cristo por terem me iluminado em mais uma fase da minha vida, por me proporcionarem um crescimento intelectual e físico acadêmico com esta nova linha de pesquisa...Resíduos Sólidos...!!!

À toda minha equipe familiar: a mainha, a painha, as minhas duas irmãs, as minhas irmãs de coração Elizabete (Bety) e Aldalice (Alda) e meus cunhados Alexandre e especialmente Ronaldo (amigo de viagens para Recife em prol da pesquisa e do meio ambiente), que sempre me ajudaram e acreditaram no meu desenvolvimento universitário.

AGRADECIMENTOS

- ✓ A **Nossa Senhora** e ao seu **filho unigênito** por me proporcionarem concluir mais um mestrado na minha vida acadêmica. Foi uma longa caminhada e novos desafios neste mestrado. E que desafios!!!
- ✓ Aos meus pais, minhas irmãs e meus cunhados, em especial ao meu cunhado Ronaldo pelas longas viagens a Recife para a realização das análises de anaeróbios, dedicação, esforço, apoio em mais uma realização em minha vida!
- ✓ A minha orientadora Veruschka Escarião Dessoles Monteiro, pela orientação, apoio, paciência, amizade, confiança e dedicação para a realização desta pesquisa.
- ✓ Ao Grupo de Geotecnia Ambiental (GGA/UFCG): Lorena Raissa (Lory), Márcia Vilar, Tales, Silvio, Raliny, João, Libânia (Ly), Flaviano (Flavy), Amanda Torquato (raposeira fiel), Claudio, Alessandra (Ale), Larissa e ao Marcio pela amizade e ajuda nos momentos difíceis (enchimento da célula experimental, coletas, viagens, provas, artigos, ensaios no laboratório). Muito obrigada galera!!!
- ✓ À minha amiga Libânia e ao meu amigo Flaviano por me ajudarem no momento em que mais precisei: preparação dos slides para minha apresentação com fotos inéditas do lixão de Campina Grande-PB e as dúvidas tiradas nos ensaios para apresentação. Muito obrigada!!!
- ✓ À minha amiga Sarah Golzio por nunca me negar ajuda nas atividades do mestrado: provas, publicação de artigos, plotagem dos gráficos e conversas informais. Muito obrigada Sarinha!!!
- ✓ Aos meus amigos de mestrado, a "galerinha" do Ceará, nas pessoas de Robstânia (Robs), Adriana (Drikinha), Cirlânio (Cirlas) e Cleudivan (Cleudo). Saudadessssssss!!!!

- ✓ Às Professoras, Paula, Beatriz Ceballos, Veruschka Monteiro e Anne Marie e ao professor William pelos ensinamentos transmitidos no decorrer do mestrado.
- ✓ Às Professoras Hélvia Waleska Casullo e Annemarie König, por terem aceitado o convite para participação da banca examinadora.
- ✓ As funcionárias das secretarias de Graduação e Pós-Graduação de Engenharia Civil Maria José e a "raposeira fiel" Josete pelos tramites dos processos e dos recursos PROAP e ao funcionário Francisco, o Tikinho, nosso técnico de laboratório.
- ✓ A Márcia (Marcinha - companheira de campo nos jogos da raposa aguerrida) do Programa de Pós-Graduação em Ciência e Engenharia de Materiais pela ajuda no desenvolvimento desta pesquisa.
- ✓ À Professora Janete Magali da Universidade Federal de Pernambuco/UFPE por disponibilizar os equipamentos necessários para realização da pesquisa de anaeróbios totais, pesquisa esta de fundamental importância para o desenvolvimento desta dissertação.
- ✓ Às minhas amigas Elizziane (Eliz) e Ericka da Universidade Federal de Pernambuco/UFPE pela preparação dos meios e realização das análises de anaeróbios totais.
- ✓ A Prefeitura Municipal de Campina Grande-PB pela disponibilização dos equipamentos fundamentais para o enchimento da nossa célula.
- ✓ A EXTRABES (Núcleo de Pesquisa da UFCG e UEPB) e ao professor Valderi pela liberação dos equipamentos e ensaios realizados, pela realização dos ensaios dos óleos e por ser parceira desta pesquisa.
- ✓ Ao CNPq pelo apoio financeiro para a construção da célula e compra de equipamentos importantes para esta pesquisa.

- ✓ A Capes pela bolsa concedida.

- ✓ À Coordenação do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental nas pessoas dos professores Milton Bezerra das Chagas Filho e John Kennedy Guedes Rodrigues pelo apoio na execução da pesquisa.

RESUMO

A crescente degradação ambiental que vem ocorrendo nas últimas décadas, vem originando desastres ecológicos irreparáveis ao meio ambiente. O aumento na quantidade e variedade dos resíduos sólidos urbanos gerados principalmente pelas atividades domésticas emerge como um dos principais problemas da sociedade atual. Esta pesquisa teve como objetivo estudar o comportamento das bactérias aeróbias e anaeróbias na biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos em uma célula experimental na cidade de Campina Grande/PB. A célula experimental construída na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG) apresenta uma altura de 3,0m e um diâmetro de 2,0m. Nesta célula experimental foram depositados resíduos provenientes de três bairros da cidade de Campina Grande/PB. A célula experimental foi instrumentada com medidores de temperatura e recalque ao longo da profundidade, piezômetro e drenagem de gás, além de pontos de coleta de resíduos sólidos ao longo das camadas. O monitoramento foi realizado no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010, onde uma quantidade significativa de amostras de resíduos sólidos foi retirada de cada camada para realização das análises laboratoriais. Foram realizadas análises físicas (composição gravimétrica, volumetria e teor de umidade), análises físico-químicas (pH, sólidos voláteis, ácidos voláteis, DBO e DQO) e análises bacteriológicas (bactérias aeróbias e anaeróbias totais). Aliada às análises de laboratório, realizou-se um estudo estatístico por meio da análise de componentes principais, onde foram verificadas correlações existentes entre os parâmetros estudados. Os resultados obtidos nesta pesquisa mostraram que as composições gravimétricas e volumétricas são típicas de países tropicais e emergentes, como o Brasil, embora em termos de matéria orgânica os percentuais apresentados são superiores a média nacional. As bactérias aeróbias e anaeróbias totais apresentaram comportamentos distintos ao longo do monitoramento da célula experimental, isto é, ocorreu uma inversão no crescimento destas bactérias com o passar do tempo e as análises estatísticas corroboram com os resultados experimentais. Pode-se concluir que as condições físicas e físico-químicas favoreceram o crescimento das bactérias e que tiveram comportamento típico de aterros de resíduos sólidos em escala real.

Palavras-chave: bactérias aeróbias e anaeróbias totais, biodegradação, resíduos sólidos urbanos, célula experimental.

ABSTRACT

The increasing environmental degradation that has been occurring in recent decades, has been causing irreparable ecological disaster to the environment. The increase in the quantity and variety of municipal solid waste generated mainly by domestic activities emerges as a major problem in society today. This research aimed to study the behavior of aerobic bacteria and anaerobic in the biodegradability of municipal solid waste in an experimental cell in the city of Campina Grande / PB. The experimental cell constructed at the Federal University of Campina Grande (UFCG) has a height of 3.0 m and a diameter of 2.0 m. In this experimental cell was deposited waste from three districts of the city of Campina Grande / PB. The experimental cell was instrumented with temperature measurer and repression along the deep, piezometer and drainage gas, beyond collection points for solid waste along the layers. The monitoring was realized from October 2009 to December 2010, where a significant quantity of solid waste samples were removed from each layer for laboratory analysis. Were realized physical analysis (gravimetric composition, volumetry and humidity content), physical-chemical (pH, volatile solids, volatile acids, BOD and COD) and bacteriological analysis (aerobic bacteria and total anaerobic). Ally to laboratory analysis, carried out a statistical study through principal component analysis, where were verified correlations between the parameters studied. The results obtained in this research showed that the gravimetric and volumetric compositions are typical of tropical and emerging countries like Brazil, while in terms of organic matter the percentages presented are higher than the national average. The aerobic microorganisms and total anaerobics showed different behaviors during the experimental monitoring of the cell, ie, occurred a reversal in the growth of these bacteria over time and statistical analysis to corroborate with the experimental results. It was concluded that the physical and physicochemical conditions favored the growth of bacteria and had the typical behavior of solid waste landfills in real scale.

Keywords: total aerobic and anaerobic bacteria, biodegradation, urban solid waste, experimental cell.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Composição dos resíduos sólidos urbanos do Brasil.....	24
Figura 2. Curva de crescimento bacteriano mostrando as quatro fases de crescimento.....	34
Figura 3. Bairros da cidade de Campina Grande – PB que foram utilizados para a amostragem da pesquisa, 2009.....	47
Figura 4. Célula experimental e seus pontos de coleta, 2009.....	48
Figura 5. Desenho esquemático da célula experimental, 2009.....	49
Figura 6. (a) e (b) Termopares do tipo K; (c) Termômetro elétrico; (d) Termômetro de mercúrio.....	50
Figura 7. (a) Piezômetro; (b) Medidores de recalques superficiais; (c) Medidor de recalque em profundidade; (d) Tubo de drenagem de gases.....	51
Figura 8. (a) e (b) Pontos de coleta das amostras.....	51
Figura 9. (a) Descarregamento dos resíduos; (b) Homogeneização dos resíduos; (c) Quarteamento dos resíduos; (d) Homogeneização das pilhas de resíduos; (e) Preparação do local para triagem dos resíduos; (f) Triagem dos resíduos.....	53
Figura 10. Modelo do recipiente usado para realização da composição volumétrica.....	54
Figura 11. (a) Resíduos sólidos; (b) Soquete manual; (c) Compactação dos resíduos; (d) Homogeneização das pilhas de resíduos; (e) Preparação do local para triagem dos resíduos.....	54
Figura 12. Amostrador usado para coletar as amostras nos diferentes níveis.....	55
Figura 13. (a) Jarra de anaerobiose e (b) placa anaerobac usadas para o armazenamento dos microrganismos anaeróbios.....	57
Figura 14. (a) Máquina usada para lacrar os tubos de penicilina; (b) Tubo de nitrogênio; (c) Nitrogênio sendo purgado no tubo de penicilina; (d) Tampão redutor (esquerda) e tubos com meio tioglicolato (direita); (e) Coleta e armazenamento das amostras para anaeróbios; (f) Tubos contendo as diferentes diluições; (g) e (h) Inoculação da amostra nos tubos de penicilina.....	59

Figura 15. (a) Amostras de resíduos sólidos coletadas sendo picotadas; (b) Recipientes com as amostras diluídas nas diferentes camadas; (c) Tubos com as amostras diluídas no Tampão Fosfato; (d) Placas com os meios de aeróbios.....	61
Figura 16. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB, 2009.....	69
Figura 17. Composição volumétrica dos resíduos sólidos urbanos soltos da cidade de Campina Grande-PB, 2009.....	71
Figura 18. Composição volumétrica dos resíduos sólidos urbanos compactados da cidade de Campina Grande, 2009.....	72
Figura 19. Contagem de bactérias aeróbias totais nas diferentes camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.....	74
Figura 20. Contagem de bactérias anaeróbias totais nas diferentes camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.....	77
Figura 21. Teor de Umidade nas diferentes camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.....	79
Figura 22. Potencial hidrogeniônico (pH) nas diferentes camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.....	80
Figura 23. Sólidos voláteis nas diferentes camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.....	82
Figura 24. Ácidos Voláteis nas diferentes camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.....	83
Figura 25. Demanda Bioquímica de Oxigênio nas diferente camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.....	85
Figura 26. Demanda Química de Oxigênio nas diferentes camadas	

(superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.....	87
Figura 27. Histograma de bactérias aeróbias apresentando a normalidade dos resultados.....	89
Figura 28. Histograma de sólidos voláteis apresentando a normalidade dos resultados.....	89
Figura 29. Histograma do recalque apresentando a normalidade dos resultados.....	89
Figura 30. Projeção das variáveis nos fatores 1 e 2 da ACP da camada superior.....	93
Figura 31. Projeção das variáveis nos fatores 1 e 2 da ACP da camada intermediária.....	96
Figura 32. Projeção das variáveis nos fatores 1 e 2 da ACP da camada inferior.....	99

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Teste de Normalidade usando o Kolmogorov Smirnov.....	88
Tabela 2. Matriz de correlação dos parâmetros analisados para a camada superior.....	91
Tabela 3. Matriz de correlação dos parâmetros analisados para a camada intermediária.....	95
Tabela 4. Matriz de correlação dos parâmetros analisados para a camada inferior.....	98

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1. Hidrólise.....	29
Equação 2. Oxidação aeróbia.....	29
Equação 3. Volume dos resíduos soltos.....	54
Equação 4. Cálculo do teor de umidade.....	62
Equação 5. Cálculo dos sólidos voláteis.....	63
Equação 6. Cálculo dos ácidos voláteis.....	63
Equação 7. Cálculo da DBO.....	65
Equação 8. Cálculo da DQO.....	66

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT - Associação Brasileira de Normas e Técnicas
ACP- Análise de Componentes Principais
AESPA – Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba
APHA – American Public Health Association
AV- Ácidos Voláteis
C- Carbono
CAPES- Coordenação de Aperfeiçoamento do Pessoal do Nível Superior
CNPq - Conselho Nacional de Pesquisa
CH₄- Metano
CO - Monóxido de carbono
CO₂ - Dióxido de carbono
DBO- Demanda Bioquímica de Oxigênio
DNA- Ácido Desoxirribonucléico
DQO- Demanda Química de Oxigênio
EXTRABES- Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários
GGA- Grupo de Geotecnia Ambiental
H₂- Hidrogênio
H₂O- Água
IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MDL- Mecanismo de Desenvolvimento Limpo
N- Nitrogênio
O₂- Oxigênio
pH- Potencial Hidrogeniônico
RSU - Resíduos Sólidos Urbanos
SO₂ - Dióxido de enxofre
SV- Sólidos Voláteis
UEPB- Universidade Estadual da Paraíba
UFCG- Universidade Federal de Campina Grande
UFPE- Universidade Federal de Pernambuco
WHO – World Health Organization

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2.1.OBJETIVOS.....	19
2.1.1 Objetivo geral.....	19
2.1.2. Objetivos específicos.....	19
3. REVISÃO DA LITERATURA.....	20
3.1. Aumento da população X Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	20
3.2. Influências das composições gravimétricas e volumétricas em células experimentais de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU).....	24
3.3. Microrganismos presentes nos resíduos sólidos.....	26
3.4. Processos biológicos existentes em aterros sanitários.....	27
3.4.1. Oxidação aeróbia.....	28
3.4.2. Oxidação anaeróbia.....	29
3.5. Fatores que interferem na biodegradação dos resíduos sólidos urbanos.....	31
3.5.1. Teor de umidade.....	31
3.5.2. Potencial hidrogeniônico (pH).....	32
3.5.3. Ácidos voláteis.....	32
3.5.4. Sólidos voláteis.....	33
3.6. Curva do crescimento bacteriano em resíduos sólidos.....	33
3.7. Célula experimental (lisímetro) como modelo de simulação de um aterro sanitário de resíduos sólidos.....	35
3.8. Biogás gerado em aterros sanitários.....	37
3.8.1. Fases responsáveis pela geração de biogás.....	39
3.8.2. Aspectos econômicos e ambientais sobre a geração de biogás em aterros sanitários.....	41
3.9. Análises Estatísticas.....	43
3.9.1. Estatística descritiva.....	43
3.9.2. Estatística multivariada.....	44
3. METODOLOGIA.....	46
3.1. Descrição do local de estudo.....	46
3.2. Construção e instrumentação da célula experimental.....	47

3.3. Caracterização dos resíduos.....	52
3.3.1. Composição gravimétrica.....	52
3.3.2. Composição volumétrica.....	53
3.4. Enchimento da célula experimental.....	54
3.5. Monitoramento da célula experimental.....	55
3.5.1. Coleta das amostras sólidas.....	55
3.5.2. Análises de campo e laboratório.....	55
3.5.3. Análises bacteriológicas.....	56
3.5.3.1. Bactérias anaeróbias totais.....	56
3.5.3.2. Bactérias aeróbias totais.....	59
3.5.3.3. Potencial Hidrogênionico (pH).....	61
3.5.3.4. Teor de Umidade.....	62
3.5.3.5. Sólidos Voláteis (SV).....	62
3.5.3.6. Ácidos voláteis (AC).....	63
3.5.3.7. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅).....	64
3.5.3.8. Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	65
3.6. Análises Descritivas e de Componentes Principais.....	66
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	68
4.1. Caracterização da célula experimental dos resíduos sólidos urbanos.....	68
4.1.2. Caracterização física	68
4.1.2.1. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos.....	68
4.1.2.2. Composição volumétrica dos resíduos sólidos.....	70
4.1.3. Caracterizações Bacteriológicas.....	74
4.1.3.1. Bactérias aeróbias totais.....	74
4.1.3.2. Bactérias anaeróbias totais.....	76
4.1.4. Caracterizações física e fisico-químicas.....	78
4.1.4.1. Teor de Umidade (base seca).....	78
4.1.4.2. Potencial Hidrogeniônico (pH).....	80
4.1.4.3. Sólidos Voláteis (base seca).....	81
4.1.4.4. Ácidos Voláteis.....	83
4.1.4.5. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).....	84
4.1.4.6. Demanda Química de Oxigênio (DQO).....	86

4.2. Resultados Estatísticos.....	88
4.2.1. Estatística descritiva.....	88
4.2.1.1. Histogramas.....	88
4.2.2. Análises Estatísticas dos Componentes Principais (ACP).....	90
4.2.1. Análise de Componentes Principais da Camada Superior.....	91
4.2.1. Análise de Componentes Principais da Camada Intermediária.....	95
4.2.1. Análise de Componentes Principais da Camada Inferior.....	98
5. CONCLUSÕES.....	101
SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	103
REFERÊNCIAS.....	104
ANEXO.....	116

1. INTRODUÇÃO

Os resíduos sólidos urbanos (RSU) constituem uma problemática que abrange alguns aspectos relacionados à sua origem e produção, refletindo no comprometimento do meio ambiente, principalmente a poluição do solo, do ar e dos recursos hídricos. Estes resíduos resultam da atividade diária do ser humano em sociedade e os fatores principais que regem sua origem e produção são o aumento populacional, a intensa industrialização e o consumo (LIMA, 2004; DACANAL, 2006).

A produção e a composição dos resíduos sólidos é função das atividades humanas e industriais dentro do processo de contextualização social. Os problemas referentes à produção e a composição gravimétrica e química dos RSU, envolvem questões de natureza social, econômica, política e cultural. Em países emergentes como o Brasil, os resíduos têm se tornado um dos maiores problemas relacionados ao saneamento básico e a saúde pública (LEITE, 2008).

A população brasileira, estimada em 190.732.694 habitantes, produz em torno de 240.000 toneladas de RSU por dia e grande parte destes resíduos, aproximadamente 88%, são dispostos em lixões sem o devido controle ambiental. Apenas 11,7% das cidades brasileiras possuem aterros sanitários (IBGE, 2010; ABRELPE, 2006; PEREIRA, 2010).

Segundo Silva *et al.* (2010) os resíduos sólidos constituem uma condição importante para o desenvolvimento de diversas comunidades microbiológicas, principalmente devido ao elevado teor de matéria orgânica, que no Brasil atinge cerca de 60 a 65% dos resíduos gerados.

A degradação da matéria orgânica dos resíduos sólidos ocorre pela ação de diferentes grupos de microrganismos, a exemplo das bactérias, que podem extrair poluentes que se combinam com o solo e a água e naturalmente, não são fáceis de serem removidos do meio ambiente. Por isso, é importante estudar a ação destes microrganismos decompositores, sejam eles aeróbios ou anaeróbios, pois eles são os principais responsáveis pela degradação da matéria orgânica, e conseqüentemente pela geração de gases e lixiviados de grande impacto ambiental.

Muitas cidades brasileiras, como é o caso da cidade de Campina Grande-PB não possuem aterro sanitário e os resíduos produzidos têm como destino final vazadouros a céu aberto. Porém essa é uma prática errônea, visto que esta disposição inadequada gera graves impactos negativos sobre o meio ambiente, existindo a necessidade de se dispor os resíduos de forma adequada.

Segundo Vazoller *et al.* (2001) a disponibilidade de terras, aliado ao baixo custo de construção e operação, quando comparado a outros sistemas, além da utilização do biogás como fonte alternativa de energia faz dos aterros sanitários uma das soluções mais viáveis para o tratamento e disposição dos RSU no Brasil.

Porém, estudar aterros em escala real, ainda é um problema no país, principalmente devido à escassez destes. Por isso, simular, por meio de células experimentais, o comportamento de um aterro em escala real é uma atividade de grande importância, uma vez que permite o estudo de todas as dinâmicas que ocorrem em seu interior, bem como a avaliação do comportamento dos resíduos quanto aos aspectos físicos, químicos e microbiológicos.

De acordo com Alcântara (2007) ensaios realizados com células experimentais possibilitam analisar o processo de degradação dos resíduos sólidos e a geração de lixiviado sob condições controladas e fazer uma caracterização mais detalhada destes resíduos quando comparados com um aterro sanitário.

Por serem os microrganismos que atuam na biodegradação dos resíduos sólidos, é de fundamental importância o estudo sobre o comportamento das bactérias aeróbias e anaeróbias em escala piloto (célula experimental) para compreender suas interações no processo biodegradativo.

2.1.OBJETIVOS

2.1.1. Objetivo Geral

- ✓ Estudar o comportamento das bactérias aeróbias e anaeróbias totais no processo de biodegradação dos resíduos sólidos urbanos em uma célula experimental localizada na Universidade Federal de Campina Grande, PB.

2.1.2. Objetivos específicos

- ✓ Estudar a influência das composições gravimétrica e volumétrica dos resíduos sólidos urbanos sobre o comportamento das bactérias aeróbias e anaeróbias totais na atividade de biodegradação dos resíduos;
- ✓ Verificar o comportamento das bactérias aeróbias e anaeróbias totais e as suas relações com o ambiente interno à célula experimental;
- ✓ Analisar a evolução dos parâmetros físicos e físico-químicos e suas correlações no comportamento das bactérias aeróbias e anaeróbias totais ao longo do tempo.

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Aumento da população X Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

Nas últimas décadas, tanto a industrialização como a expansão demográfica tiveram um elevado crescimento, promovendo uma maior geração de RSU, fato que vem ocasionando uma maior poluição ambiental com disseminação de doenças. No entanto, além destes, o aumento na quantidade de resíduos é ainda influenciado pela melhoria renda-consumo da população (SOUZA, 2002; DACANAL, 2006).

A quantidade de resíduos sólidos gerados pelo homem praticamente dobrou nos últimos anos. O processo de geração é um fato inevitável. Além da imensa capacidade do ser humano de crescer numericamente, a cada dia o homem amplia seus conhecimentos, criando novas necessidades de conforto e bem-estar, promovendo o aumento excessivo na exploração e transformação dos recursos naturais e, conseqüentemente, gerando maiores quantidades de resíduos (OLIVEIRA, 2004).

A problemática dos RSU abrange alguns aspectos relacionados à sua origem e produção, assim como o conceito de inesgotabilidade. Os reflexos de comprometimento do meio ambiente são vistos, principalmente, pela poluição do solo, do ar e dos recursos hídricos (SOUZA, 2002).

A crescente degradação ambiental que vem ocorrendo neste último século, vem originando muitos questionamentos acerca dos problemas que a contaminação urbana pode desencadear sobre a saúde da população. O aumento na quantidade e variedade dos resíduos sólidos gerados pelas atividades domésticas, sociais e industriais emerge como um dos principais problemas da sociedade atual (MUÑOS, 2002).

De acordo com Monteiro (2003) a contaminação ambiental devido a resíduos eliminados ou depositados de forma inadequada, é um problema que pode afetar a qualidade de vida, justificando a busca de soluções para o problema. Principalmente, por estes resíduos apresentarem-se como uma mistura muito complexa e de natureza diversa, cujos principais constituintes são: material orgânico, papel, vidro, plástico e metais (CELERE *et al.*, 2007).

Segundo Cirne (2010), se antes os resíduos sólidos eram vistos como simples rejeitos do sistema produtivo da sociedade, nas últimas décadas passaram a ser encarado como um dos principais responsáveis por problemas de degradação ambiental e também como fonte de renda para as classes menos favorecidas, além de em alguns casos servirem como matéria-prima advinda da reciclagem.

De acordo com NBR 10.004 da ABNT (2004), resíduos sólidos são resíduos nos estados sólidos e semi-sólidos, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços de saúde e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistema de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água, e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.

A classificação de resíduos envolve a identificação do processo ou atividade que lhes deram origem e de seus constituintes e características e a comparação destes constituintes com listagens de resíduos e substâncias cujo impacto à saúde e ao meio ambiente é conhecido (ABNT, 2004). Nesta norma, os resíduos são classificados em:

a) resíduos classe I – Perigosos: os resíduos perigosos são aqueles que, em função de suas propriedades físicas, químicas ou infecto-contagiosas, apresentam riscos à saúde ou ao meio ambiente, ou apresentam características de inflamabilidade, corrosividade, reatividade, toxicidade ou patogenicidade. Exemplos: óleo lubrificante usado ou contaminado, equipamentos descartados contaminados com óleo, como argilas usadas no tratamento destes óleos, lodos gerados de efluentes líquidos.

b) resíduos classe II – Não perigosos;

- ✓ resíduos classe II A – Não inertes: aqueles que não se enquadram na classificação de resíduos Classe I ou Classe II B. Exemplos: o resíduo comum gerado em qualquer unidade industrial (proveniente de banheiros, restaurantes, escritórios).
- ✓ resíduos classe II B – Inertes: são aqueles resíduos que não tiveram nenhum de seus constituintes solubilizados a concentrações

superiores aos padrões de potabilidade da água, executando-se aspecto, turbidez, dureza e sabor.

O grande volume de resíduos sólidos, semi-sólidos e líquidos gerados diariamente nos centros urbanos tem trazido uma série de problemas ambientais, sociais, econômicos e administrativos, todos relacionados a uma dificuldade de implementar uma disposição adequada desses resíduos (CASTELLANELLI, 2008).

A disposição final adequada do lixo gerado pela sociedade moderna é um dos grandes problemas ambientais enfrentados pela maioria dos municípios brasileiros, dos quais geralmente apresentam como forma de disposição final do lixo os "lixões". De acordo com Carvalho (1997) o resíduo disposto inadequadamente, sem qualquer tratamento, pode poluir o solo, alterando suas características físicas, químicas e biológicas, causando problemas de ordem estética e na saúde pública.

A Paraíba é considerada o segundo estado do país que mais produz lixo por habitante. Estudo desenvolvido pelo Ministério das Cidades, através do Diagnóstico de Manejo e Resíduos Sólidos Urbanos do Sistema Nacional de Informações sobre o Saneamento (SNIS), mostra que o paraibano produz 1,56 kg de lixo por dia. O recorde da Paraíba só é superado pelo Distrito Federal cujos habitantes conseguem produzir uma média de 2,4Kg de lixo diário (FOCANDO A NOTÍCIA, 2010).

Dos municípios brasileiros, apenas 33% possui 100% de serviços de limpeza e/ou coleta de lixo. O restante desses resíduos passa a ser disposto em locais sem o devido controle ambiental (PECORA *et al.*, 2008).

Atualmente, na cidade de Campina Grande os resíduos são dispostos de maneira inadequada, visto que não há um aterro sanitário, nesta cidade, para dispor os resíduos gerados de maneira a satisfazer as normas e diretrizes ambientais.

Segundo Pecora *et al.* (2008), um dos métodos mais adequados para a deposição de resíduos sólidos são os aterros sanitários, que além de dispor de técnicas de impermeabilização do solo e cobertura dos resíduos, ainda promovem a captação do gás e sua posterior queima em "flare", ou utilização do mesmo para geração de energia elétrica.

O aterro sanitário é a forma de disposição final de resíduos sólidos urbanos no solo por meio do seu confinamento em camadas cobertas com terra, atendendo às normas operacionais, de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, minimizando os impactos ambientais. Geralmente a impermeabilização do solo, antes da deposição do lixo, é feita por meio de camadas de argila e geomembranas para evitar infiltração dos líquidos percolados (chorume) no solo. O lixo é depositado sobre o terreno e depois recoberto com camadas do solo do próprio local, isolando-o do meio ambiente (PECORA *et al.*, 2008). Dacanal (2006) define ainda, um aterro sanitário como um reator heterogêneo em que os resíduos sólidos e água são as principais entradas e o gás de aterro e o lixiviado as principais saídas. O lixiviado e o gás de aterro são considerados como potenciais causadores de impactos ambientais e devem ser tratados para evitar a poluição do meio ambiente.

Um aterro de resíduos sólidos não é apenas um depósito de resíduos para a disposição final e sim um biorreator onde acontecem sucessivas reações químicas e biológicas que são capazes de gerar subprodutos. Neste caso os materiais dispostos em um aterro devem ser degradáveis ou então após algum período de tempo não apresentar toxicidade (MELO, 2011).

O aterro sanitário ainda pode ser definido como um biodigestor construído de acordo com normas de engenharia. É uma estrutura encapsulada, usada para a atenuação das características nocivas dos resíduos sólidos, projetada de forma a favorecer a biodegradação anaeróbia e estabilizar os resíduos sólidos armazenados, geralmente entre camadas de material isolante compactado, como o solo local (CASTILHOS JUNIOR, 2006).

De acordo com Melo (2011) quantificar e identificar os constituintes dos resíduos sólidos urbanos ao longo do tempo e da profundidade é de fundamental importância, pois conforme o percentual e a concentração que cada um dos materiais depositados em aterros pode se direcionar um programa de gestão e gerenciamento a fim de aperfeiçoar e monitorar processos operacionais de aterros de Resíduos Sólidos Urbanos.

3.2. Influências das composições gravimétricas e volumétricas em células experimentais de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU)

As composições gravimétricas e volumétricas dos resíduos sólidos urbanos são ferramentas muito importantes, pois servem como indicadores da quantidade que cada tipo de resíduos ocupa em volume nas células de um aterro sanitário (PEREIRA, *et. al.*, 2010).

A composição gravimétrica indica o percentual dos materiais que compõem os resíduos em estudo. Para sua realização, normalmente é feito o processo de quarteamento associado a uma análise estatística (QUEZADO, 2010). De acordo com Santos (2010) a composição gravimétrica representa o percentual de cada componente em relação ao peso total da amostra analisada. Alguns autores citam os componentes como papel/papelão, metais, vidros, plásticos, matéria orgânica como os principais componentes utilizados na determinação da composição gravimétrica.

Todos os dias são gerados no Brasil 240.00 toneladas de resíduos. Destes, a maior percentagem é de matéria orgânica, representada por 57,41% como pode ser observado na Figura 1. Os outros tipos de resíduos apresentaram baixos percentuais o que pode ser justificado pela recuperação física por meio da reciclagem (ABRELPE, 2011; CIRNE, 2010).

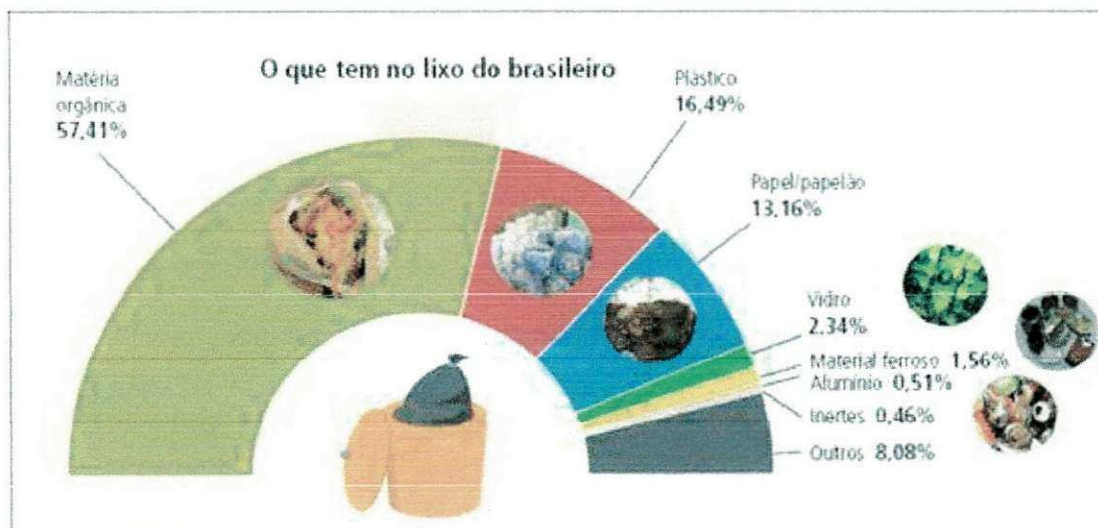


Figura 1: Composição dos resíduos sólidos urbanos do Brasil.
Fonte: ABRELPE, 2011.

Quando dispostos nos aterros sanitários a caracterização dos resíduos passa ter mais importância, pois o conhecimento individual de cada constituinte, em peso e em volume, informa a quantidade da fração biodegradável existente dentro da massa de resíduos, o que contribui para o correto dimensionamento dos sistemas de drenagem e tratamento de lixiviado, além de permitir avaliar o potencial de geração de biogás.

A caracterização e o monitoramento de resíduos sólidos envolvem parâmetros físicos que podem ser mais ou menos relevantes em função dos objetivos desejados e dentre os parâmetros mais importantes destacam-se as composições dos resíduos depositados (ALCÂNTARA, 2007).

De acordo com Oliveira (1999) quando se realiza a caracterização dos Resíduos Sólidos Urbanos em uma cidade, deve-se definir o objetivo desta caracterização. Geralmente, o principal objetivo é definir a forma de disposição final dos resíduos sólidos gerados em uma determinada comunidade ou avaliar a implantação de algum sistema de tratamento de resíduos, viabilizando o aproveitamento do material orgânico (compostagem) e do inorgânico (coleta seletiva). As características destes resíduos são influenciadas por vários fatores como: número de habitantes, poder aquisitivo, nível educacional, hábitos e costumes da população; condições meteorológicas e sazonais; as mudanças na política econômica de um país.

Mendes (2009) diz que conhecer o teor aproximado da matéria orgânica presente em um aterro de resíduos sólidos é de fundamental importância para o acompanhamento do processo de decomposição dos resíduos. O teor de matéria orgânica afeta as propriedades físicas e mecânicas dos resíduos. Como o processo de decomposição de um aterro está baseado na quantidade de matéria orgânica presente no meio, pode-se dizer que aterros localizados em países mais desenvolvidos que possuem teor de matéria orgânica próximo a 30%, recalcam menos que em aterros localizados em países em desenvolvimento, como é o caso do Brasil com teor de matéria orgânica próximo a 60%. A composição gravimétrica é um dos principais agentes da degradação da matéria que compõem os resíduos. Tanto a composição gravimétrica como volumétrica estão diretamente ligadas aos processos de recalques e, portanto também podem afetar o comportamento mecânico dos resíduos (MELO, 2011).

É importante mencionar que a velocidade de decomposição do lixo em países de clima tropical, como o Brasil, é maior que nos países de clima temperado. Outro fato interessante também é que existem diferenças na velocidade da decomposição dos resíduos com as mudanças sazonais e diurnas. Segundo Lima (2004) a velocidade de decomposição dos resíduos durante o inverno é 50% menor do que no verão.

A composição gravimétrica permite identificar o resíduo gerado, sendo a etapa inicial de qualquer definição posterior de gerenciamento de um aterro sanitário. Esta composição constitui uma informação importante na compreensão do comportamento dos resíduos, aterrados ou não, e expressa, em percentual, a presença de cada componente, em relação ao peso total da amostra dos resíduos. Além da composição gravimétrica, também é utilizada a composição volumétrica dos resíduos sólidos que é uma ferramenta importante para o dimensionamento do potencial de geração de biogás, pois permite classificar individualmente cada constituinte dos resíduos em volume (MELO, 2011).

Os estudos de caracterização física dos resíduos contribuem, ainda, para o monitoramento ambiental, na compreensão do processo de decomposição dos resíduos e na estimativa da vida útil da área (LIMA, 2004).

3.3. Microrganismos presentes nos resíduos sólidos urbanos

Os resíduos sólidos, de acordo com Carvalho (1997) por conterem substâncias de alto teor energético, e por oferecer água, alimento e abrigo, são preferidos por inúmeros organismos vivos, ao ponto de algumas espécies os utilizarem como nicho ecológico. Estes organismos que habitam os resíduos podem ser classificados em dois grandes grupos: os macrovetores (ratos, baratas, moscas, cães, aves) e os microvetores (vírus, bactérias, fungos e vermes).

A matéria orgânica presente nos resíduos sólidos pode ser metabolizada por vários tipos de microrganismos, como bactérias aeróbias e

anaeróbias, fungos, protozoários, cujo desenvolvimento dependerá das condições ambientais existentes (OLIVEIRA, 2004).

Segundo Melo (2003) a microbiologia em aterros sanitários é de fundamental importância, uma vez que a presença de microrganismos nos processos degradativos do lixo são um bom instrumento da biotecnologia. Os seres vivos, em especial os microrganismos, possuem estruturas protéicas, as enzimas, das quais são responsáveis pelo metabolismo, isto é, pela transformação de uma substância em outra. Estes microrganismos possuem um sistema enzimático que consegue degradar uma enorme variedade de substâncias naturais de diferentes origens.

3.4. Processos biológicos existentes em aterros sanitários

Segundo Libânio (2002) os ciclos biogeoquímicos, se caracterizam pela contínua e cíclica transformação da matéria, com o aproveitamento energético através da cadeia trófica e o contínuo intercâmbio de elementos químicos entre meio biótico e abiótico. Estes fenômenos ocorrem pela constante síntese dos seres autótrofos fotossintetizantes e decomposição de compostos orgânicos pelos seres heterótrofos, consumidores e decompositores, através da digestão aeróbia ou anaeróbia. Enquanto na decomposição aeróbia ocorre a oxidação completa dos compostos orgânicos, convertidos em água, gás carbônico e sais minerais, a decomposição anaeróbia resulta em subprodutos orgânicos (metano, alcoóis, sulfetos, amônia) ainda passíveis de oxidação.

De acordo com Alves (2005) o aterro sanitário é o resultado de interações complexas entre os diferentes grupos de microrganismos e isto pode ser evidenciado pela cadeia degradativa, onde determinado substrato fornece produtos para o desenvolvimento de um grupo específico de microrganismos. Estes microrganismos podem ser patógenos para o ser humano e outros animais, como também pode contaminar corpos d'água, o que representa um risco à saúde.

A biodegradação dos resíduos sólidos ocorre pela ação conjunta de diferentes espécies de microrganismos aeróbios que estão presentes num primeiro momento, isto é, logo após a disposição dos resíduos, onde existe

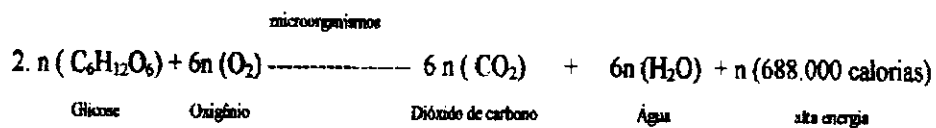
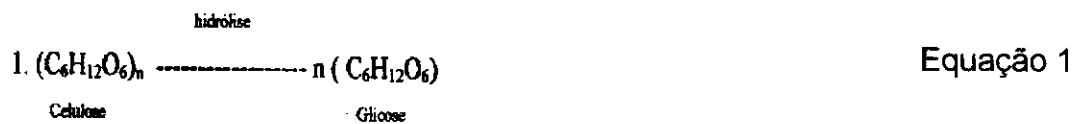
uma fonte de oxigênio para as atividades metabólicas e microrganismos anaeróbios, os quais degradam a matéria orgânica sem a presença de oxigênio e perduram por toda a vida útil de um aterro (MELO, 2003).

Inicialmente, os resíduos são degradados por microrganismos que permitem a transformação dos compostos complexos em subprodutos menos complexos. Esses compostos irão ser novamente quebrados por outros grupos de microrganismos presentes na massa de lixo até a formação final de CH_4 , CO_2 e H_2O o que permite a redução da massa de lixo. Entretanto, estes mecanismos bem como aspectos relacionados à biodegradação não estão totalmente esclarecidos.

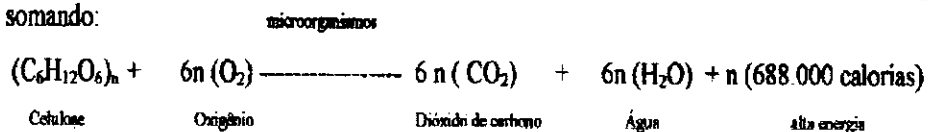
3.4.1. Oxidação aeróbia

A oxidação aeróbia ocorre na presença do elétron aceptor O_2 e microrganismos capazes de degradar a matéria orgânica a um composto inorgânico. Nas regiões superiores de um aterro, o O_2 deve ser suficiente para manter tal condição, onde o carbono orgânico será convertido a CO_2 ; o nitrogênio orgânico a NO_3 ; o hidrogênio a H_2O ; o fósforo a PO_4^{2-} e o enxofre a SO_4^{2-} (CARVALHO, 1997). Esta fase apresenta curta duração, pois a própria operação dos aterros sanitários, dos quais usualmente são usados camadas de cobertura diária, se torna um limitante de disponibilidade de oxigênio. Esta fase é responsável por uma parcela reduzida da decomposição. A reação da matéria degradável com oxigênio produz dióxido de carbono, água, materiais parcialmente degradados e biomassa, além de promover uma elevação da temperatura do meio (MELO, 2003).

As reações químicas aeróbias existentes na matéria orgânica em uma disposição final de resíduos sólidos urbanos, aerada, podem ser expressas pelas equações 1 e 2 (CARVALHO, 1997):



somando: Equação 2



3.4.2. Oxidação anaeróbia

Com a falta do elétron acceptor O_2 disponível à oxidação aeróbia, a decomposição passa a ser realizada em condição anaeróbia, em função dos elétrons aceptores existentes, temperatura, pH, nutrientes, materiais tóxicos, umidade e potencial oxirredução (CARVALHO, 1997).

Os microrganismos anaeróbios são aqueles, que segundo Pelczar *et al.* (1997), não sobrevivem na presença de oxigênio gasoso, não podem crescer na presença de ar e não utilizam oxigênio para as reações de produção de energia.

Na digestão anaeróbia, diversos grupos de microrganismos trabalham interativamente na conversão de matéria orgânica complexa em metano, gás carbônico, gás sulfídrico, água e amônia além de novas células bacterianas. Dentre as células bacterianas existentes, três tipos básicos de bactérias participam do processo de decomposição anaeróbia (MELO, 2011):

- ✓ As bactérias fermentativas que, por hidrólise, transformam os compostos orgânicos complexos, os polímeros, em compostos mais simples, os monômeros;
- ✓ As bactérias acetogênicas, ou produtoras de hidrogênio, que convertem os produtos gerados pelo primeiro grupo em acetato, hidrogênio e dióxido de carbono;
- ✓ As bactérias metanogênicas que utilizam os substratos produzidos pelas bactérias do segundo grupo, transformando-os em metano e

dióxido de carbono. Estas bactérias são muito importantes para o processo, pois elas produzem o gás metano, possibilitando a remoção do carbono orgânico do ambiente, resultando na perda de massa, e utilizam o hidrogênio favorecendo o ambiente para que as bactérias acidogênicas fermentem compostos orgânicos com a produção de ácido acético, que é convertido em metano.

A degradação anaeróbia para aterros sanitários ocorre em quatro fases (SIMÕES, 2000):

- ✓ A primeira fase é a hidrólise, fase esta em que o material orgânico particulado é convertido em compostos dissolvidos de menor peso molecular. Nesta fase as bactérias degradam estes compostos complexos em compostos simples. Uma vez transformados em compostos mais simples estes podem atravessar a parede das bactérias fermentativas. São vários os fatores que interferem na velocidade desta fase: temperatura operacional, composição do substrato, tamanho das partículas, pH do meio e tempo de residência.
- ✓ A acidogênese é a segunda fase, onde os compostos dissolvidos na fase de hidrólise são absorvidos e metabolizados pelas células fermentativas, sendo convertidos em compostos mais simples como ácidos graxos voláteis, alcoóis, ácido láctico, gás carbônico, hidrogênio, amônia e sulfeto de hidrogênio, além de novas células bacterianas.
- ✓ Na terceira fase, a acetogênica, ocorre à conversão dos produtos da acidogênese em compostos que formam o substrato apropriado para as bactérias metanogênicas a fim de produzir metano como: acetato, hidrogênio e dióxido de carbono.
- ✓ A metanogênese é a quarta fase, na qual o metano é produzido por bactérias acetotróficas a partir da redução do ácido acético, ou pelas bactérias hidrogenotróficas, a partir da redução do dióxido de carbono.

3.5. Fatores que interferem na biodegradação dos resíduos sólidos urbanos

A decomposição dos resíduos sólidos urbanos em aterros sanitários é um processo complexo e para que ocorra um crescimento das bactérias de forma satisfatória, todos os microrganismos necessitam de condições mínimas para sobrevivência e posterior reprodução. Fontes nutricionais, oxigênio, pH, umidade são alguns exemplos de fatores essenciais para o desenvolvimento bacteriano (MELO, 2003). As fontes de energia devem prover as necessidades de carbono e macronutrientes como hidrogênio, cálcio, fósforo, potássio, magnésio e ferro, requeridos em grandes quantidades, além dos micronutrientes, como o manganês, zinco, cobre e molibdênio.

3.5.1. Teor de umidade

Segundo Lima (2004) o teor de umidade, que representa a quantidade de água contida na massa de lixo, é um dado importante para a escolha do sistema de tratamento e aquisição de equipamentos de coleta. Este teor presente no lixo depende diretamente das condições meteorológicas e varia de um lugar para outro.

Os microrganismos dependem de um meio aquoso para se desenvolverem. De acordo com Monteiro (2003), a água dilui nutrientes requeridos pelos microrganismos, além de possibilitar sua rápida percolação/lixiviação no meio sólido. Esta também possibilita o transporte de enzimas e outros metabólitos importantes no processo de decomposição. Alguns autores sugerem que o teor de umidade e o teor de matéria orgânica constantes do lixo fornecem os pré-requisitos necessários à fase inicial do crescimento bacteriano.

A quantidade de água infiltrada pode prejudicar a degradação elevando o teor de umidade no interior da massa de lixo. A faixa ótima de umidade para a degradação biológica está entre 20-40%, sendo que valores fora desta faixa podem desestabilizar a célula de lixo (MONTEIRO, 2003). Alguns autores afirmam que o aumento do teor de umidade em uma massa

de lixo contribui para um aumento da velocidade de degradação. Entretanto, aumentando a velocidade do fluxo de água sem variar o teor de umidade aumenta também a geração de metano.

3.5.2. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH é usado para expressar o grau ácido/básico de uma solução, ou seja, expressa a concentração de íons hidrogênio e hidroxilas nessa solução. Este parâmetro é muito importante, pois influencia muitas reações químicas e bioquímicas, o que pode afetar várias populações de microrganismos (ALCÂNTARA, 2007).

De acordo com Oliveira (2004) a massa dos resíduos sólidos domiciliares costuma ser ácida, com pH inicial na faixa de 4,5 a 5,5. No processo de bioestabilização desta massa de resíduos, o pH tende a se neutralizar, situando-se entre 7,0 - 8,0.

Em função do pH e sua capacidade de crescimento no meio, os microrganismos podem ser classificados em acidófilos, neutrófilos e basófilos. Os primeiros microrganismos apresentam crescimento ótimo em pH baixo, enquanto o último a taxa de crescimento ocorre em meios alcalinos. Boa parte dos microrganismos são neutrófilos com crescimento na faixa de pH próximo a 7 (MEIRA, 2009a).

A maioria das bactérias adapta-se a um meio cujo pH ótimo é em torno da neutralidade, pois é o mais adequado para absorção de nutrientes.

3.5.3. Ácidos voláteis

Dillenburg (2006) reporta que os ácidos voláteis estão entre os compostos mais importantes para a digestão anaeróbia e seu estudo é de fundamental importância para compreender esta digestão. Os ácidos voláteis possuem até seis carbonos e apresentam baixo peso molecular. Podem ser definidos como ácidos graxos solúveis em água, que podem ser destilados a pressão atmosférica.

De acordo com Leite (2008) na decomposição bioquímica da matéria orgânica, uma variedade de bactérias saprófitas hidrolisam e convertem o

material complexo em compostos de menor peso molecular como os ácidos graxos (ácido acético, propiônico e butírico). Estes ácidos são chamados de voláteis porque podem ser destilados sob pressão atmosférica. O acúmulo destes ácidos pode prejudicar a digestão anaeróbia se a capacidade de tamponamento extrapolar e o pH baixar.

A instabilidade do processo anaeróbio pode ocorrer quando a produção de ácidos voláteis é maior que seu consumo, provocando queda do pH e inibição das atividades de bactérias metanogênicas.

3.5.4. Sólidos voláteis

De acordo com Monteiro (2003), é através da determinação dos sólidos voláteis que se determina a porcentagem de cinzas e a quantidade de matéria orgânica existentes nos resíduos sólidos. Este parâmetro pode ser considerado como um indicador de degradabilidade dos resíduos ao longo do tempo. Altos teores de sólidos voláteis indicam a presença de muita matéria orgânica a ser degradada e baixos valores indicam que a matéria orgânica já passou por um processo acentuado de degradação.

É um parâmetro de grande importância para o acompanhamento das alterações de propriedades químicas, biológicas e físicas da massa de lixo depositada em aterro. Os sólidos voláteis presentes na fração líquida resultante do processo de decomposição representam a parcela facilmente degradável, ou seja, os primeiros resultados da atividade microbiana (MONTEIRO, 2003).

3.6. Curva do crescimento bacteriano em resíduos sólidos

De acordo com Tortora *et al.*(2000) uma curva de crescimento bacteriano demonstra o desenvolvimento das células bacterianas durante um período de tempo. Esta curva é obtida quando se realiza a contagem da população em intervalos de tempo regulares após o inóculo com um número pequeno de bactérias em meio líquido.

Melo (2003) diz que as culturas bacterianas crescem exponencialmente durante o crescimento ativo, aumentando em progressão

geométrica, sendo este crescimento influenciado pela composição nutricional do meio e pelas condições físicas. Quando o crescimento bacteriano ocorre num sistema fechado, isto é, sem a entrada de novos nutrientes, bem como a remoção dos metabólitos gerados no processo, ocorre a exaustão do sistema. Quando é atingida a população máxima, ocorre a exaustão de nutrientes e a intoxicação pelos produtos metabólicos gerados pelos próprios microrganismos. Desta forma, a reprodução é inibida e começa então a morte celular.

Segundo Tortora *et al.* (2000), existem basicamente quatro fases de crescimento bacteriano como apresenta a Figura 2.

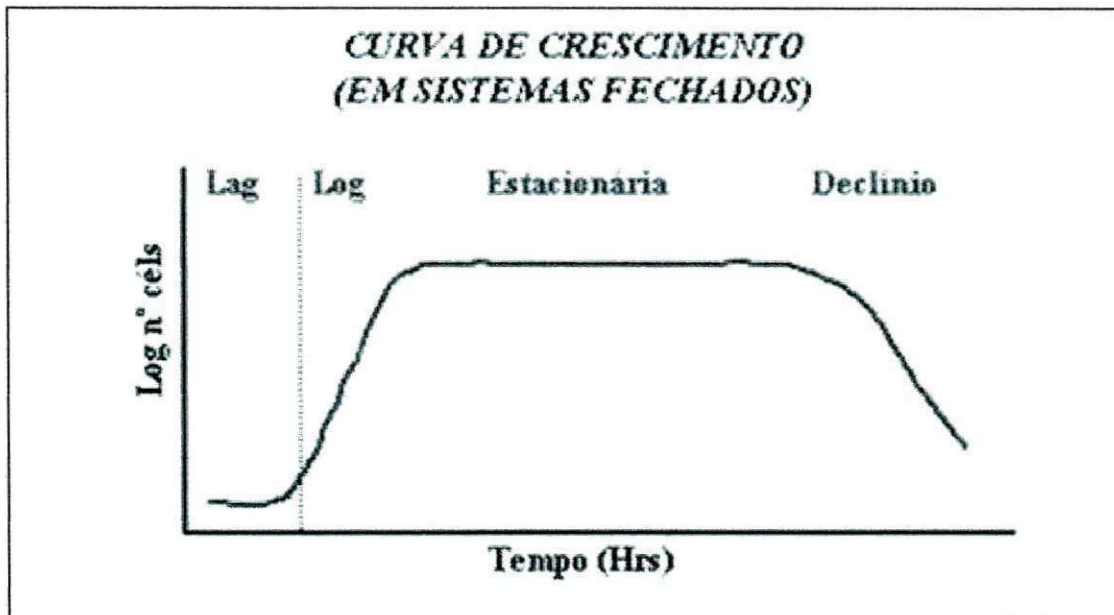


Figura 2: Curva de crescimento bacteriano mostrando as quatro fases de crescimento (PELCKZAR *et al.*, 1997).

- ✓ **Fase Lag:** nesta fase ocorre pouca ou ausência de divisão celular, pois as bactérias não se reproduzem imediatamente quando são colocadas em um novo meio de cultura. Durante esta fase as células se encontram em um estado de latência. Está ocorrendo nesta população um período de intensa atividade metabólica, principalmente síntese de DNA e de enzimas.

- ✓ **Fase Log:** durante esta fase a reprodução celular encontra-se extremamente ativa onde o tempo de geração atinge um valor constante. É o período de maior atividade metabólica da célula.

- ✓ **Fase Estacionária:** a fase de crescimento exponencial continua durante um longo período, formando um grande número de células. Em determinado momento a velocidade de crescimento diminui, o número de células que morrem se torna equivalente ao número de células novas e a população se torna estável. Nesta fase a atividade metabólica das células decresce.

- ✓ **Fase de Morte Celular:** nesta fase o número de células mortas excede o de células novas. Esta fase continua diminuindo o número de células, até existir uma fração ínfima do original e a população desaparece totalmente. Vários são os fatores que determinam esta fase. Entre eles estão: a diminuição do substrato, subprodutos do metabolismo que se tornam tóxicos quando em altas concentrações (MELO, 2003).

3.7. Célula experimental (lisímetro) como modelo de simulação de um aterro sanitário de resíduos sólidos

De acordo com Silva *et al.* (2010), o lisímetro é um biorreator representativo de uma célula experimental de lixo em escala reduzida, dotado de sistema de drenagem de líquidos e gases, tubos de coleta de amostras sólidas, medidores de recalque superficial (placas e disco magnético) e profundo (disco magnético), temperatura, concentração e fluxo de gases, proporcionando a obtenção de parâmetros sob condições controladas. Podem ser considerados também como modelos de aterros em escala laboratorial que tem a capacidade de simular e acelerar a decomposição aeróbia e anaeróbia dos resíduos (MEIRA, 2009b).

Uma célula experimental pode ser conceituada como um biorreator em escala reduzida, da qual tem como principais entradas de resíduos sólidos e água e como principais produtos formados o lixiviado e o gás.

São vários os parâmetros dos quais podem ser analisados nos lisímetros: temperatura, umidade, sólidos voláteis, aspectos microbiológicos, influência da água na degradação do lixo, influência da recirculação do lixiviado e produção de biogás, dentre outros.

As células experimentais são importantes, pois viabilizam as condições para decomposição microbiológica e aceleram estabilização da massa de lixo permitindo a disposição adicional de resíduos ou reuso mais rápido do aterro. Estes são projetados para que a água de infiltração da chuva nos resíduos seja feita sob condições controladas (MONTEIRO *et al.*, 2006).

Estudos com células experimentais têm sido uma das justificativas para o melhor entendimento do comportamento de aterros sanitários devido à facilidade de conhecimento e controle das condições internas e externas. Muito dos conhecimentos atuais sobre o comportamento de aterros foi conseguido através de estudos em células experimentais. Esta análise é baseada no monitoramento de diversos parâmetros obtidos a partir de medições na própria célula e de análises de amostras sólidas e líquidas em laboratório.

Muitas normas técnicas que hoje são inadequadas podem ser reformuladas ou aprimoradas a partir dos estudos desenvolvidos através de células experimentais ou lisímetros. Desta forma, rotas metabólicas de degradação de produtos orgânicos serão mais bem compreendidas e modificadas para uma melhor eficiência na decomposição da matéria orgânica. Atualmente, vem-se buscando novas técnicas para aprimorar a disposição e o tratamento de resíduos sólidos através do uso de células experimentais em escala laboratorial, escala piloto escala real (MONTEIRO *et al.*, 2003).

3.8. Biogás gerado em aterros sanitários

O gás produzido em aterro é composto principalmente de gases provenientes da decomposição anaeróbia da matéria orgânica dos resíduos sólidos. Os gases que são encontrados nos aterros incluem o amoníaco (NH_3), o dióxido de carbono (CO_2), o monóxido de carbono (CO), hidrogênio (H_2), sulfeto de hidrogênio (H_2S), metano (CH_4), nitrogênio (N_2) e oxigênio (O_2). Destes, os principais gases provenientes da decomposição anaeróbia dos componentes biodegradáveis dos resíduos orgânicos são o metano e o dióxido de carbono (GARCEZ, 2009; BÖRJESSON *et al.*, 2004)).

A geração de biogás a partir da degradação dos resíduos sólidos “biogasificação” pode ser definida como um processo biológico em que os microrganismos em condições anaeróbias decompõem a matéria orgânica para produzir gases, sendo o CH_4 o principal gás produzido e secundariamente o CO_2 outros gases (TARAZONA, 2010).

Monteiro (2003) afirma que o processo de decomposição anaeróbia de materiais putrescíveis em aterros de resíduos sólidos acarreta na produção de biogás. Este gás além de apresentar um caráter inflamável, causa problemas ambientais devido á presença quase na totalidade do CH_4 (40-65%) e CO_2 (25-40%), entre outros gases: N_2 (0-10%), O_2 (1-4%), H_2 (0,05%).

O biogás é um gás formado a partir da degradação anaeróbia de resíduos orgânicos e composto por uma mistura de gases, como metano, gás carbônico, e em menor quantidade, hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis. Dependendo da eficiência do processo, o biogás chega a conter entre 40% e 80% de metano (PECORA *et al.*, 2008).

Segundo Pecora *et al.* (2008) e Tarazona (2010) a capacidade de um aterro gerar gás depende de fatores como:

- **Composição física:** a caracterização física esta relacionada com os diferentes tipos de materiais que compõe os resíduos sólidos (papel, papelão, resíduos de comida, madeira, tecidos, borracha e couro, folhas,

plásticos, vidros, metais, entre outros), sendo que, a porcentagem de cada um destes materiais influi diretamente no potencial de geração de CH₄, devido ao seu potencial de biodegradabilidade. Os resíduos orgânicos são os que apresentam maior biodegradabilidade e será decomposto mais rapidamente.

- **Composição química:** a produção de biogás é acelerada com aumento de nutrientes de origem orgânica. A relação de C:N considerada como ótima para a estabilização anaeróbia é de 30:1, os resíduos sólidos apresentam uma relação de C:N de 50:1.

- **Temperatura:** a atividade biológica, ou seja, a atividade enzimática dos microrganismos depende de uma faixa ótima de temperatura. Cada classe de microrganismos tem um intervalo tolerável para sua sobrevivência. As bactérias mesofílicas trabalham em uma temperatura mínima entre 10-15°C, um valor ótimo de 35-38°C e uma temperatura máxima aproximada de 45°C. Já as bactérias termofílicas, trabalham numa temperatura mínima de 35-38°C, um valor ótimo de 50-55°C e temperatura máxima de 70-75°C. A faixa ótima de temperatura para a geração de metano é de 30°C a 40°C, sendo que temperaturas abaixo dos 15°C propiciam severas limitações para a atividade metanogênica.

- **pH e nutrientes:** a produção de metano é favorecida em ambientes com pH neutro. O intervalo ótimo de pH para as bactérias é de 6,7 a 7,5. Com o intervalo ótimo de pH, pode se obter uma alta taxa de crescimento de bactérias metanogênicas, aumentando a produção de CH₄. Fora deste intervalo (pH menor que 6 e maior que 8), a produção de CH₄ pode ser seriamente limitada. Com relação aos nutrientes, os microrganismos têm necessidade destes elementos que estão presentes nos resíduos sólidos.

- **Entrada de oxigênio nas células:** presença exagerada de oxigênio durante a fase anaeróbia retarda a geração de biogás.

- **Dimensão física e operação do aterro:** a redução do volume de lixo pelo processo da compactação e utilização de pequenas áreas para um rápido fechamento das células pode encurtar a fase aeróbia e será mais acentuada a produção do gás.

- **Natureza dos resíduos e tamanhos das partículas:** a redução do tamanho das partículas contribui para o acréscimo da produção de gás em função do aumento da superfície do substrato disponível para a atividade enzimática e a composição do lixo afetará a percentagem, qualidade e quantidade de gás gerado.

- **Umidade:** este fator é um dos mais significativos depois da composição dos resíduos, pois proporciona o meio adequado para os materiais degradáveis e fornece o meio de transporte para a distribuição de nutrientes e bactérias dentro do aterro.

- O solo de cobertura, o conteúdo de bactérias existentes nos resíduos, a existência de tratamentos e a proporção da matéria orgânica são outros fatores importantes que podem afetar a geração do biogás.

3.8.1. Fases responsáveis pela geração de biogás

A decomposição da matéria orgânica e produção de biogás podem prolongar-se de 30 a 100 anos. Mas não é fácil predizer com certeza a taxa ou velocidade de decaimento na decomposição e geração de biogás, uma vez que são muitas as classes de materiais que se decompõem e são vários os fatores que influem nos processos (BARLAZ *et al.*, 1989; MONTEIRO, 2003). O processo de geração do biogás nos aterros sanitários pode ser dividido aproximadamente em cinco fases:

- a) **Fase aeróbia:** é a fase de ajuste inicial na qual os componentes orgânicos biodegradáveis dos resíduos sólidos sofrem decomposição microbiana enquanto são colocados num aterro ou pouco depois. É uma fase de curta duração e prolonga-se até não haver mais oxigênio

livre para sustentá-la. À medida que esta fase chega ao fim, às populações de microrganismos começam a mudar devido a variações nas condições ambientais.

- b) **Fase anóxica de transição (hidrólise):** nesta fase começa a decrescer o oxigênio molecular e se desenvolver condições anaeróbias. Na segunda fase começa a haver um incremento do dióxido de carbono e ácidos graxos voláteis. Os valores destes elementos aumentam rapidamente até chegar à fase de formação de ácidos, quando começará a diminuir a velocidade de crescimento destas variáveis, tendendo a estabilizar-se.
- c) **Fase ácida:** nesta fase a atividade microbiana é acelerada acarretando numa produção de quantidades significativas de ácidos orgânicos e pequenas quantidades de gás hidrogênio. O primeiro passo das três etapas implica na transformação mediada por enzimas, de compostos com alto peso molecular em compostos aptos para serem utilizados pelos microrganismos como fonte de energia e carbono celular. No segundo passo do processo, a acidogênese, implica na conversão microbiana dos compostos resultantes do primeiro passo em compostos intermediários de baixo peso molecular. O dióxido de carbono é o principal gás gerado nesta fase. Também são produzidas quantidades pequenas de H₂.
- d) **Fase de metanogênica:** na fase de metanogênica, um segundo grupo de microrganismos, que convertem o ácido acético e o gás hidrogênio produzidos por formadores de ácido na fase ácida, em CH₄ e CO₂, chegam a ser mais predominantes. Os microrganismos responsáveis por esta conversão são metanogênicos, estritamente anaeróbios. Nesta fase, a formação de metano e ácido é simultânea, ainda que a velocidade de formação de ácidos seja reduzida. A produção de metano rapidamente alcançará valores de 45-55% da composição do biogás no aterro.

- e) **Fase de maturação final:** esta fase acontece depois de haver a conversão do material inorgânico biodegradável em CH₄ e CO₂ durante a fase anterior. Durante esta fase, a velocidade do gás de aterro diminui significativamente porque boa parte dos nutrientes disponíveis é levada pelo chorume durante as fases anteriores e o substrato que resta no aterro é de lenta degradação. Os principais gases de aterro presentes nesta fase são CH₄ e CO₂.

3.8.2. Aspectos econômicos e ambientais sobre a geração de biogás em aterros sanitários

O aquecimento global tem se tornado alvo de discussões mundiais devido ao aumento da concentração de gases de efeito estufa na atmosfera, provenientes, principalmente, da queima de combustíveis fósseis. A busca por novas alternativas que promovam a substituição destes combustíveis por fontes renováveis tem se intensificado nas últimas décadas. A disposição final incorreta dos resíduos sólidos acarreta na emissão descontrolada dos gases gerados em sua decomposição e na infiltração de líquidos percolados no solo, causando impactos negativos à saúde da população e ao meio ambiente, contribuindo para o agravamento do efeito estufa (PECORA *et al.*, 2010).

A concentração dos principais gases (dióxido de carbono, metano e óxido nitroso) responsáveis pelo efeito estufa na atmosfera, tem aumentado desde os tempos pré-industriais. O dióxido de carbono, que é um dos gases, aumentou sua concentração em 38% desde 1750, principalmente devido às emissões provocadas pela queima de combustíveis fósseis, do desmatamento e mudanças no uso da terra. As emissões de metano na atmosfera também aumentaram nos últimos anos. Atividades humanas como a criação de gado, o plantio de arroz, a exploração de combustíveis fósseis e aterros sanitários são responsáveis pelo aumento das emissões desse gás (ABES, 2010).

O biogás é um gás formado a partir da degradação da matéria orgânica e sua produção é possível a partir de uma grande variedade de resíduos orgânicos, composto tipicamente por 60% de metano, 35% de

dióxido de carbono e 5% de uma mistura de outros gases como hidrogênio, nitrogênio, gás sulfídrico, monóxido de carbono, amônia, oxigênio e aminas voláteis. A presença de substâncias não combustíveis no biogás como (água, dióxido de carbono etc.) prejudicam o seu processo de queima, tornando-o menos eficiente e, portanto, seu poder calorífico diminui à medida que se eleva a concentração de impurezas em sua composição (PECORA *et al.*, 2010).

O gás metano é um dos produtos formados a partir de uma série de reações biológicas envolvidas na decomposição dos resíduos orgânicos em aterros sanitários. Esse gás produzido em aterros representa uma forma de energia renovável. A formação e a taxa de geração dos principais constituintes do biogás são variáveis ao longo dos anos. A conversão energética do biogás pode ser apresentada como uma solução para o grande volume de resíduos produzidos por atividades agrícolas e pecuárias, destilarias, tratamento de esgotos domésticos e aterros sanitários, visto que reduz o potencial tóxico das emissões de metano ao mesmo tempo em que produz energia elétrica agregando, desta forma, ganho ambiental e redução de custos (BARLAZ *et al.*, 1989; PECORA *et al.*, 2008; MOR *et al.*, 2006).

A captação do biogás, resultante da decomposição dos resíduos orgânicos compactados em aterros, é viável do ponto de vista econômico, energético e ambiental, pois pode reduzir os custos para o município e ter um destino nobre para o lixo.

Além da oportunidade de gerar energia elétrica, diversificando a matriz energética com uma alternativa descentralizada, a utilização do biogás de aterros contribui para diminuir as consequências ambientais, já que o gás metano, produzido pelo lixo, é cerca de 20 vezes mais nocivo que o gás carbônico (CO₂) na formação do efeito estufa. Com isso, projetos de aproveitamento desse recurso são passíveis de comercialização de créditos de carbono no Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL), previsto pelo Protocolo de Quioto (ABREU *et al.*, 2010).

De acordo com Abreu *et al.* (2010) o gás metano, gerado pelo lixo, apresenta um alto grau de poluição, e contribui poderosamente para o aquecimento global. Seu cheiro forte, característico, é importante fator de degradação do meio-ambiente. Ao captá-lo, canalizá-lo e utilizá-lo para gerar

energia, com tecnologia disponível, a poluição decresce de maneira significativa, poupa-se a atmosfera e elimina-se o cheiro típico dos aterros. Sendo assim, utilizar o biogás como fonte de energia é um destino nobre.

Existem quatro tipos básicos para o aproveitamento do biogás:

- ✓ Venda direta do biogás a clientes próximos - o mais simples e na maioria dos casos o mais rentável, é a venda direta do biogás para aquecimento com caldeira ou para um dado processo industrial. Nesta situação, o biogás apenas necessita de ser ligeiramente seco e filtrado e depois conduzido, por tubagens, até ao(s) consumidor (es) que deverão situar-se nas redondezas do aterro sanitário.
- ✓ Produção de energia elétrica e calor (cogeração) - a tecnologia atual permite sistemas de cogeração com um rendimento muito elevado, logo, economicamente muito atrativo.
- ✓ Venda direta do biogás a empresas que comercializam gás natural - se dispuser de um aterro sanitário com cerca de $10 \cdot 10^6$ toneladas de resíduos sólidos acumulados capazes de produzir biogás com elevada percentagem de metano, um bom sistema de secagem e filtragem, a venda de biogás a empresas que atuam na área do gás natural pode se tornar uma boa opção.

3.9. Análises Estatísticas

3.9.1. Estatística Descritiva

A estatística, de acordo com Guedes *et al.* (2011) é a ciência que apresenta processos próprios para coletar, apresentar e interpretar adequadamente conjuntos de dados, sejam eles numéricos ou não. Seu objetivo é apresentar informações sobre dados em análise para que se tenha maior compreensão dos fatos que os mesmos representam. A Estatística subdivide-se em três áreas distintas: a descritiva, a probabilística e a inferencial. A estatística descritiva se preocupa em descrever os dados; a estatística inferencial, fundamentada na teoria das probabilidades, se preocupa com a análise destes dados e sua interpretação.

A estatística descritiva tem como finalidade sintetizar uma série de valores de mesma natureza, permitindo dessa forma que se tenha uma visão global da variação desses valores, organizando e descrevendo os dados de três maneiras: por meio de tabelas, de gráficos e de medidas descritivas (GUEDES *et al.*, 2011)

A estatística descritiva é um conjunto de técnicas que objetivam descrever, analisar e interpretar os dados numéricos de uma população ou amostra (FONSECA e MARTINS, 1994).

De acordo com Peternelli (2011) a estatística descritiva é a parte da estatística que procura descrever e avaliar certo grupo, sem tirar quaisquer conclusões ou inferências sobre um grupo maior. Ela pode ser resumida nas seguintes etapas: definição do problema; planejamento; coleta dos dados; crítica dos dados; apresentação dos dados (tabelas, gráficos) e descrição dos dados.

3.9.2. Estatística multivariada

De acordo com Reis (2001) a estatística multivariada é um conjunto de métodos estatísticos que permite a análise simultânea de medidas múltiplas para cada indivíduo ou objeto em análise, ou seja, qualquer método que permita a análise simultânea de duas ou mais variáveis.

Os principais objetivos da estatística multivariada são (SANTOS, 2004):

- ✓ Reduzir dados: a variável estudada é representada de maneira simples;
- ✓ Ordenar e agrupar: agrupamento de objetos ou variáveis similares, baseados em dados amostrais ou experimentais;
- ✓ Investigar a dependência entre as variáveis.

Dentre as subdivisões da estatística multivariada, encontra-se a análise de componentes principais (ACP) que pode ser definido como um método estatístico multivariado essencialmente descritivo. Essa análise consiste em transformar um conjunto original de variáveis em outro conjunto com dimensão equivalente, mas com propriedades importantes (SANTOS, 2004; PAIVA, 2009; SILVA, 2009).

A importância da utilização da ACP na pesquisa científica tem os seguintes objetivos:

- ✓ Examinar as correlações entre as possíveis variáveis;
- ✓ Fazer uma redução de um grande conjunto de variáveis em outro menor e de sentido biológico e técnico: tem o propósito de combinar um grupo de variáveis construindo um grupo menor de variáveis principais que resumam as informações contidas nos dados iniciais;
- ✓ Efetuar a eliminação de variáveis: o primeiro componente é definido como aquele de maior variância e é em relação aos demais o mais importante. Se os primeiros componentes têm percentagem relativa de variância alta, superior a 70%, eles explicam provavelmente o fenômeno e os demais podem ser excluídos sem grandes perdas;
- ✓ Examinar e promover o agrupamento de indivíduos;
- ✓ Construir índices que sirvam para agrupar indivíduos;
- ✓ Usar técnicas de agrupamento.

De acordo com Silva (2009) a análise de componentes principais analisa quais variáveis explicam a maior parte da variabilidade total dos dados, reduzindo, reunindo, simplificando e investigando a relação existente entre as variáveis.

3. METODOLOGIA

As coletas das amostras de resíduos sólidos urbanos, as análises de laboratório e as medições "*in situ*" foram realizadas pelo Grupo de Geotecnia Ambiental (GGA), composto por alunos de diferentes áreas da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e da Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

As coletas das amostras na célula experimental foram feitas na Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). As amostras coletadas foram encaminhadas para o laboratório da EXTRABES (Estação Experimental de Tratamentos Biológicos de Esgotos Sanitários- Núcleo de Pesquisa da Universidade Federal de Campina Grande-PB e Universidade Estadual da Paraíba-PB) e para o Laboratório de Antibióticos da Universidade Federal de Pernambuco-UFPE.

3.1. Descrição do local de estudo

Esta pesquisa foi desenvolvida no município de Campina Grande-PB, que de acordo com os últimos dados do IBGE (2010), tem uma população de 383.941 habitantes, com área de aproximadamente 621 km² (área urbana de aproximadamente 96km²) e encontra-se a 120 km da capital do Estado, João Pessoa. Possui um relevo forte e ondulado com curvas de nível variando entre 325m e 670m acima do nível médio do mar e situa-se na região oriental do Planalto da Borborema. O clima da região é do tipo semi-árido apresentando temperatura do ar média anual em torno de 22,2 °C e com precipitação anual em torno de 472.6 mm (AESAs, 2009; CUNHA *et al.*, 2009).

A cidade de Campina Grande não dispõe de uma área de deposição de resíduos sólidos e os serviços de coleta de resíduos domiciliares, hospitalares e industriais além de outros são terceirizados pela prefeitura municipal.

Os resíduos sólidos urbanos destinados ao enchimento da célula experimental foram coletados em três bairros, com rotas de coletas definidas pelo departamento de limpeza urbana do município de Campina Grande-PB:

Mirante, Catolé e Conjunto Argemiro Figueiredo situado no bairro Sandra Cavalcanti (Figura 3). A coleta foi realizada no período noturno e os resíduos coletados foram encaminhados para a área de amostragem, localizada na UFCG para a realização da triagem dos resíduos na manhã seguinte. Para a realização da coleta e amostragem utilizou-se o procedimento recomendado pela norma NBR 10007 (ABNT, 2004) - Amostragem de Resíduos.

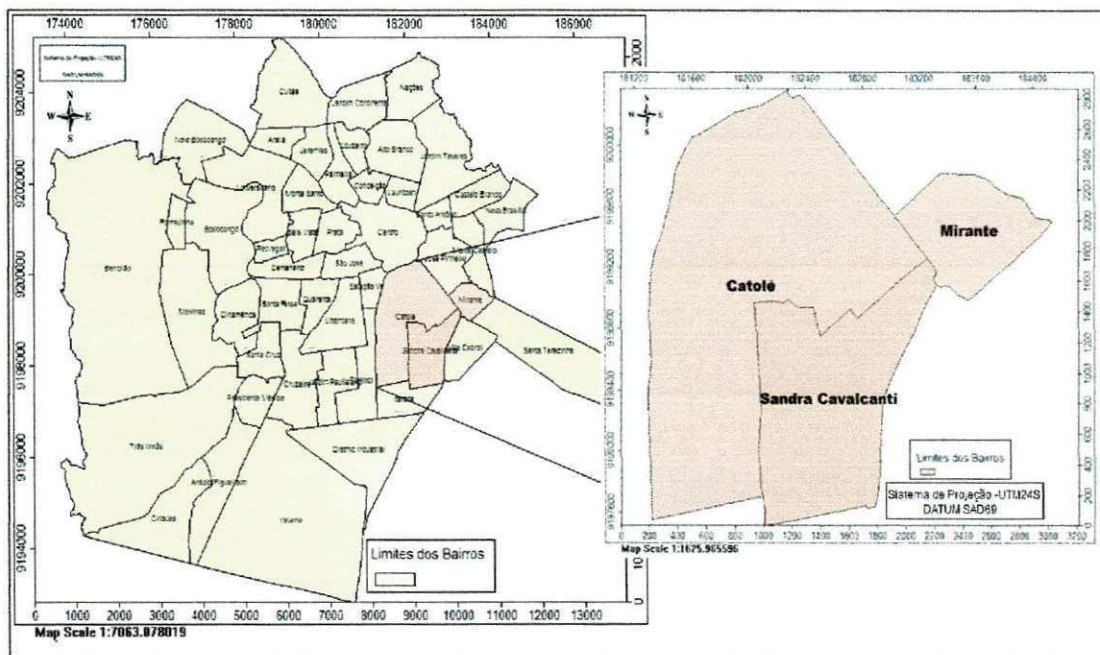


Figura 3: Bairros da cidade de Campina Grande – PB que foram utilizados para amostragem da pesquisa, 2009.

3.2. Construção e instrumentação da célula experimental

A célula experimental (Figura 4) consiste em uma célula de resíduos em escala piloto com uma altura de 3,0m e um diâmetro interno de 2,0m. É uma célula dotada de sistemas de drenagem de líquidos e gases, medição de nível dos líquidos, placas de recalque e medidores de temperatura, além dos pontos de coleta das amostras de resíduos posicionados ao longo de sua profundidade representando as camadas superior, intermediária e inferior.



Figura 4: Célula experimental e seus pontos de coleta, 2009.

As etapas realizadas para a construção e instrumentação da célula experimental foram:

- ✓ Construção da célula experimental (Figura 5);
- ✓ Ajuste de metodologias específicas análises de resíduos sólidos urbanos;
- ✓ Determinação dos locais de amostragem dos resíduos em três bairros de classe alta, média e baixa da cidade;
- ✓ Instrumentação da célula experimental: drenos de líquidos e gases, piezômetros, medidores de temperatura, instalação de placas de recalque superficiais e em profundidade;
- ✓ Realização de amostragem dos resíduos antes do enchimento da célula experimental usando o procedimento recomendado pela norma NBR 10004/ NBR 10.007 (ABNT, 2004);
- ✓ Caracterização os resíduos através de determinação da composição gravimétrica e volumétrica segundo Rocha e Lang (2003) e recomendações da CETESB (1990);
- ✓ Enchimento da célula experimental ocorrido no dia 17 de outubro de 2009 e término das análises para esta pesquisa em 18 de dezembro de 2010;

- ✓ Realização dos ensaios físicos, físico-químicos, bacteriológicos e mecânicos para determinação das características iniciais dos resíduos que foram depositados na célula experimental;
- ✓ Monitoramento mensal de líquidos e sólidos através de medições “*in situ*” e realização de ensaios laboratoriais com amostras coletadas na célula experimental.

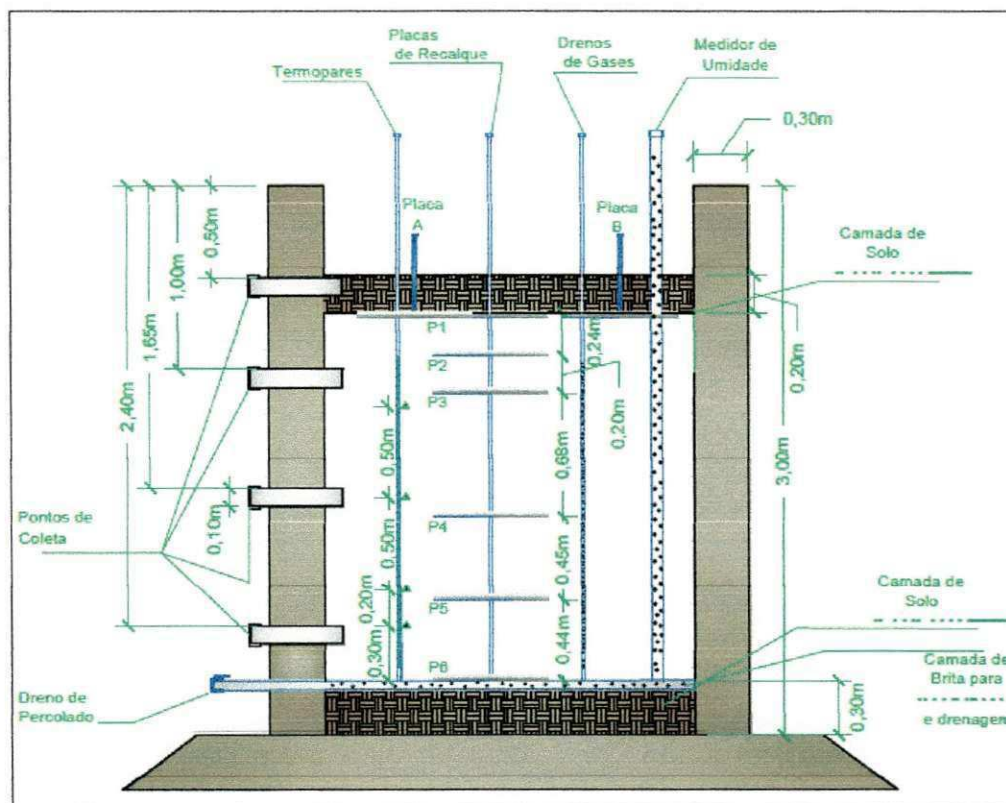


Figura 5: Desenho esquemático da célula experimental, 2009.

A instrumentação da célula experimental consistiu dos seguintes elementos:

- ✓ **Termopares:** instrumentos usados para o monitoramento da temperatura no interior da célula experimental. Foram instalados quatro termopares do tipo K a cada 0,5m de profundidade (Figura 6a e 6b). Estes termopares consistem em um par de metais de cobre e cromo unidos em uma ponta, que são

sensíveis à temperatura, gerando correntes elétricas proporcionais à temperatura. Estas correntes foram medidas na superfície por um termômetro elétrico (Figura 6c). A calibração foi feita com o uso de um termômetro de mercúrio como referência (Figura 6d).

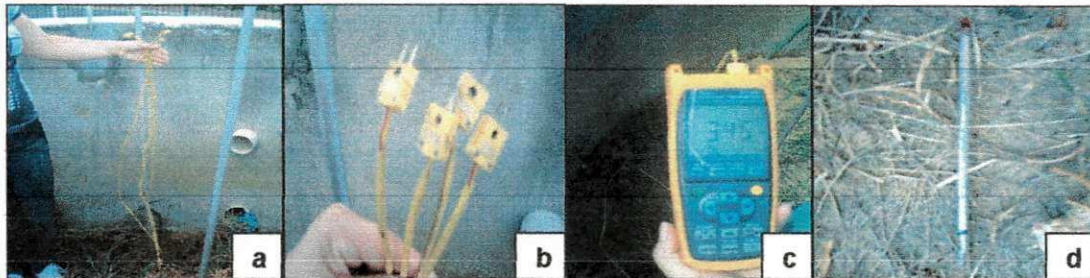


Figura 6: (a) e (b) Termopares do tipo K; (c) Termômetro elétrico; (d) Termômetro de mercúrio.

- ✓ **Piezômetro:** o piezômetro foi confeccionado pelo grupo GGA para monitorar o nível de líquidos. Consiste de um tubo de PVC de 25 mm (Figura 7a), com furos na parte inferior das paredes do tubo e coberto com tela de nylon. As variações do nível de lixiviado foram medidas com um sensor de nível de água.

- ✓ **Medidor de recalque superficial e em profundidade:** para o monitoramento dos recalques foram utilizadas placas de recalques circulares com diâmetros aproximados de 150mm, confeccionadas em aço e revestidas com uma película anti-corrosiva. Estas placas foram instaladas na superfície e em profundidade, respectivamente (Figura 7b e 7c).

- ✓ **Tubo para drenagem de gases:** este tubo foi instalado na lateral da célula, e foi confeccionado em PVC com furos verticais. Apresenta um diâmetro de 40 mm envolvido por uma tela de nylon para evitar a obstrução dos furos (Figura 7d).

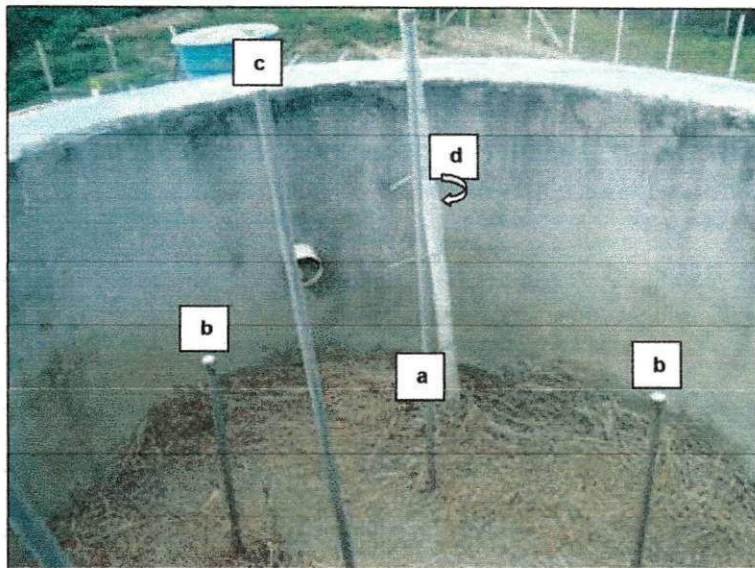


Figura 7: (a) Piezômetro; (b) Medidores de recalques superficiais; (c) Medidor de recalque em profundidade; (d) Tubo de drenagem de gases.

- ✓ **Pontos de coleta das amostras sólidas:** foram construídos nove pontos de coleta de resíduos na célula experimental, sendo três pontos para cada camada estudada. As camadas da célula experimental estão baseadas nos pontos de coleta (superior, intermediário e inferior). Cada ponto apresentava uma abertura lateral para coletar as amostras com um diâmetro de 100 mm (Figura 8a e 8b).

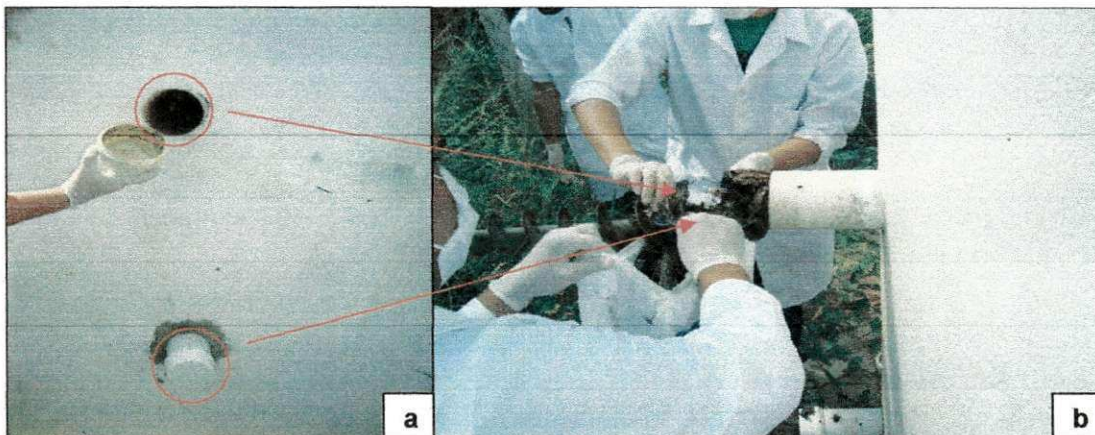


Figura 8: (a) e (b) Pontos de coleta das amostras.

3.3. Caracterização dos resíduos

Antes do enchimento da célula experimental foi realizada a caracterização física, físico-química, química e microbiológica. No item 3.3.1. será apresentado a caracterização física compreendendo a composição gravimétrica e volumétrica dos resíduos.

3.3.1. Composição gravimétrica

Para realização da amostragem foi utilizado o procedimento recomendado pela norma NBR 10007 (ABNT, 2004) – Amostragem de Resíduos. A coleta das amostras foi realizada por um caminhão compactador com capacidade aproximada de nove toneladas de resíduos. Os procedimentos para a composição gravimétrica foram realizados segundo LIPOR (2000) adaptado por Leite (2008) e Pereira *et al.* (2010).

A coleta dos resíduos sólidos foi realizada durante o período noturno no dia 16 de outubro de 2009. Em seguida, no dia 17 de outubro o caminhão dirigiu-se para a área de amostragem, localizada próxima a célula. Para a obtenção de uma amostra significativa para a composição dos resíduos foram realizadas as seguintes etapas:

1– Descarregamento dos resíduos do caminhão compactador. (Figura 9a), homogeneização formando uma única pilha com auxílio de uma enchedeira. (Figura 9b) e quarteamento (Figura 9c). Das quatro pilhas resultantes, duas foram descartas. As outras duas foram homogeneizadas, formando uma única pilha. (Figura 9d). Após esse procedimento, foram retirados amostras sólidas para a caracterização física dos resíduos sólidos.

2– Foram usados recipientes de aproximadamente 65 litros para as análises e foram retiradas amostras sólidas resultando aproximadamente 160 kg de resíduos ou 585 litros.

3– A amostra retirada foi pesada e em seguida disposta em local previamente preparado com lona plástica para o processo de triagem. (Figura 9e e 9f). A classificação dos resíduos foi realizada segundo LIPOR (2000) adaptado por Leite (2008), de acordo com as seguintes categorias:

plásticos, metal, vidro, compósitos, têxteis sanitários (papel higiênico, absorventes, fraldas descartáveis), papel e papelão, matéria orgânica.

4 – Em recipientes previamente pesados e etiquetados, foram realizadas as medições do peso dos resíduos sólidos urbanos separados por categorias e os dados anotados em planilhas.



Figura 9: (a) Descarregamento dos resíduos; (b) Homogeneização dos resíduos; (c) Quarteamento dos resíduos; (d) Homogeneização das pilhas de resíduos; (e) Preparação do local para triagem dos resíduos; (f) Triagem dos resíduos.

Fonte: Pereira *et al.*, 2010.

3.3.2. Composição volumétrica

A metodologia para a composição volumétrica dos resíduos sólidos foi baseada em Catapreta e Simões (2008) e Mariano *et al.* (2007). Esse procedimento foi realizado após a caracterização gravimétrica, no qual, após a pesagem mediu-se o volume desses resíduos.

Os recipientes utilizados foram na forma de cone (Figura 10), cujo diâmetro variou de acordo com a altura do recipiente. Portanto, com medida do diâmetro menor (base do recipiente) passou-se a medir a altura e o diâmetro maior com o auxílio de uma régua e trena métrica, e, por meio da Equação 3 obteve-se o volume dos resíduos soltos.

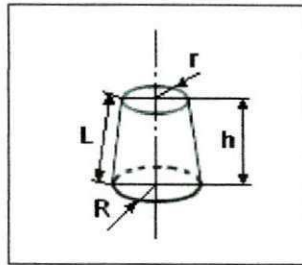


Figura 10: Modelo do recipiente usado para realização da composição volumétrica.

Fonte: Pereira *et al.*, 2010.

$$V = \frac{\pi h (R^2 + Rr + r^2)}{3} \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

h: altura encontrada;

R: raio maior e

r: raio menor.

Posteriormente, os resíduos foram compactados com um soquete confeccionado em concreto no molde dos recipientes utilizados. O soquete possuía uma área aproximadamente de 0,503m², volume 0,075m³ e peso 26kg. Após compactar os resíduos, foram medidos a altura e o diâmetro, obtendo-se o volume destes resíduos (Figura 11).



Figura 11: (a) Resíduos sólidos; b) Soquete manual; (c) Compactação dos resíduos sólidos; (d) Medição da altura e do diâmetro de resíduos.

Fonte: Pereira *et al.*, 2010.

3.4. Enchimento da célula experimental

Após a compactação do solo utilizado da camada de base impermeável, iniciou-se o enchimento da célula experimental com os resíduos distribuídos em camadas. Estas camadas foram compactadas com

soquete manual até atingir uma cota pré-estabelecida de 2,70m. Em seguida, colocou-se a camada de solo compactada com o mesmo material utilizado na camada de base.

3.5. Monitoramento da célula experimental

3.5.1. Coleta das amostras sólidas

As coletas foram realizadas no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010. Estas coletas eram realizadas por volta das 8hrs e geralmente tinham uma duração de 2hrs. Para coletar amostras representativas (cerca de 600g de resíduos de cada camada - superior, intermediária e inferior da célula experimental), foi usado um amostrador, instrumento com uma altura de 1,5m e uma hélice de 120mm de diâmetro (Figura 12), confeccionado pelo grupo de pesquisa GGA. Estas amostras foram encaminhadas para os laboratórios para realização das análises físicas, físico-químicas e bacteriológicas.

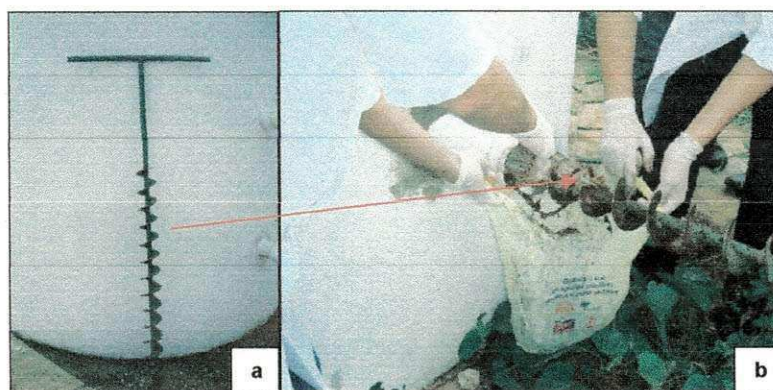


Figura 12: (a) e (b) Amostrador usado para coletar os resíduos sólidos urbanos nos diferentes níveis da célula experimental.

3.5.2. Análises de campo e laboratório

Foram realizadas as seguintes análises de campo e laboratório:

- ✓ Análises físicas: teor de umidade.

- ✓ Análises físico-químicas: pH, sólidos voláteis, ácidos voláteis, demnada bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO). Aproximadamente 500g de resíduos sólidos urbanos foi retirado de cada camada (superior, intermediária e inferior) da célula experimental. Em seguida, estes resíduos foram picotados e imersos em 1L de água destilada por um tempo de 30 minutos, e logo após este tempo, foram passados por uma peneira com malha de aproximadamente 1,2mm, obtendo-se desta forma o extrato líquido utilizado em todas as determinações físico-químicas.

- ✓ Análises bacteriológicas qualitativas: aeróbias e anaeróbias totais.

3.5.3. Análises bacteriológicas

3.5.3.1. Bactérias anaeróbias totais

Semeadura de bactérias anaeróbias totais

Para o cultivo de bactérias anaeróbias, o oxigênio deve ser reduzido da atmosfera do ambiente a serem inseridas estas bactérias. A presença de oxigênio no meio de coleta pode causar a morte das bactérias anaeróbias. Desta forma, utilizou-se de meios de cultura especiais para evitar a morte celular dessas bactérias e promover seu crescimento, os chamados meios redutores. Estes meios contêm reagentes como o tioglicolato de sódio que é capaz de se combinar com o oxigênio dissolvido diminuindo-o do meio de cultura.

O crescimento das bactérias anaeróbias é realizado em meio redutor Thioglycolate Fluid Medium, marca Acumedia. Este meio é inserido em tubos de penicilina lacrados com tampas seladoras, que são imediatamente aquecidos para eliminação do oxigênio dissolvido.

As amostras de resíduos sólidos urbanos foram coletadas e armazenadas em uma jarra de anaerobiose (Figura 13a) que funciona como uma miniatura da câmara de anaerobiose (PELCKZAR JR. *et al.*, 1997).

Logo após, foi colocada uma placa anaerobac (Figura 13b) com o objetivo de diminuir a quantidade de oxigênio presente no meio e aumentar o gás carbônico (Ver procedimento de uso em anexo).

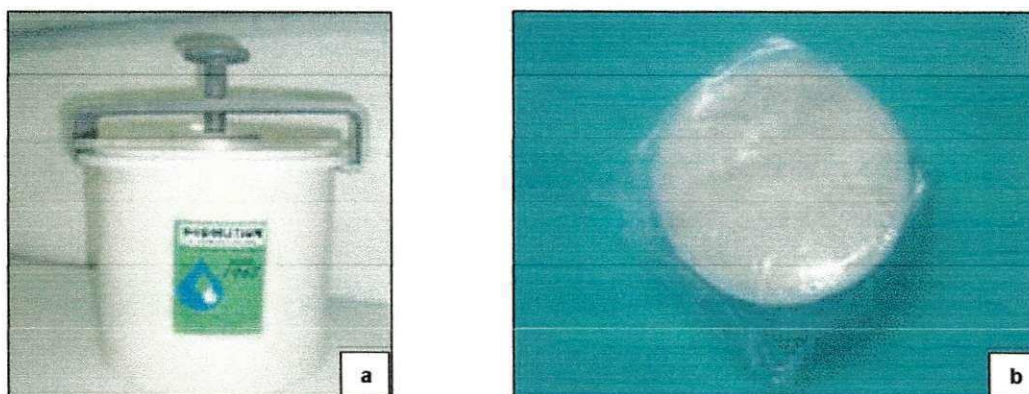


Figura 13: (a) Jarra de anaerobiose e (b) placa anaerobac usadas para o armazenamento das bactérias anaeróbias.

Preparação do Tampão Redutor (TRD)

Para a determinação de bactérias anaeróbias totais, primeiro utilizou-se de tubo de ensaio contendo tampão redutor (TRD). A cada tubo de ensaio foi adicionado 9mL de tampão redutor. Posteriormente, os tubos foram autoclavados por 15 minutos a 121°C. Os ensaios de anaeróbios foram realizados na Universidade Federal de Pernambuco - UFPE-Recife/PE, Departamento de Antibióticos.

Preparação do Meio Tioglicolato

Foram preparados tubos de penicilina com 9mL de meio tioglicolato para posterior inóculo da amostra. Os tubos de penicilina com os meios de cultura foram previamente selados para evitar a troca de oxigênio com o meio ambiente. Estes tubos foram purgados com nitrogênio gasoso até ser

observado a mudança da cor dos meios devido a resazurina para retirar o oxigênio contido no meio e foram autoclavados por 15 minutos a 121°C.

Inóculo

Com uma espátula foi retirada 10g de amostra de resíduo sólido e inoculada em um recipiente de vidro fechado contendo 90mL de Tampão Redutor em condições anaeróbias. A mistura foi submetida a uma suave agitação manual (cerca de 5 minutos) e, em seguida foram realizadas diluições (3 diluições para cada tubo) de 10^{-1} a 10^{-14} , até serem encontradas diluições positivas para as leituras (as diluições eram realizadas comparando-as com os resultados do mês anterior onde se observava o crescimento das bactérias). Para cada diluição foi retirado 1mL de amostra. Em seguida, as amostras foram injetadas nos tubos de penicilina contendo meio tioglicolato, e foram acondicionados em estufa a 37°C, durante 48 horas.

Leitura e cálculo de bactérias anaeróbias totais

Após um período de 48 horas, foi realizada a leitura de bactérias anaeróbias totais considerando-se como positivos os tubos de penicilina que apresentaram turvação no meio inoculado.

A metodologia utilizada para esta análise foi baseada no CETESB (2004). O cálculo da série com tubos considerados positivos foi realizado pelo programa MPN Calculator (VB6 version). Adotou-se como resultado a série em que houve crescimento na maior diluição em triplicatas (apenas a ordem de grandeza).

A Figura 14 apresenta as etapas das análises dos microrganismos anaeróbios totais.



Figura 14: (a) Máquina usada para lacrar os tubos de penicilina; (b) Tubo de nitrogênio; (c) Nitrogênio sendo purgado no tubo de penicilina; (d) Tampão redutor (esquerda) e tubos com meio tioglicolato (direita); (e) Coleta e armazenamento das amostras para anaeróbios; (f) Tubos contendo as diferentes diluições; (g) e (h) Inoculação da amostra nos tubos de penicilina.

3.5.3.2. Bactérias aeróbias totais

Preparação do Tampão Fosfato (T.F)

Para a determinação de bactérias aeróbias totais, utilizou-se tubos de ensaio pequenos 18 x 180 mm com 9mL de T.F, dos quais foram autoclavados por 15min a 121°C.

Inóculo

As amostras de resíduos sólidos urbanos coletadas nas diferentes camadas da célula foram picotadas e 10g de amostra de cada camada foi diluída em 90 mL de água destilada em recipientes separados. Para as análises de bactérias aeróbias totais foi usado tampão análises do foi diluída em tampão fosfato- diluições de 10^{-1} até 10^{-6} (Figura 15). Das diluições 10^{-3} a 10^{-6} foi retirado 0,1ml da amostra e com o auxílio de uma alça de Drigalski esta amostra foi espalhada em toda a superfície da placa (3 repetições para cada tubo selecionado) com meio "Plate Count Agar (PCA)". Após este procedimento as placas foram colocadas em estufa a 36,5°C, durante 48 horas. Em seguida foi realizada a contagem do número de colônia (Unidade Formadora Colônia) (APHA, 1998).

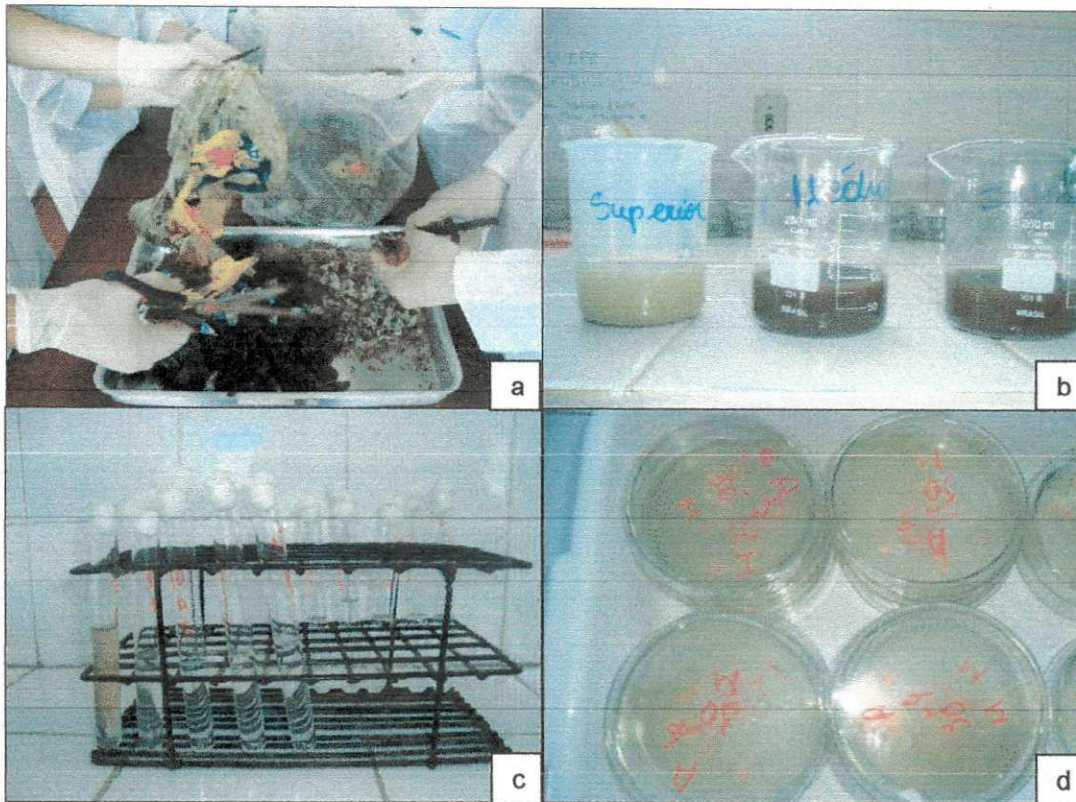


Figura 15: (a) Amostras de resíduos sólidos coletadas sendo picotadas; (b) Recipientes com as amostras diluídas nas diferentes camadas; (c) Tubos com as amostras diluídas no Tampão Fosfato; (d) Placas com os meios de aeróbios.

Contagem de bactérias aeróbias totais

Após o período de 48 horas, verificou-se em qual diluição foi possível fazer a melhor contagem de organismos em placas (triplicatas). Posteriormente, na diluição escolhida, fez-se o cálculo efetuando-se a média do número de colônias das três placas multiplicando pela diluição correspondente.

O método de contagem em placa é a técnica mais utilizada na determinação do tamanho de uma população bacteriana. A grande vantagem deste método é que as células viáveis são quantificadas.

3.5.3.3. Potencial Hidrogênionico (pH)

De acordo com Lima (2004) o valor do pH pode ser definido como o logaritmo da concentração de íons de hidrogênio na mistura de uma analítica e água. É um termo que expressa a intensidade da condição ácida ou básica

de um determinado meio (SILVA e OLIVEIRA, 2001). A análise quantitativa do pH é fundamentado na diferença de potencial existente entre uma solução aquosa e uma superfície de vidro quando em contato. Desta forma, o ph pode ser determinado pela medição desta voltagem.

A determinação do pH foi realizada eletrometricamente com a utilização de um potenciômetro e eletrodos. O princípio da medição eletrométrica do pH foi a determinação da atividade iônica do hidrogênio, utilizando o eletrodo padrão de hidrogênio, que consiste de uma haste de platina sobre o qual o gás hidrogênio flui a uma pressão de 101kPa (APHA, 1998).

3.5.3.4. Teor de Umidade

Para determinação do teor de umidade foi utilizado a metodologia segundo Manassero *et al.* (1996), da qual o teor de umidade foi determinado pelo método da base úmida, o mais comumente utilizado em resíduos sólidos. Uma quantidade representativa da amostra dos resíduos sólidos foi pesada e em seguida foi levada a estufa a 60°C por 24 horas; depois desse período realizou-se a pesagem do material seco em balança digital e então determinada à umidade da amostra de resíduos. Desta forma a água contida na amostra foi dada pelo peso perdido durante o processo, sendo o teor de umidade em cada amostra determinado pela Equação 4.

$$w = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad \text{equação (4)}$$

Onde: w = Teor de Umidade (%);

P_i = peso inicial (g);

P_f = peso final (g).

3.5.3.5. Sólidos Voláteis (SV)

A determinação da percentagem de sólidos voláteis presentes nos resíduos sólidos foi realizada segundo (WHO, 1979). Depois do processo de

teor de umidade, o material foi levado a mufla até atingir gradativamente 550° C pelo período de duas horas, e em seguida foi resfriada, para encontrar o peso seco do material. O teor de sólidos voláteis da amostra foi determinado de acordo com a equação 5. Segundo Lima (2004) a fração de matéria que se volatiliza no processo é definida como Sólidos Voláteis (SV). Podem-se considerar como Sólidos Voláteis o total de matéria orgânica contida nos resíduos sólidos.

$$\%SV = \frac{P_i - P_f}{P_i} \times 100 \quad \text{equação (5)}$$

Onde: %SV=Sólidos Voláteis (%);

P_i = peso inicial (g);

P_f = peso final (g).

3.5.3.6. Ácidos Voláteis

Os ácidos voláteis foram determinados utilizando-se a metodologia do Standard Methods (APHA, 1998), na qual se calibrou o pH para 3,0 e em seguida a amostra foi levada a fervura até reduzir o seu volume à metade. Após esfriar, novamente sobre agitação, elevou-se o pH para 4,0 com NaOH. Por fim, foi medido o volume de hidróxido de sódio necessário para calibrar o pH a 7,0. Desta forma os ácidos voláteis foram calculados a partir da Equação 6.

$$AV = \frac{N \times VT}{V_A} \times 60000 \quad \text{equação (6)}$$

Onde: AV = ácidos voláteis (mgH_{AC}/L);

VT = volume de NaOH gasto na titulação (mL);

V_A = volume da amostra (mL);

N = normalidade do NaOH (N)

3.5.3.7. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅)

A análise de demanda bioquímica de oxigênio de acordo com Alcântara (2007) indica a quantidade de oxigênio de uma determinada amostra de lixiviado consumido por meio de reações biológicas. A DBO representa a quantidade de oxigênio consumido para oxidar a matéria orgânica através da biodegradação aeróbia.

Segundo Lima (2004) a demanda bioquímica de oxigênio pode ser definida como a quantidade de oxigênio requerida durante a estabilização da matéria orgânica disponível e a matéria orgânica oxidável pela ação biológica aeróbia.

O teste da DBO é utilizado para determinar o potencial poluidor de líquidos em termos do consumo de oxigênio que os mesmos necessitarão se forem despejados em líquidos em que existam condições aeróbias. Esse teste é um dos mais importantes para as atividades de controle de poluição de líquidos, além de ser indispensável nos trabalhos de regulamentação de qualidade de líquidos e em estudos para avaliar a capacidade de depuração de líquidos percolados.

O teste da DBO é essencialmente um bioensaio, baseado na medida do oxigênio consumido por organismos vivos, bactérias em sua maioria, que utilizam matéria orgânica presente nos despejos. A completa estabilização de determinado despejo pode requerer um período longo demais para efeitos práticos e, portanto, o período de 5 dias na determinação da DBO tem sido aceito como um padrão satisfatório para sua estimativa (SILVA e OLIVEIRA, 2001).

A Demanda Bioquímica de Oxigênio foi determinada utilizando-se o método sem sementeira do Standard Methods (APHA, 1998).

Inicialmente diluiu-se à amostra em uma proporção de 1:10. Foram utilizados dois frascos apropriados para cada amostra e em cada um foram colocados 5 mL da amostra diluída. Foi adicionado água de diluição até completar o volume do frasco. A água de diluição foi preparada adicionando 1mL de tampão fosfato, sulfato de magnésio, cloreto de cálcio e cloreto férrico para cada litro de água destilada armazenada a 20 °C em incubadora.

Com o oxímetro, devidamente calibrado, foi medido o nível de oxigênio inicial em um dos frascos de cada amostra. O outro frasco foi selado hidricamente e levado a incubadora por 5 dias. A cada dia completa-se o selo (feixe) hídrico e ao quinto dia o processo de aferição do oxigênio dissolvido foi repetido, medindo-se o oxigênio dissolvido após os 5 dias de incubação. A DBO foi encontrada através da diferença inicial e final das leituras de oxigênio dissolvido (Equação 7).

$$DBO(mgO_2/L) = (OD_i - OD_5) \times \left(\frac{VF}{VA} \right) \quad \text{equação (7)}$$

Onde: DBO_5 = demanda bioquímica de oxigênio (mgO_2/L);

OD_i = oxigênio dissolvido inicial;

OD_5 = oxigênio dissolvido após 5 dias;

VF = volume do frasco;

VA = volume da amostra.

3.5.3.8. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) pode ser expressa como a quantidade de oxigênio necessária para oxidar quimicamente todos os compostos sujeitos a esta reação (oxi-redução) presentes em uma determinada amostra. A DQO é diretamente proporcional a poluição de um corpo d'água, ou seja, rios altamente poluídos têm DQO elevada. Esta representa um dos principais parâmetros para quantificação de contaminantes nos líquidos percolados, indicando a carga de matéria orgânica transportada e a quantidade de oxigênio necessária para sua estabilização. Uma análise mais específica mostra que a medida da demanda química de oxigênio serve como um importante parâmetro na avaliação do processo de decomposição, em particular, na compreensão dos efeitos da lixiviação microbiana (MEIRAb, 2009; MONTEIRO, 2003).

Segundo Alcântara (2007) a DQO representa de modo indireto, a quantidade de oxigênio consumido num processo de degradação química da

matéria orgânica dissolvida, presente no lixiviado, seja ela biodegradável ou não.

A DQO foi determinada utilizando-se o Método Titulométrico - Refluxo Fechado do Standard Methods (APHA, 1998). Em um tubo foram colocados 1,5 mL da solução digestora; 2,5 mL da amostra e 3,5 mL da solução catalisadora. A mistura foi levada a um bloco de digestão a 150°C por 2 horas e ao final deste processo as amostras foram retiradas e submetidas ao resfriamento. Em seguida, a mistura foi transferida para um erlenmeyer de 100 mL, a esta foi adicionada uma gota de solução indicadora de ferroína, e titulada com Sulfato Ferroso Amoniacal (SFA) em solução, até atingir o ponto de viragem em que foi percebida a cor castanha. A prova padrão foi preparada utilizando-se 3,5 mL de ácido sulfúrico PA, com agitação contínua, até esfriar. Em seguida foi titulada com a solução de SFA. Logo com a diferença de volume dessas amostras foi determinado a DQO, de acordo com a Equação 8.

$$DQO(mgO_2 / L) = \frac{(VPB - VPA) \times 1000}{VP} \quad \text{equação (8)}$$

Onde: DQO = demanda química de oxigênio (mgO₂/L);

VPB = volume da solução de sulfato ferroso amoniacal gasto para titular a prova em branco (mL);

VPA = volume de solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na amostra (mL);

VP = volume de solução de sulfato ferroso amoniacal gasto na prova padrão (mL).

3.6. Análises Descritivas e de Componentes Principais

Inicialmente foi realizado um estudo descritivo das variáveis envolvidas no processo. Este estudo objetivou conhecer previamente o

comportamento dessas variáveis com relação à estrutura do seu histograma, as medidas de tendência central e dispersão. Em seguida foi analisada a situação de normalidade dos dados usando o teste estatístico não paramétrico de Kolmogorov-Smirnov para a sequência do estudo estatístico.

Para o estudo estatístico multivariado dos dados, utilizou-se inicialmente, uma matriz de correlação de Pearson. O critério adotado para seleção de variáveis em cada nível foi que houvesse uma correlação de pelo menos 70% entre a coluna da variável e pelo menos duas outras variáveis.

A análise de componentes principais (ACP) foi realizada com as variáveis que apresentaram as melhores correlações de acordo com o critério de escolha da matriz de correlação relatada no parágrafo anterior. Foram observados os gráficos de Scarplot, o gráfico da primeira componente principal versus a segunda componente principal, a matriz de correlação de Pearson e a contribuição de cada variável na componente principal.

Para estas análises foram utilizados os programas STATISTICA FOR WINDOWS 6.0, SPSS FOR WINDOWS 13 e o R. 2. 12.1.

O estudo estatístico multivariável foi realizado, inicialmente, fazendo uma matriz de correlação geral (com todos os dados analisados) para verificar o nível de relação entre as variáveis. A partir desta matriz, foram eliminadas as variáveis que apresentavam correlações abaixo de 0,7 para menos de duas variáveis. Em seguida, foi feita uma ACP para estudar a formação dos grupos de variabilidades equivalentes. Desta forma, pôde-se avaliar a distância de dispersão dos dados estatísticos.

Estes dados estatísticos são ferramentas importantes, pois comprovam os resultados e as relações existentes entre as diferentes variáveis.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Caracterização da célula experimental dos Resíduos Sólidos Urbanos

4.1.2. Caracterização física

A caracterização física dos resíduos envolveu a composição gravimétrica, a composição volumétrica solta e compactada dos resíduos na célula experimental.

4.1.2.1. Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos

A composição gravimétrica é uma ferramenta importante na interpretação do comportamento dos resíduos sólidos urbanos e expressa, em percentual, a presença de cada componente, em relação ao peso total da amostra dos resíduos.

A Figura 16 apresenta os resultados obtidos da composição gravimétrica. Os dados obtidos mostram que a maior parte dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande – PB é formado por matéria orgânica putrescível, atingindo um valor aproximado de 66% (percentagem em peso) do total dos resíduos colhidos na cidade. Esse valor é maior se comparado com a média nacional que correspondem a 60%. Percentuais maiores de matéria orgânica podem indicar um menor desenvolvimento econômico da região, pois cidades mais desenvolvidas têm percentuais menores de matéria orgânica (PEREIRA *et al.*, 2010).

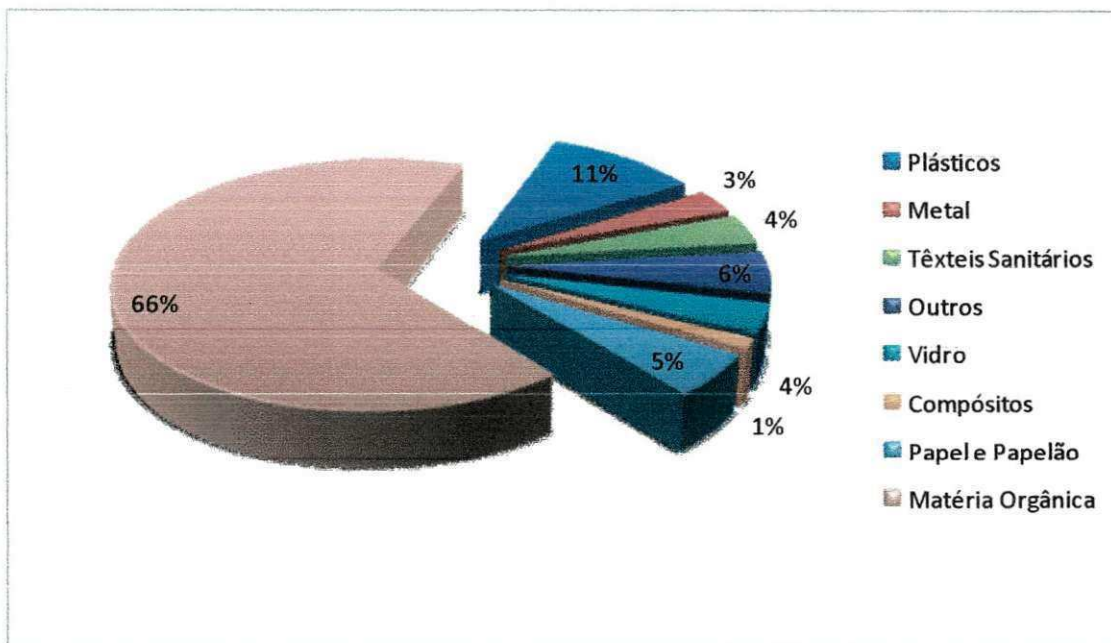


Figura 16: Composição gravimétrica dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB, 2009.

Uma comparação feita entre diversos países do mundo mostra que os resíduos domiciliares brasileiro possuem uma das taxas mais elevadas de detritos orgânicos em sua composição, sendo caracterizado, portanto, como resíduos que produzem grande quantidade de chorume (MARIANO *et al.*, 2009). Isto corrobora com os resultados obtidos na composição gravimétrica, onde a maior parcela encontrada foi de 66% de matéria orgânica.

O grande percentual de matéria orgânica presente nos resíduos de Campina Grande corrobora com Oliveira (1999) que relatou que a produção de resíduos de um município não varia significativamente em função das estações do ano, mas verificou que onde residem comunidades de baixa renda a produção de material orgânico é maior, e nas de poder aquisitivo elevado as proporções de papel são maiores. Ela relata também que a quantidade de matéria orgânica contida nos resíduos sólidos é inversamente proporcional ao desenvolvimento e evolução das cidades, e que a percentagem de papel, plástico, metal e vidro aumentaram com o passar dos anos, sendo esta a tendência de geração dos RSU pelas comunidades.

Esta composição de matéria orgânica elevada favorece o desenvolvimento de microrganismos, dentre eles, as bactérias aeróbias e as

anaeróbia totais, responsáveis pela biodegradação dos resíduos sólidos (OLIVEIRA, 1999).

Os resultados de composição gravimétrica mostram que a matéria orgânica atingiu um valor aproximado de 66% e os plásticos de 11% (percentagens em peso) do total dos resíduos. O alto percentual de matéria orgânica pode indicar numa maior geração de biogás, o que justificaria a utilização para a matriz energética e lixiviado. A presença de plásticos não foi elevada neste tipo de composição devido as suas baixas massas específicas que contribuem para um menor valor em seu peso.

É importante, também, salientar que o percentual de plásticos, papéis e papelão (Figura 19) também tiveram valores significativos. No caso específico de plásticos a percentagem em peso é de apenas 11%, mas em volume representou 38% (Figura 20) do enchimento da célula experimental. Pode-se dizer que esses dados são importantes para direcionar a gestão de resíduos da cidade e têm muita significância quando se fala em potencial de reciclagem. Assim, evidencia-se através dos dados, que o programa de coleta seletiva e reciclagem podem não está sendo eficaz na cidade ou está ocorrendo de maneira isolada. Mas talvez, o mais importante é que a vida útil de um aterro de resíduos sólidos pode ser aumentada se dados como esses forem enviados para os responsáveis pela gestão de resíduos sólidos urbanos da cidade (LEITE *et al.*, 2008; PEREIRA, *et al.* 2010).

De acordo com Sousa *et al.*, (2007) a área de estudo, o município de Campina Grande, produz em média 240 toneladas por dia de RSU, com taxa de produção *per capita* de aproximadamente 540g. hab⁻¹. dia⁻¹ dos quais 80% apresentam capacidade de reaproveitamento. Contudo o município de Campina Grande dispõe de poucas alternativas tecnológicas para disposição e reaproveitamento dos resíduos coletados.

4.1.2.2 Composição volumétrica dos resíduos sólidos urbanos

A Figura 17 apresenta os resultados obtidos por meio da composição volumétrica dos resíduos sólidos soltos e a Figura 18 apresenta os resultados obtidos da composição volumétrica dos resíduos compactados

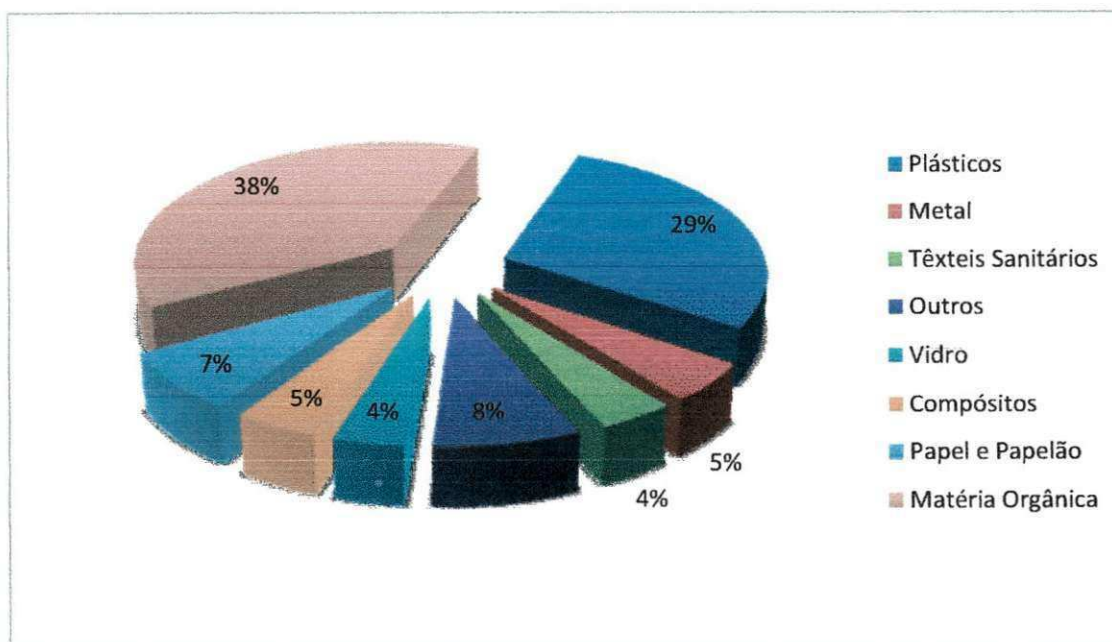


Figura 17: Composição volumétrica dos resíduos sólidos urbanos soltos da cidade de Campina Grande-PB, 2009.

Os resultados obtidos pela composição volumétrica dos resíduos soltos (Figura 17) apresentam que as maiores percentagens dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande são formados por matéria orgânica putrescível e plásticos, com valores de 38% e 29%, respectivamente. De acordo com Lima (2004), o teor de matéria orgânica contida no lixo é maior em países em desenvolvimento e suas características podem variar de uma região para outra. Com relação ao alto teor de plásticos presentes nos resíduos sólidos, pode ser justificado principalmente, por falta de uma triagem preliminar e também por falta de políticas que incentivem a coleta seletiva na cidade e a sensibilização da população. Os plásticos podem formar bolsões (micro-regiões) que podem prejudicar determinada região do aterro, além de comprometer o crescimento dos microrganismos degradadores da matéria orgânica.

O resultado obtido na composição volumétrica dos resíduos compactados foi semelhante ao apresentado para os resíduos soltos, alcançando valores para matéria orgânica putrescível de 37% e plásticos de 27% como pode ser verificado na Figura 18. Alguns autores relatam que os plásticos podem atuar nos aterros sanitários como matriz de reforço fornecendo uma maior estabilidade em suas camadas (MELO, 2011).

Foi observada uma quantidade significativa de diferentes tipos de plásticos no momento do enchimento da célula experimental. Estes plásticos podem dificultar a biodegradação dos resíduos orgânicos uma vez que, demoram décadas e até centenas de anos para sofrer total degradação, além de criar bolsões impermeáveis impedindo o processo de lixiviação na célula. Pôde-se ainda observar que os plásticos dificultavam a retirada de amostras durante as coletas, mostrando o seu papel de agregação dos demais compostos no interior da célula experimental de resíduos.

No caso dos resíduos soltos e compactados, os resultados obtidos para papéis e papelões, compósitos, têxteis sanitários, vidros, metais e outros totalizaram menos de 40% do volume dos resíduos indicando menor representatividade na caracterização física, porém não menos importante.

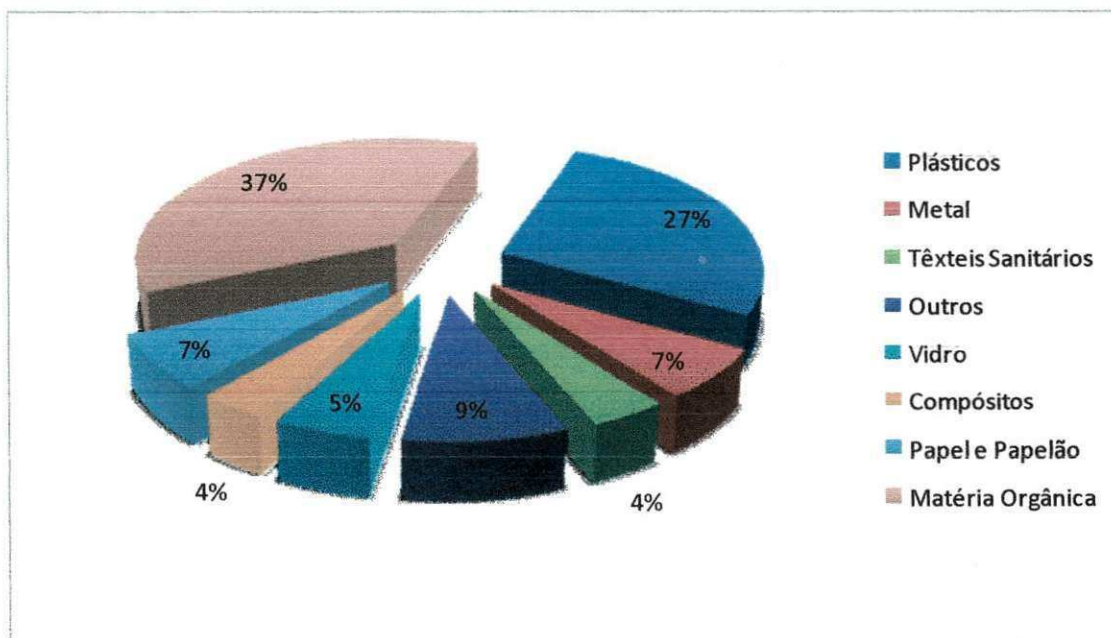


Figura 18: Composição volumétrica dos resíduos sólidos urbanos compactados da cidade de Campina Grande, 2009.

Um ponto muito importante, que deve ser discutido é em relação à composição volumétrica da matéria orgânica tanto solta (38%) quanto compactada (37%) ocupada no interior da célula experimental, o que poderá contribuir para a decomposição e aumento da presença de microrganismos nesta célula. Segundo Melo (2011) a compactação de $0,7\text{ton.m}^3$ encontrada na célula experimental implica num bom funcionamento mecânico e biodegradativo. Uma compactação muito pequena pode ocasionar grandes

distúrbios mecânicos em aterro, já que os vazios dos resíduos sólidos seriam maiores, ocasionando recalques ou redução de altura dos resíduos, porém não representativos da realidade. Entretanto em períodos de chuvas estes vazios acumulariam líquidos em seu interior, o que dificultaria os recalques. Uma pequena compactação pode direcionar maior quantidade de líquidos por caminhos preferenciais e maiores quantidades de umidade podem afetar a degradação da matéria orgânica devido a fatores de interação enzima-substrato, ou seja, a umidade excessiva inibiria o contato das enzimas aos substratos.

Quanto à composição volumétrica dos resíduos observou-se que o teor de plásticos (27% compactado) foi maior quando comparado com a composição gravimétrica (11%), mostrando que, apesar de ser um material leve, apresenta maior volume. Estes percentuais elevados muitas vezes estão relacionados à falta de programas de reciclagem na cidade e à falta de sensibilização da população local, fatos estes que poderão levar a uma diminuição do tempo de vida útil de um aterro sanitário local (LEITE, 2008).

Os resultados demonstram que a quantidade de plásticos, papéis e matéria orgânica varia bastante quando o percentual em massa é convertido para volume, indicando que estes materiais podem influenciar no comportamento de um aterro sanitário. Garcez (2009) relatou que os materiais plásticos podem dificultar a compactação dos resíduos e prejudicar a decomposição dos materiais putrescíveis criando camadas impermeáveis que afetam as trocas de líquidos e gases gerados no processo de biodegradação da matéria orgânica quando são lançados em aterros sanitários.

Na célula experimental estudada a compactação provavelmente, teve influencia positiva no interior da massa de resíduos, já que a contagem de microrganismos não variou significativamente nas diferentes camadas da célula experimental.

4.1.3. Caracterizações Bacteriológicas

4.1.3.1. Bactérias aeróbias totais

A Figura 19 apresenta os resultados do comportamento das bactérias aeróbias totais ao longo do tempo de monitoramento da célula experimental.

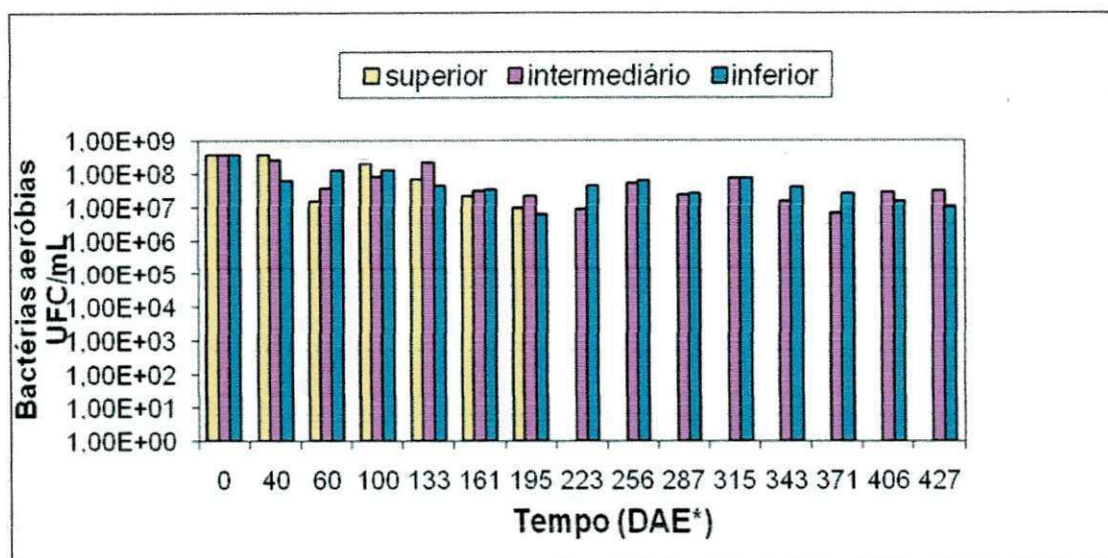


Figura 19: Contagem de bactérias aeróbias totais nas diferentes camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.

DAE* - Dias Após o Enchimento

De acordo com a Figura 19 pode-se observar que houve um decréscimo na contagem das bactérias aeróbias totais, desde o início ao final do período de monitoramento. Numa primeira análise foi verificado que ocorreu uma redução na ordem de grandeza destas bactérias com o passar do tempo (de 10^9 para 10^7) nas diferentes camadas. Esse fato pode estar relacionado com a diminuição da quantidade de matéria orgânica, decorrente da biodegradação e também comparando aos valores da DBO (Figura 25), uma vez que, as bactérias dependem de fontes nutricionais para se desenvolverem, além da quantidade de oxigênio que provavelmente está sendo reduzido ao longo do tempo (ARAÚJO *et al.*, 2010). Pode-se dizer que a presença destas bactérias está intimamente relacionada com a quantidade de matéria orgânica. Monteiro (2003) relata que com a

diminuição da matéria orgânica nos resíduos sólidos ocorre também a diminuição deste grupo de bactérias.

Os resultados físico-químicos apresentados no item 4.1.4, nas figuras 23, 25, 26 com relação aos parâmetros sólido voláteis, demanda bioquímica de oxigênio e demanda química de oxigênio embora tenham diminuído com o tempo, não necessariamente interferem na redução destas bactérias, pois dentro de uma célula experimental existem muitos compostos que podem servir como fonte nutricional. Pode ocorrer a lixiviação, permitindo que nutrientes, matéria orgânica e outros compostos passem a ser consumidos. Leite (2008) e Garcez (2009) relataram que as camadas inferiores de resíduos em alguns casos podem apresentaram um número de bactérias aeróbias consideráveis mesmo que, nestas camadas haja menor quantidade de oxigênio dissolvido.

Logo após os 40 dias de monitoramento já se pode observar na Figura 19 um decréscimo na contagem das bactérias o que pode estar associado ao consumo de matéria orgânica nas primeiras fases de degradação.

Na camada superior, a partir dos 223 dias de monitoramento não foi possível realizar as coletas das amostras, impossibilitando a realização das análises de aeróbios totais devido ao peso da camada de cobertura, o que inviabilizou este ponto de coleta. Foi observada a presença de solo e plásticos nas amostras coletadas nesta camada a partir dos 223 dias, o que também favoreceu ao decaimento das bactérias aeróbias neste ponto de coleta, já que estes microrganismos dependem de fontes nutricionais para se desenvolverem.

Um aspecto importante a ser mencionado foi à grande quantidade de macrovetores (principalmente baratas) encontrados nas coletas, nas camadas intermediárias e inferiores. Isto reforça a teoria de que tanto em aterro em escala real como experimental, pode ter a presença de oxigênio em caminhos preferenciais ou durante a abertura nos pontos de coleta das amostras. Pode também ter ocorrido uma falta de vedação mais eficiente nos pontos de coleta e algumas fissuras provocadas na célula experimental próximas a estes pontos, o que pode ter facilitado a entrada de ar e interferindo no comportamento das bactérias aeróbias, que apresentou

durante todo o período analisado uma variação discreta. De acordo com Garcia *et al.* (2011) as baratas possuem um mecanismo no qual a troca gasosa com o meio externo é realizada pelo sistema traqueal, que consiste de tubos cuticulares muito finos que se estendem por toda a superfície do corpo. Este sistema é um mecanismo muito eficiente para a entrega de oxigênio aos tecidos metabolicamente ativos. Primeiro, porque a troca gasosa com o meio externo acontece por difusão de oxigênio no ar que é muito mais rápida que a difusão na água e segundo, porque o sistema traqueal apresenta uma imensa área superficial para troca gasosa. Estas características permitem aos insetos uma eliminação dos gases absorvidos muito mais rápida que nos vertebrados. As baratas também gostam de lugares quentes e úmidos e muitas das espécies silvestres participam da cadeia alimentar como saprófagos, por se alimentarem de material animal e vegetal morto. A maioria das espécies de baratas é onívora, como por exemplo, as existentes em ambientes urbanos. As baratas urbanas são capazes de viver três dias sem água e dois meses sem comida. Mas várias baratas conseguem sobreviver cerca de um mês sem comida e sem água e aproximadamente dois meses só com a água (LIVESCIENCE, 2011).

De acordo com Mendes (2009) o lixo por conter substâncias de teor alto de energia, e por oferecer disponibilidade de água, alimento e abrigo torna um dos lugares preferidos por vários tipos de organismos vivos, ao ponto de algumas espécies usufruírem como nicho ecológico, onde se classifica dois grandes grupos que habitam o lixo: os macrovetores, como os ratos, as baratas, as moscas e mesmo animais de maior porte, como cães e aves.

4.1.3.2. Bactérias anaeróbias totais

A Figura 20 mostra o NMP/100mL de bactérias anaeróbias por 100mL aumentou com o tempo e nas três camadas. Na camada intermediária e inferior houve um aumento de 10^3 no tempo inicial (dia do enchimento) da coleta para 10^{15} passados 406 dias. Com 427 dias de monitoramento foi observado o decréscimo desses microrganismos de 10^{15} para 10^{12} . Este decréscimo pode ter ocorrido provavelmente pela diminuição da matéria

orgânica ou pode tratar-se de uma oscilação pontual na contagem destas bactérias, já que os resíduos sólidos são bastante heterogêneos.

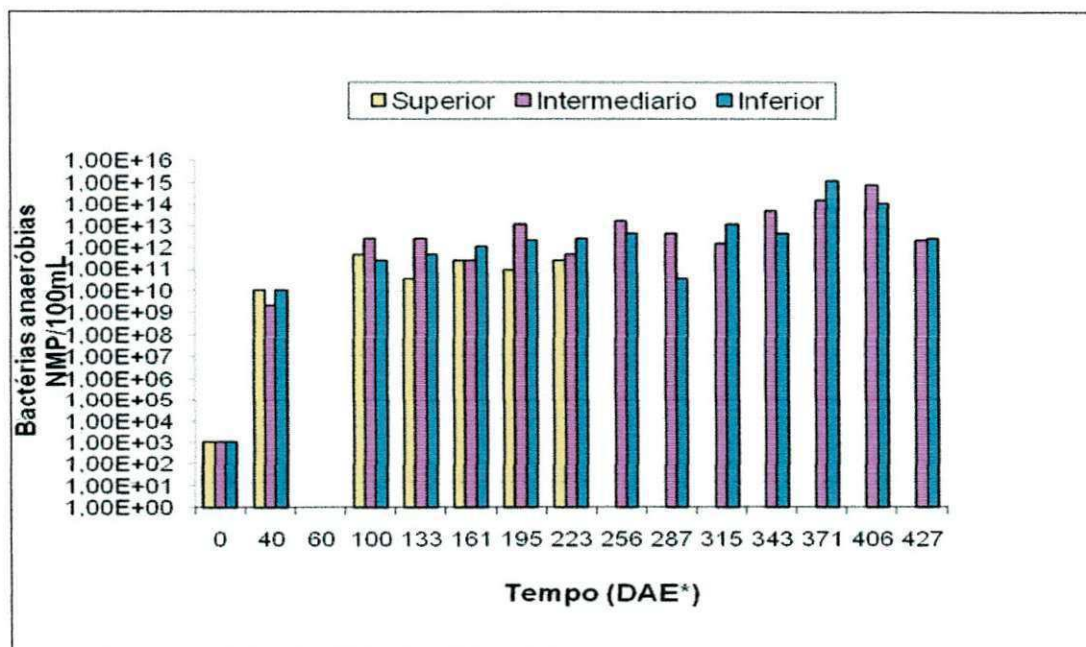


Figura 20: Contagem de bactérias anaeróbias totais nas diferentes camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.

DAE* - Dias Após o Enchimento

Ao longo do tempo e com a variação da profundidade das camadas, houve um aumento das bactérias anaeróbias totais, pois pode ter ocorrido a diminuição de oxigênio dissolvido com conseqüente decréscimo das bactérias aeróbias (Figura 19).

Não foi possível realizar as análises de anaeróbios passados os 60 dias por problemas operacionais com o tubo de nitrogênio, pois este gás é indispensável para a realização destas análises já que os meios precisam ser purgados com o nitrogênio para expulsar o gás oxigênio presente nos tubos de penicilina.

A contagem de bactérias na camada superior foi interrompida após os 223 dias por causa dos recalques sofridos pela massa de resíduo devido ao peso da camada de cobertura, além de serem retiradas quantidades significativas de solo, o que inviabilizou a análise nestes pontos de coleta. Durante as coletas, foi retirada certa quantidade de plásticos o que pode ter dificultado a biodegradação por essas bactérias.

De acordo com Leite e Povinneli (1999) os processos anaeróbios tratam um número maior de substratos, devido ao fato das bactérias anaeróbias apresentarem características especiais, dentre as quais se podem citar a pequena taxa de utilização de energia para conversão em massa celular, sendo que grande parte se destina à formação de biogás. Possivelmente está ocorrendo à produção de metano, fase metanogênica de decomposição anaeróbia, baseado no comportamento dos microrganismos anaeróbios e com o pH obtido ao longo do período monitorado.

4.1.4. Caracterizações física e físico-químicas

4.1.4.1. Teor de Umidade (base úmida)

O teor de umidade encontrado na célula experimental (Figura 21) nas diferentes camadas e no decorrer do tempo, praticamente, não variou, com exceção da camada superior. Nesta camada devido ao contato direto com o ar atmosférico houve a troca de umidade, calor e energia com o meio externo.

A umidade inicial não foi calculada por problemas operacionais e ajustes de metodologias. Nas camadas superiores e intermediárias este teor esteve acima de 40% que segundo Quezado (2010) esta característica tem influência principalmente nos processos de tratamento e destinação do lixo. O teor de umidade pode variar em função das estações do ano e da incidência de chuvas como também pelas diferentes condições climáticas que variam de um lugar para outro. É importante conhecer tal parâmetro, pois a partir deste pode-se estimar tanto a geração de biogás quanto a capacidade de biodegradação dos resíduos, uma vez que, a presença de água no meio é um fator de extrema importância para a atividade bacteriana.

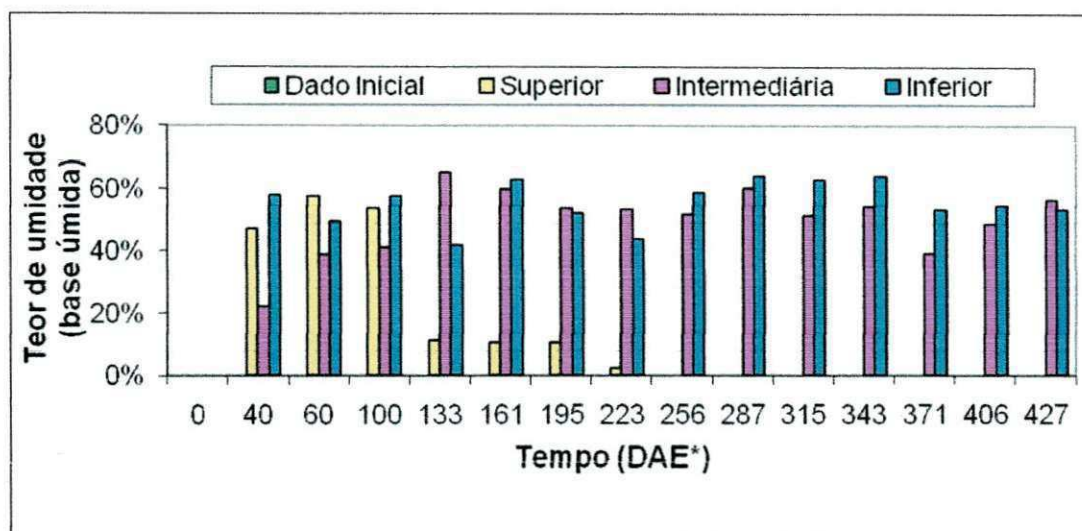


Figura 21: Teor de Umidade nas diferentes camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.
DAE* - Dias Após o Enchimento

Os valores de umidade encontrados nesta pesquisa são propício ao desenvolvimento de microrganismos biodegradadores da matéria orgânica já que estes se encontram na faixa entre 40 e 60%, que segundo Lima (2004) indica que o valor médio do teor de umidade do lixo domiciliar no Brasil é da ordem de 60%. A camada superior foi uma exceção a estes resultados devido à inviabilização deste ponto de coleta após os 223 dias, por apresentar grande quantidade de solo o que dificultou o procedimento. O alto valor de umidade inicial encontrados nesta camada pode estar associado à intensa troca de calor com o meio externo.

Os altos valores de teor de umidade podem ser observados através da composição gravimétrica (Figura16) em que apresentou uma quantidade significativa de matéria orgânica de 66%, a qual favoreceu provavelmente a um elevado teor de umidade dos resíduos. A matéria orgânica contém uma quantidade de água que solubiliza nutrientes requeridos pelos microrganismos em suas atividades além de possibilitar o transporte de enzimas e de outros metabolitos importantes no processo de decomposição.

Embora a presença de água na célula experimental tenha sido associada aos subprodutos da biodegradação, não foi possível detectar a presença de lixiviado, podendo estar relacionado a problemas operacionais como infiltração e retenção de líquido nas camadas superiores pela formação de espaços vazios (bolsões).

4.1.4.2. Potencial hidrogeniônico (pH)

O pH indica as condições ácidas e básicas do meio, e nos resíduos está relacionado com as fases de degradação da matéria orgânica nos sistemas aeróbios e anaeróbios.

A Figura 22 apresenta a variação do pH ao longo do tempo e das camadas superior, intermediária e inferior dos resíduos.

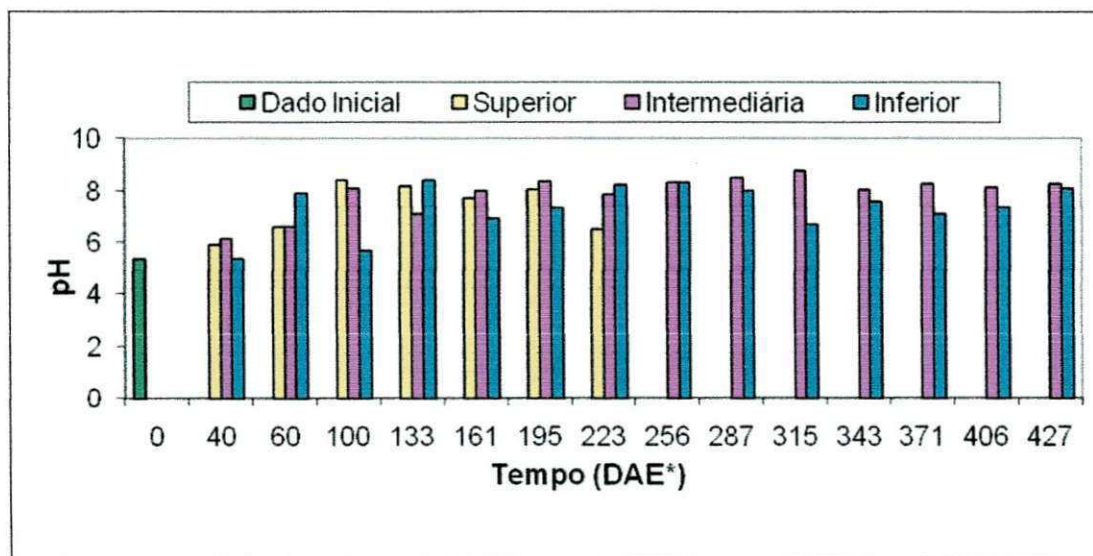


Figura 22: Potencial hidrogeniônico (pH) nas diferentes camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.

DAE* - Dias Após o Enchimento

Os valores de pH medidos nas amostras de resíduos sólidos indicam que no tempo inicial ($t=0$) eles apresentaram características ácidas com pH em torno de 5,5. Após o aterramento dos resíduos, normalmente ocorre a fase de adaptação dos microrganismos, podendo ocorrer oscilações no pH. No caso dos primeiros dias de monitoramento da célula experimental o pH do meio manteve-se na faixa ácida com um leve aumento após 40 dias do fechamento da célula experimental sendo este comportamento típico de aterros de resíduos sólidos urbanos com características semelhantes.

Na fase inicial do processo de degradação, o pH é normalmente mais baixo devido à produção de ácidos pelas bactérias participantes deste processo, mas ao longo do tempo esses ácidos tendem a ser consumidos

pelas bactérias metanogênicas, nesta fase o pH sofre um aumento gradativo (MEIRA, 2009).

As leituras, a partir de 60 dias, apresentaram um aumento nos valores de pH ficando próximos ou superiores a 7,0. Isso pode ser devido ao rápido metabolismo das bactérias aeróbias, consumindo assim materiais facilmente degradados por este grupo. Até os 60 dias de aterramento, a célula experimental provavelmente, passou da fase de hidrólise para as fases subsequentes de degradação. Não se pode afirmar em que fase ocorreu a acidogênese e acetogênese, pois estas fases não estão visivelmente perceptíveis nem tão bem definidas.

Apesar das oscilações nos valores, o que pode ser normal por se tratar de um material bastante heterogêneo, observa-se que a partir dos 133 dias de monitoramento, o valor do pH já se aproxima de valores acima da neutralidade que corresponde a fase de adaptação metanogênica, na qual, segundo Tchobanoglous *et al.* (1993) os valores de pH para esta fase corresponde a uma faixa de 6,8 a 8,0.

Estes dados corroboram com estudos realizados por Alcântara (2007) em que mostram valores iniciais de pH em aterros sanitários em torno de 5 e este permanece até os primeiros meses de deposição dos resíduos. Decorridos alguns anos de aterramento o pH sobe continuamente até chegar a fase metanogênica, com valores superiores a 7,8.

Melo (2011) nos seus estudos na célula experimental monitorada na cidade de Campina Grande-PB afirma que as fases de degradação ocorreram de maneira mais rápida se comparadas a aterros em escala real, provavelmente pela área de superfície ser bem maior que o volume dos resíduos depositados em aterros sanitários, o que facilitou as trocas de calor e energia com o ambiente, aumentando desta forma o metabolismo dos microrganismos.

4.1.4.3. Sólidos Voláteis (base seca)

A Figura 23 mostra que os valores de Sólidos voláteis decaíram significativamente ao longo do tempo principalmente na camada superior da célula experimental que correspondeu a parcelas maiores de 95%. Este alto

valor pode está relacionado com a presença de grande quantidade de solo e pouca matéria orgânica coletados principalmente nos últimos dias de monitoramento desta camada. Enquanto que a camada intermediária e inferior houve uma diminuição de cerca de 60%.

O teor de sólidos voláteis determina de forma indireta a quantidade de matéria orgânica a ser degradada nos resíduos. Desta forma, quanto maior for o teor de sólidos voláteis maior é a quantidade de matéria orgânica a ser degradada (ARAÚJO *et al.*, 2010).

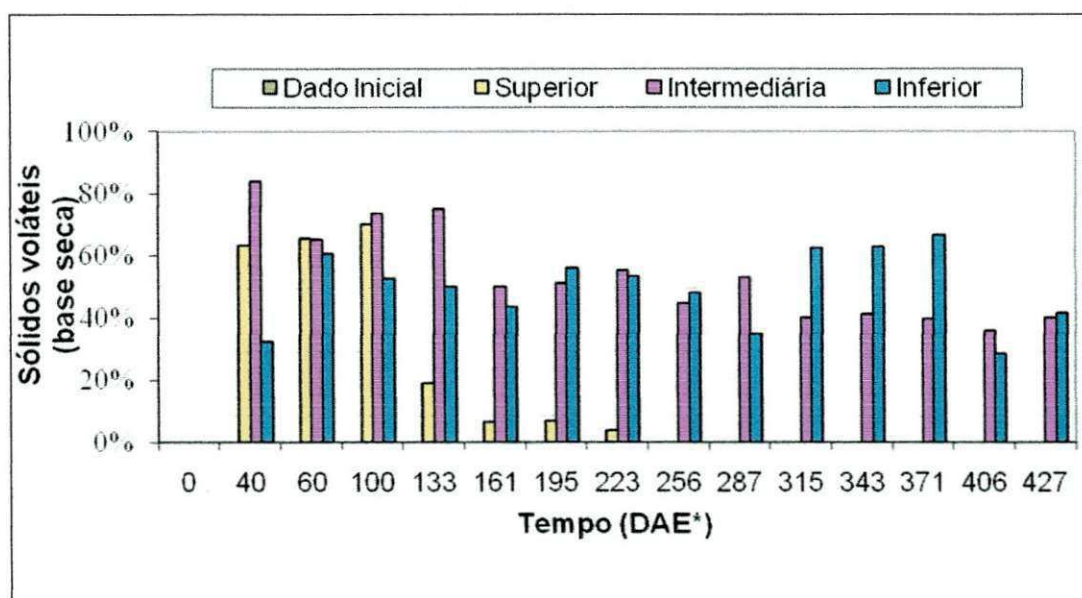


Figura 23: Sólidos voláteis nas diferentes camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.
DAE+ - Dias Após o Enchimento

Na camada superior estes resultados indicam que a diminuição dos sólidos voláteis pode ter ocorrido devido ao peso da camada de cobertura, como também a biodegradação dos resíduos.

Nas camadas intermediárias e inferiores os resultados apresentaram grande variabilidade ao longo do tempo. Isto pode estar relacionado tanto pela degradação da matéria orgânica quanto pela lixiviação das camadas superiores.

Pode-se afirmar com estes resultados que a matéria orgânica vem sendo degradada ao longo do tempo já que ocorre a diminuição dos sólidos voláteis em todas as camadas. Observou-se pela percentagem de sólidos

voláteis que a biodegradação na célula experimental ocorreu de maneira satisfatória.

4.1.4.4. Ácidos Voláteis

Segundo Leite (2008) os ácidos voláteis advêm da solubilização do material particulado e passam a ser substratos ou material tóxico para algumas espécies bacterianas responsáveis pela bioestabilização da matéria orgânica. Os ácidos voláteis são tóxicos para bactérias metanogênicas, segundo Kroecker (1979), a uma concentração em torno de 2000 mgH_{Ac}/L.

A Figura 24 apresenta as concentrações de ácidos voláteis durante o período de monitoramento dos resíduos aterrados.

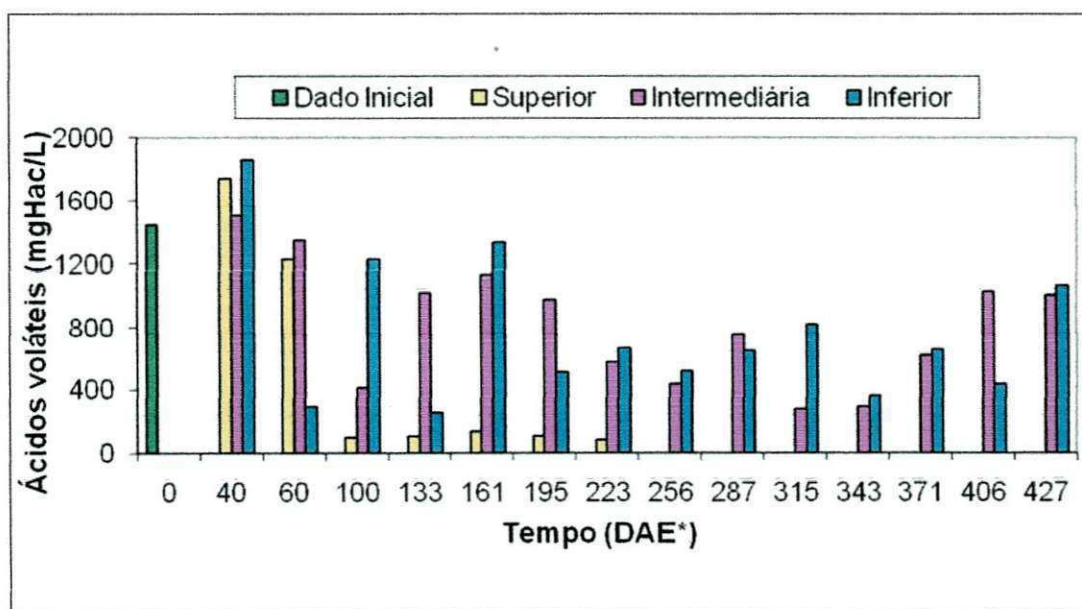


Figura 24: Ácidos Voláteis nas diferentes camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.
DAE* - Dias Após o Enchimento

Na fase inicial de degradação dos resíduos a concentração de ácidos voláteis foi bastante elevada. Ao longo do tempo, os valores dos ácidos voláteis diminuíram, porém, em alguns períodos estes valores variaram podendo estar relacionado com a heterogeneidade dos resíduos sólidos. Esta análise é importante para acompanhar a degradação destes resíduos, bem como, o grupo de bactérias participantes na digestão anaeróbia. O

monitoramento desta variável serve também para avaliar o bom desempenho das bactérias mesmo ocorrendo flutuações em seus valores.

Na camada superior houve um decréscimo acentuado dos valores de ácidos voláteis ao longo do tempo (1440 a 84 mgH_{AC}/ L) que corresponde uma diminuição de 94,2%. Nesta camada foram retiradas quantidades significativas de solo e plásticos o que pode ter comprometido a biodegradação pelos microrganismos.

Nas camadas intermediárias(1440 - 880 mgH_{AC}/ L) e inferiores (1440 - 900 mgH_{AC}/L) também foi observado uma diminuição desta variável de 38,9% e 37,5%, respectivamente.

Mesmo com variações em seus dados, os resultados obtidos assemelham-se aos que foram encontrados nos estudos, em lisímetros, de Leite (2008). Tanto neste trabalho como no da autora citada estes dados estão relacionados ao bom desenvolvimento da biota microbiana.

4.1.4.5. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

A DBO representa a quantidade de oxigênio requerida para a estabilização bioquímica da matéria orgânica presente em uma determinada amostra, durante um período de incubação de 5 dias a uma temperatura de 20°C.

Os resultados das análises deste parâmetro e suas variações ao longo do tempo estão ilustrados na Figura 25, na qual pode perceber que os valores de DBO variaram em uma ampla faixa, de um modo geral, assim como a DQO, cresceram inicialmente e ao passar do tempo de monitoramento foram decaindo moderadamente, podendo ainda ser observados alguns picos a partir dos 315 dias. Estes picos podem está relacionados tanto com a heterogeneidade como também com a lixiviação dos resíduos existente no interior da célula experimental. Porém ao longo do tempo pode-se perceber através da Figura 25 que houve uma redução do seu valor confirmado com a diminuição com os valores de sólidos voláteis (Figura 23).

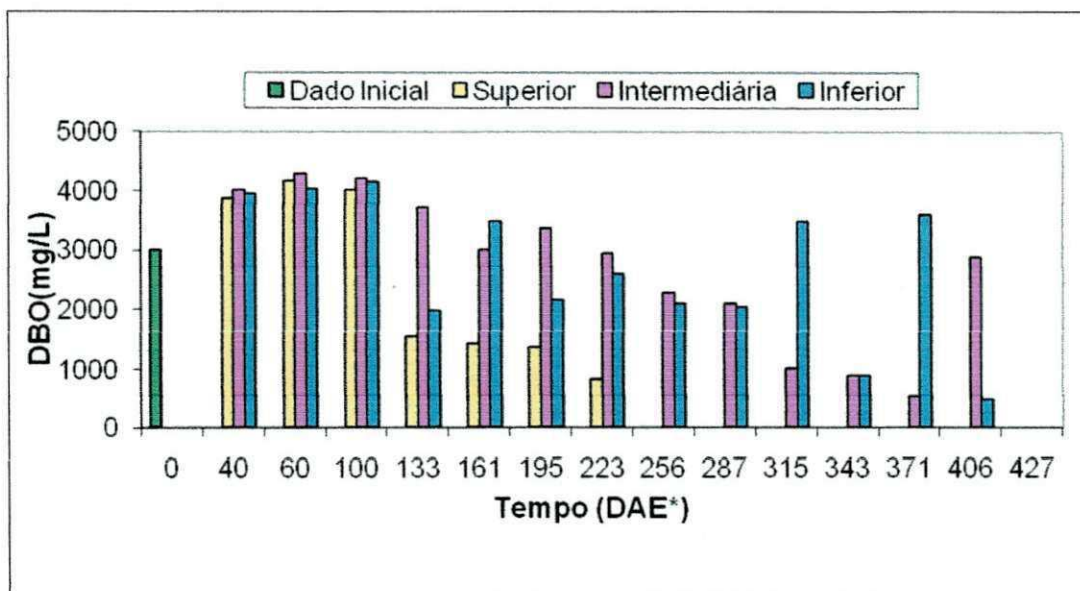


Figura 25: Demanda Bioquímica de Oxigênio nas diferente camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.

DAE* - Dias Após o Enchimento

O valor de DBO obtido inicialmente foi de 3000 mgO₂/L aumentando continuamente em todas as camadas até os primeiros 100 dias de monitoramento. Este fato pode ter ocorrido provavelmente pela presença elevada das bactérias aeróbias totais que estavam presentes e em intensa atividade de degradação.

Após o período dos 100 dias, os valores de DBO diminuíram significativamente, o que já era esperado, haja vista a redução da concentração dos compostos orgânicos com o processo de mudança nas fases de biodegradação contribuindo assim para o aumento do pH.

A amostra superior mostrou variação bastante satisfatória apresentando uma redução de 3875 mgO₂/L para 840 mgO₂/L, compatíveis com a fase metanogênica de degradação esta fase caracteriza-se por valores de pH mais elevados e DBO menores. Isto também pôde ser visualizado para as camadas intermediárias (3000-1710 mgO₂/L) e inferiores (3000-480 mgO₂/L).

Porém comparando-se as faixas de valores obtidos com os citados na literatura, Pfeffer *et al.*(1993), cita valores de DBO para resíduos recentes (<1 ano) entre 7500-28000 mgO₂/L, pode-se perceber que os valores obtidos não chegam a atingir nem o valor mínimo citado por este autor.

Após os 100 dias os valores de DBO diminuíram significativamente, o que pode estar relacionado ao aumento do pH e mudança das fases de biodegradação. Pode-se dizer que a partir dos 100 dias, a biodegradação já estava na fase metanogênica. A fermentação metanogênica caracteriza-se por valores de pH mais elevados e DBO menores, bem como o decréscimo de ácidos voláteis. Nessa fase existe a decomposição dos produtos da fermentação ácida, sendo convertidos em metano (CH_4), CO_2 e água.

4.1.4.6. Demanda Química de Oxigênio (DQO)

A DQO é usada como a medida do oxigênio requerida para a estabilização da matéria orgânica presente em uma determinada amostra susceptível à oxidação através de um forte oxidante químico. A DQO, por sua vez, não indica a natureza do material orgânico, nem tão pouco se diferencia entre materiais orgânicos ou inorgânicos oxidáveis (LEITE, 2008).

A Figura 26 apresenta a evolução da concentração da DQO ao longo do tempo de aterramento. Pode-se observar que os valores de DQO, de um modo geral, cresceram inicialmente de forma suave e depois decresceram ao longo do tempo do monitoramento dos resíduos, indicando com isto que há redução da concentração dos compostos encontrados na amostra analisada.

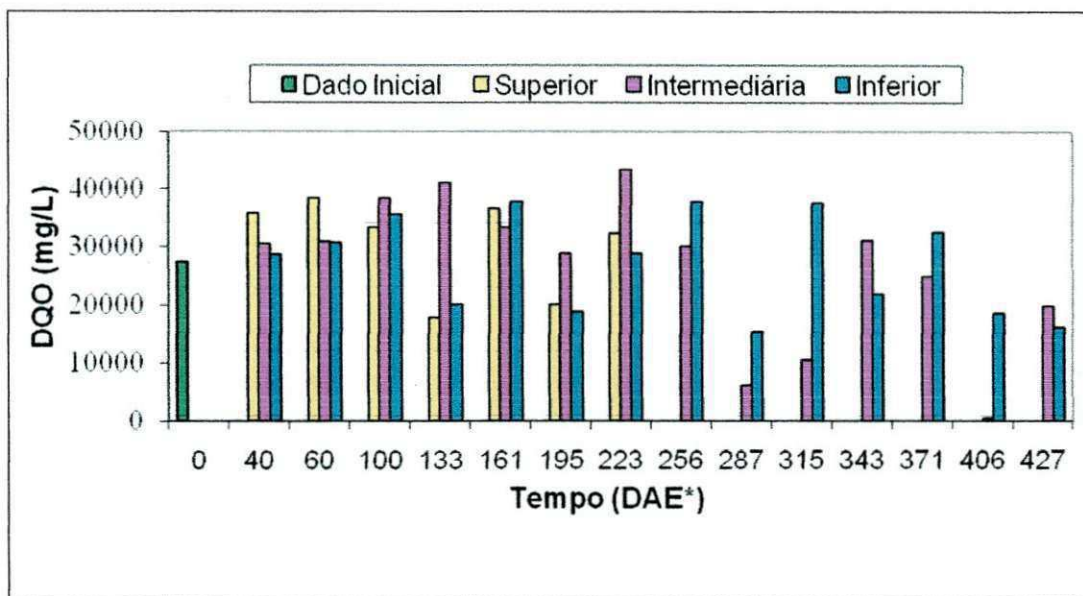


Figura 26: Demanda Química de Oxigênio nas diferentes camadas (superior, intermediária e inferior) em relação ao tempo decorrido, no período de outubro de 2009 a dezembro de 2010.

DAE* - Dias Após o Enchimento

O valor de DQO inicial para a camada intermediária foi de 27310 mgO_2/L permanecendo crescendo aproximadamente até os 223 dias de aterramento, posteriormente a este período pode-se observar que há uma variação ao final do monitoramento desta camada atingindo o valor de 19819 mgO_2/L . A variação inicial e final para a camada inferior foi 27310 mgO_2/L para 16216 mgO_2/L .

Estes dados corroboram com os de sólidos voláteis (Figura 23) os quais também decaíram com o tempo e nas camadas, já que os sólidos voláteis é um parâmetro de medida indireta da quantidade de matéria orgânica a ser degradada na célula experimental.

Já para a camada superior pôde-se perceber que, até o período analisado, esta camada segue a tendência de variação das camadas anteriores, alterando de 27310 mgO_2/L a 32220 mgO_2/L , este fato pode ser explicado devido a esta massa de resíduos está diretamente em contato com a camada de cobertura e podendo ser influenciada pelo ambiente externo, porém não se pode afirmar com clareza que houve um aumento ou diminuição da DQO já que estas análises tiveram que ser interrompidas após os 223 dias de monitoramento, devido a camada de cobertura ter sofrido um recalque brusco, inviabilizando este ponto de coleta.

4.2. Resultados Estatísticos

4.2.1. Estatística descritiva

Para a verificação da normalidade dos dados foi usado o teste de Kolmogorof-Smirnov. Neste teste, adota-se a hipótese nula indicando a normalidade dos dados, portanto se $p\text{-valor} > \alpha$ (nível de significância), os dados seguem uma normal. O α adotado foi de 5%.

A Tabela 1 apresenta os parâmetros dos P-Valores e as condições das variáveis testadas.

Tabela 1: Teste de Normalidade usando o Kolmogorov Smirnov.

Variável	P- Valor	Condição
Bactérias aeróbias	P= 0,2	normal
Sólidos voláteis	P= 0,2	normal
Recalque	P= 0,2	normal

Conforme apresentados na Tabela 1 os resultados de baterias aeróbias, sólidos voláteis e recalque apresentam P-Valor maior que 0,05 o que indica uma tendência a normalidade, sendo possível usar a estatística paramétrica.

4.2.1.1. Histogramas

Foram construídos histogramas de três variáveis selecionadas: bactérias aeróbias, sólidos voláteis e recalque, representadas nas Figuras 27, 28, 29 respectivamente.

Pode-se observar nos histogramas das bactérias aeróbias, nos sólidos voláteis e nos recalques que os resultados obtidos seguem uma distribuição normal.

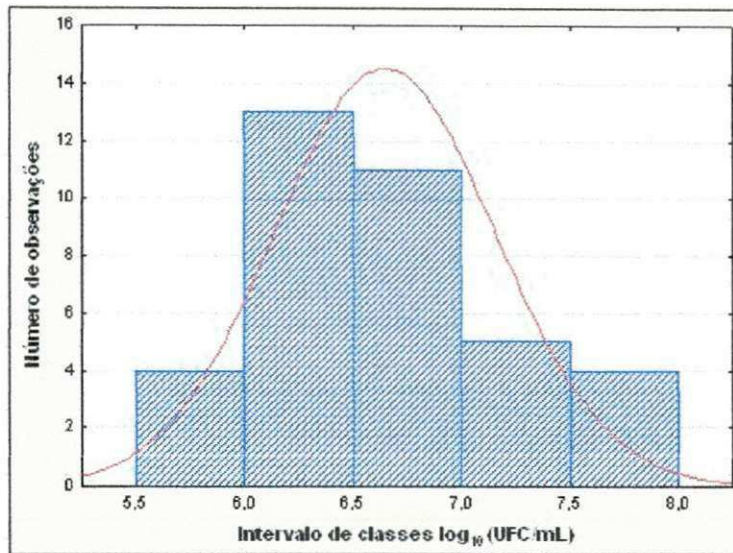


Figura 27: Histograma de bactérias aeróbias apresentando a normalidade dos resultados.

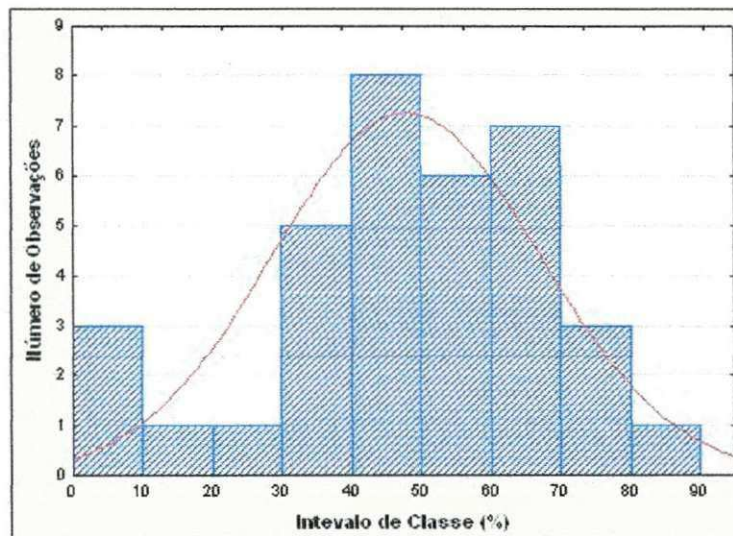


Figura 28: Histograma de sólidos voláteis apresentando a normalidade dos resultados.

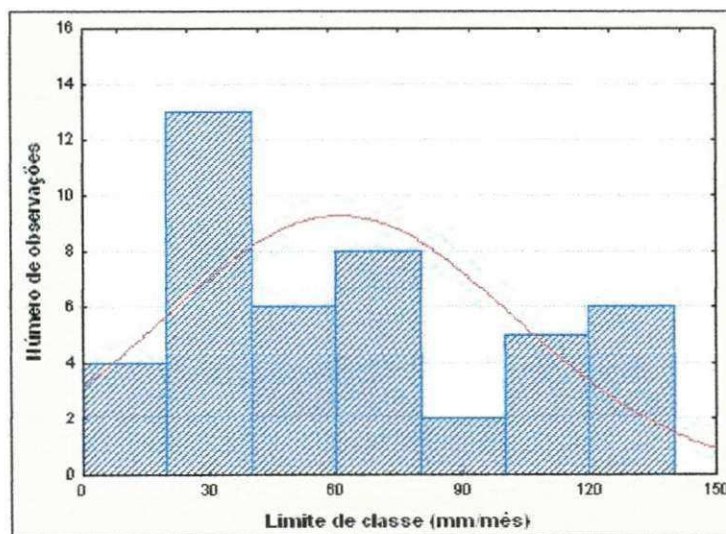


Figura 29: Histograma do recalque apresentando a normalidade dos resultados.

4.2.2 Análises Estatísticas dos Componentes Principais (ACP)

Para o estudo multivariado dos dados usou-se a Análise dos Componentes Principais (ACP) para verificar as correlações entre as seguintes variáveis e a formação de grupos: bactérias aeróbias totais, bactérias anaeróbias totais, pH, teor de umidade, sólidos voláteis, ácidos voláteis, temperatura, DBO, DQO e recalque. Estas variáveis foram selecionadas a partir de uma matriz de correlação com os dados obtidos quando pelo menos duas correlações iguais tiverem valores próximos, iguais ou acima de 0,7. As variáveis que obtiveram tais valores foram a ACP para as correlações.

Para a análise multivariada dos dados, as Tabelas 2, 3 e 4 e as Figuras 30, 31, 32 evidenciam comportamentos distintos nas três camadas analisadas, como serão apresentadas a seguir.

4.2.1. Análise de Componentes Principais da Camada Superior

Na tabela 2 será apresentada a matriz de correlação das variáveis analisadas para a amostra da camada superior.

Tabela 2: Matriz de correlação dos parâmetros analisados para a camada superior.

Variável	Correlação									
	Dias	Bactérias aeróbias	Bactérias anaeróbias	pH	Teor de umidade	SV	DBO	Camada superior	AV	Temp.I
Dias	1,00	-0,97	0,07	0,69	-0,82	-0,86	-0,86	0,99	-0,80	-0,89
Aeróbias	-0,97	1,00	-0,12	-0,76	0,85	0,87	0,89	-0,97	0,88	0,76
Anaeróbias	0,07	-0,12	1,00	0,54	0,39	0,32	0,33	-0,05	-0,49	-0,20
pH	0,69	-0,76	0,54	1,00	-0,35	-0,36	-0,42	0,65	-0,97	-0,62
Teor de umidade	-0,82	0,85	0,39	-0,35	1,00	0,99	1,00	-0,90	0,51	0,51
SV	-0,86	0,87	0,32	-0,36	0,99	1,00	0,92	-0,83	0,53	0,59
DBO	-0,86	0,89	0,33	-0,42	1,00	0,99	1,00	-0,93	0,57	0,57
Camada superior	0,99	-0,97	-0,05	0,65	-0,90	-0,92	-0,93	1,00	-0,77	-0,82
AV	-0,80	0,88	-0,49	-0,97	0,51	0,53	0,57	-0,77	1,00	0,67
Temp.I	-0,89	0,76	-0,20	-0,62	0,51	0,59	0,57	-0,82	0,67	1,00

Pode-se observar pela matriz de correlação (Tabela 2) que as variáveis que tem correlação positiva com as bactérias aeróbias são o teor de umidade, os sólidos voláteis, a DBO, os ácidos voláteis e a temperatura I, demonstrando que quanto maiores ou menores os valores dessas variáveis, maior ou menor serão a quantidade destas bactérias. Desta forma pode-se dizer que estas variáveis apresentaram correlações positivas com as bactérias aeróbias. Já as correlações negativas como os dias, as bactérias anaeróbias, o pH, e a camada superior (recalque) não se correlacionaram com as bactérias aeróbias, demonstrando que estas variáveis pouco contribuíram no comportamento destas bactérias.

Com relação às bactérias anaeróbias houve uma pequena correlação (menor que 0,7) com o pH.

A Figura 30 apresenta o gráfico da ACP para a camada superior que visualiza melhor a correlação entre as diferentes variáveis. Pode-se observar que os fatores 1 e 2 explicam o processo em 95%, representando uma boa percentagem entre as variáveis.

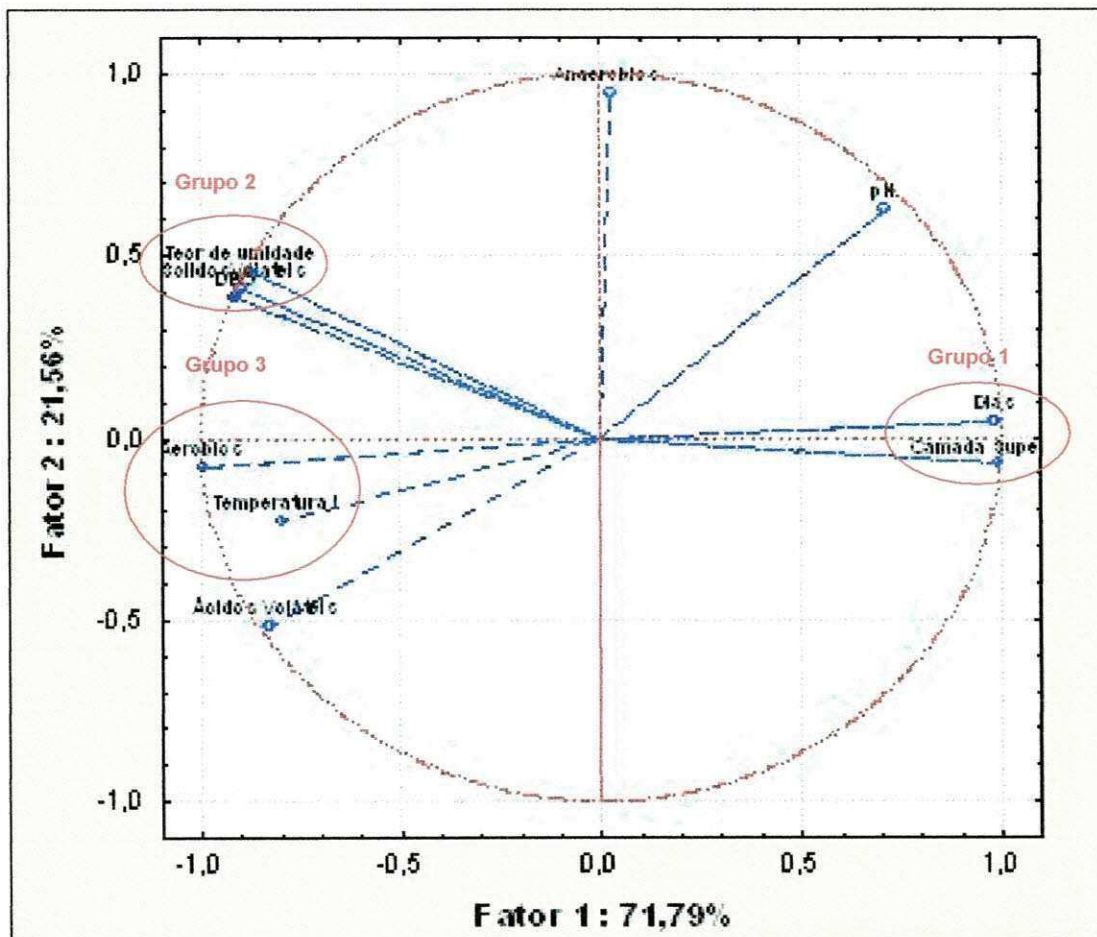


Figura 30: Projeção das variáveis nos fatores 1 e 2 da ACP da camada superior.

A análise dos componentes principais (ACP) mostra que na camada superior houve a formação de três grupos distintos de variáveis que se correlacionaram e duas variáveis isoladas. No grupo 1 (dias e camada superior/recalque) existe uma correlação estreita. Isto já era esperado, pois conforme os dias vão passando os recalques estão ocorrendo. Conforme os recalques estão ocorrendo e os dias passando, o teor de matéria orgânica e o teor de umidade vão decaindo e isto foi observado nos resultados mostrados na ACP.

O grupo 2 é composto por teor de umidade, sólidos voláteis e DBO. Estes apresentam um comportamento semelhante, ou seja, uma correlação positiva e uma correlação negativa referente ao grupo 1 formado pelos dias e pela camada superior (recalque). Isto era esperado, já que, o teor de sólidos voláteis está intimamente relacionado com o teor de umidade e DBO devido à biodegradação da matéria orgânica existente nos resíduos.

Aeróbios, temperatura I e ácidos voláteis formam o grupo 3 com dados semelhantes que se agrupam. Segundo Junqueira (2000) as temperaturas no interior dos resíduos apresentam forte influência na atividade de degradação desses microrganismos. Estas temperaturas apresentam valores elevados nesta fase inicial, devido à atividade exotérmica dos microrganismos aeróbios, que utilizam o oxigênio presente assim que os resíduos são depositados na célula experimental. Existe também uma correlação entre os ácidos voláteis e os aeróbios, pois, durante a degradação da matéria orgânica são gerados materiais particulados, incluindo ácidos orgânicos. Este fato corrobora com Silva (2009) que diz que a decomposição aeróbia em aterros sanitários gera materiais parcialmente degradados, incluindo alguns ácidos orgânicos.

Quanto as bactérias anaeróbias e o pH, não houve correlação com as demais variáveis. No momento inicial em que os resíduos são recém aterrados existe uma quantidade considerável de ar o que pode impossibilitar a presença de bactérias anaeróbias. Ao longo do tempo existe uma correlação positiva entre pH e as bactérias anaeróbias devido aos subprodutos gerados pela atividade destas bactérias que favoreceu o aumento do pH.

O grupo 1 apresenta correlação negativa com os demais grupos, pois a medida que seus elementos aumentam ocorre o inverso com os outros.

Na camada superior foi verificada uma maior correlação entre as variáveis, provavelmente por ter um maior contato com o meio externo o que pode ter facilitado uma atividade de bactérias aeróbias na biodegradação dos resíduos sólidos urbanos na célula experimental.

4.2.1. Análise de Componentes Principais da Camada Intermediária

Tabela 3: Matriz de correlação dos parâmetros analisados para a camada intermediária.

Variável	Correlação								
	Dias	Bactérias Aeróbias	Bactérias Anaeróbias	pH	SV	DBO	Camada Intermediária	AV	Temp.II
Dias	1,00	-0,70	0,57	0,74	-0,90	-0,94	0,63	-0,72	0,05
Aeróbias	-0,70	1,00	-0,35	-0,85	0,82	0,53	-0,53	0,60	-0,43
Anaeróbias	0,57	-0,35	1,00	0,18	-0,47	-0,57	0,24	-0,44	0,21
pH	0,74	-0,85	0,18	1,00	-0,81	-0,59	0,68	-0,72	-0,25
SV	-0,90	0,82	-0,47	-0,81	1,00	0,85	-0,54	0,62	0,10
DBO	-0,94	0,53	-0,57	-0,59	0,85	1,00	-0,45	0,64	-0,32
Camada intermediária	0,63	-0,53	0,44	0,72	0,62	0,64	1,00	-0,72	-0,34
AV	-0,72	0,60	-0,44	-0,72	0,62	0,64	-0,72	1,00	-0,04
Temp.II	0,05	0,43	0,21	-0,25	0,10	-0,32	-0,34	-0,04	1,00

Foram observados através da matriz de correlação (Tabela 3) que as variáveis que apresentaram correlação positiva com as bactérias aeróbias são os sólidos voláteis, a DBO e os ácidos voláteis o que mostra que estas variáveis apresentam comportamentos semelhantes nos resultados obtidos.

Já entre as correlações negativas, pode-se observar que os dias, as bactérias anaeróbias, o pH, a camada intermediária (recalque) e a temperatura não apresentaram comportamento semelhante com os aeróbios, o que pode mostrar que enquanto os elementos de um grupo crescem os elementos do grupo oposto diminuem.

Na Figura 31 será apresentado o gráfico da ACP para a camada intermediária, mostrando os grupos com correlações semelhantes e opostos nas diferentes variáveis. Pode-se observar que a projeção de variação dos dados foi de 79,11% (Fator 1 + Fator 2), representando uma boa percentagem de correlação.

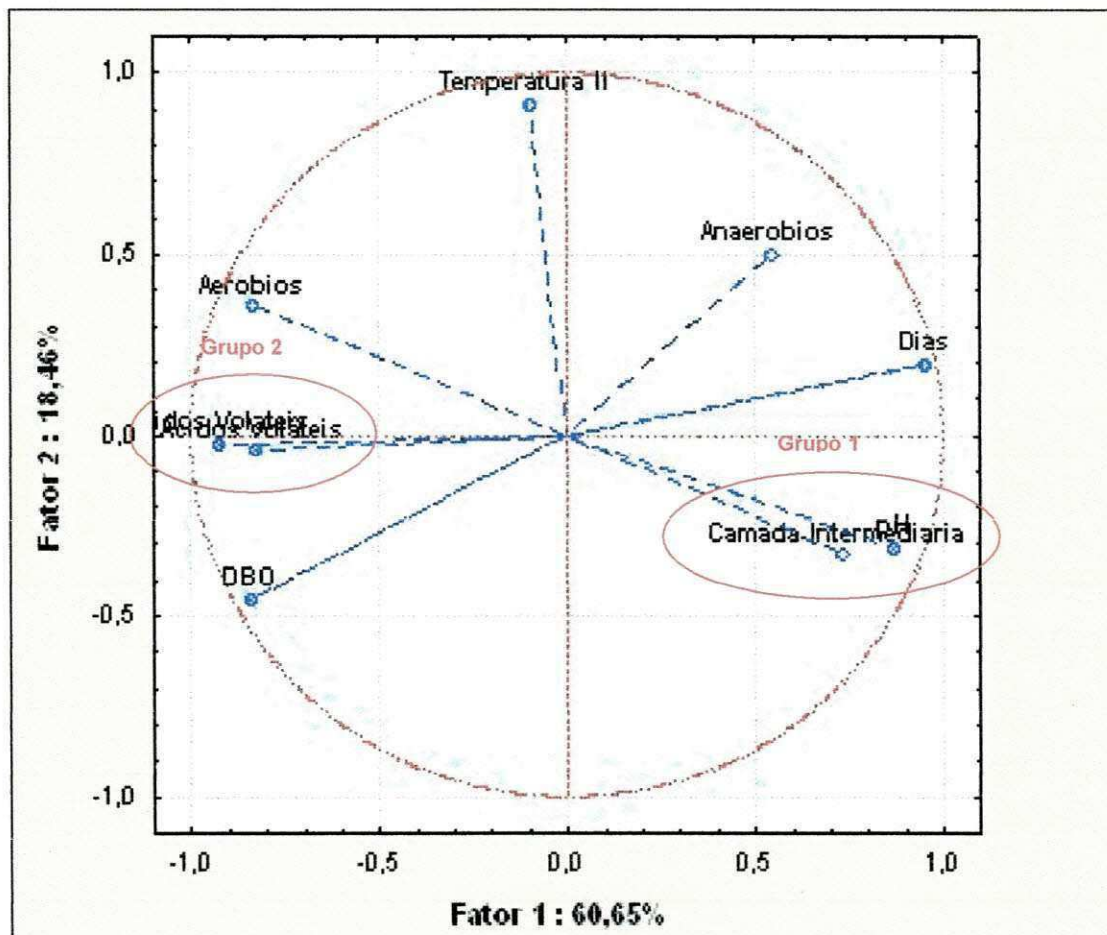


Figura 31: Projeção das variáveis nos fatores 1 e 2 da ACP da camada intermediária.

Pode-se observar que houve a formação de dois grupos com comportamentos semelhantes e lados opostos, indicando que enquanto os elementos de um dos grupos aumentam os outros elementos do grupo oposto diminuem. Houve também a formação de variáveis isoladas como os dias e as bactérias anaeróbias, e temperatura II, as bactérias aeróbias e a DBO.

Foram observadas correlações negativas na camada intermediária (Figura 31), onde o grupo 1 (camada intermediária/recalque e pH) é oposto ao grupo 2 (ácidos voláteis e sólidos voláteis) o que indica que ao longo do tempo decorrido os recalques e o pH da massa de resíduos vão aumentando enquanto que os ácidos voláteis formados e os sólidos voláteis tendem a diminuir, já que os resíduos sólidos estão sendo degradados.

4.2.1. Análise de Componentes Principais da Camada Inferior

Tabela 4: Matriz de correlação dos parâmetros analisados para a camada inferior.

Variável	Correlação						
	Dias	Bactérias Aeróbias	Bactérias Anaeróbias	Camada Inferior	Temp.IV	DBO	AV
Dias	1,00	-0,29	0,65	0,97	0,28	-0,64	-0,65
Aeróbias	-0,29	1,00	0,13	-0,16	0,26	0,61	0,38
Anaeróbias	0,65	0,13	1,00	0,69	0,59	-0,06	-0,25
Camada Inferior	0,97	-0,16	0,69	1,00	0,42	-0,52	-0,52
Temp. IV	0,28	0,26	0,59	0,42	1,00	0,01	0,05
DBO	-0,64	0,61	-0,06	-0,52	-0,52	1,00	0,85
AV	-0,65	0,11	-0,25	-0,52	-0,52	0,85	1,00

Através da matriz de correlação apresentada na (Tabela 4) as variáveis que apresentaram correlação positiva com as bactérias aeróbias está abaixo do valor 0,7 o que demonstra que não houve uma boa correlação entre estas variáveis. Isto pode ter ocorrido por que as bactérias aeróbias diminuíram com o passar dos dias, principalmente na camada inferior, embora esta diminuição não tenha sido tão intensa já que existiam caminhos preferenciais e rachaduras próximas aos pontos de coleta.

Quanto às bactérias anaeróbias, houve correlações positivas e com valores próximos a 0,7: dias e camada inferior (recalque).

Será apresentado através da Figura 32 o gráfico da ACP para a camada inferior mostrando as variáveis com correlações semelhantes e os grupos de variáveis isoladas.

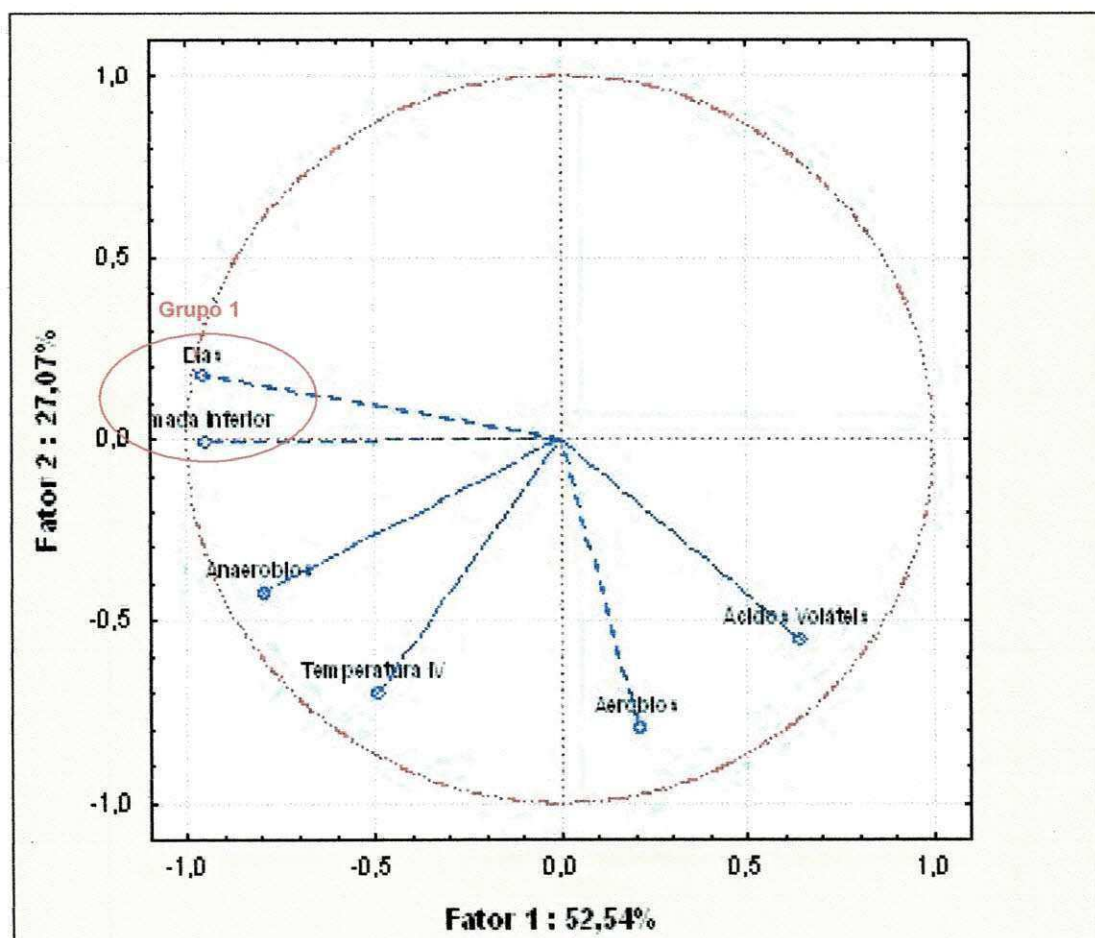


Figura 32: Projeção das variáveis nos fatores 1 e 2 da ACP da camada inferior.

Na Figura 32 pode-se observar a formação de um único grupo: dias e camada inferior (recalque). A formação de apenas um grupo na camada inferior pode ter ocorrido possivelmente por causa de fatores que podem ter dificultado a atividade bacteriana na biodegradação dos resíduos sólidos como também maior contaminação do ambiente interno da célula experimental e diminuição da matéria orgânica presente na célula.

O grupo 1(dias e camada inferior) apresentou comportamento semelhante com as variáveis isoladas anaeróbios e temperatura IV e comportamento distinto com as bactérias aeróbias e os ácidos voláteis ao longo do tempo.

Com o aumento da profundidade ocorreu um maior isolamento entre as camadas, principalmente na camada inferior, o que pode ter dificultado a atividade das bactérias. Foi observado que o meio externo favoreceu positivamente as condições necessárias para que os microrganismos se desenvolvessem.

Os dados estatísticos apresentaram correlações nas três camadas analisadas que variaram entre 79 a 95%, mostrando boas correlações.

5. CONCLUSÕES

De acordo com o estudo desenvolvido na célula experimental chegou-se às seguintes conclusões:

- ✓ Os percentuais encontrados das composições gravimétricas e volumétricas são típicos de países tropicais, embora em termos de matéria orgânica os percentuais apresentados são superiores a média nacional. A matéria orgânica encontrada na composição gravimétrica representa a maior parcela dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande-PB. Isto pode indicar que existe uma gestão precária dos resíduos sólidos urbanos da cidade. Ainda pôde-se observar que a presença elevada de bactérias aeróbias e anaeróbias está provavelmente relacionada com o alto percentual de matéria orgânica encontrado na composição gravimétrica.
- ✓ Quanto à composição volumétrica, os plásticos apresentaram um grande percentual quando comparado com a composição gravimétrica. A presença dos plásticos diminui a vida útil de um aterro sanitário além de poder aumentar o tempo de biodegradação.
- ✓ A camada superior foi inviabilizada a partir dos 223 dias de monitoramento devido ao recalque inicial sofrido pelo peso da camada de cobertura.
- ✓ As bactérias aeróbias e anaeróbias totais apresentaram comportamentos distintos ao longo do monitoramento da célula experimental, ocorrendo uma inversão no crescimento destas bactérias com o passar do tempo e as análises estatísticas corroboraram com os resultados experimentais.
- ✓ Os resultados de pH apresentaram valores iniciais até os primeiros meses de deposição dos resíduos em torno da neutralidade. Ao longo do tempo de aterramento foi observado que o pH subiu continuamente até chegar a possível fase metanogênica. Tanto o pH quanto os ácidos voláteis indicam as fases de degradação anaeróbia dos Resíduos Sólidos Urbanos.

- ✓ Os valores de umidade encontrados foram propício ao desenvolvimento de bactérias biodegradadoras da matéria orgânica já que estes se encontraram numa faixa satisfatória em todas as camadas.
- ✓ Houve uma redução dos teores de sólidos voláteis, para todas as camadas o que se pode concluir que a matéria orgânica foi degradada ao longo do tempo de maneira satisfatória.
- ✓ Os ácidos voláteis foram importantes para acompanhar o processo de degradação dos resíduos, bem como, o grupo de bactérias participantes na digestão anaeróbia.
- ✓ Houve uma redução nos valores de DBO e DQO ao longo do tempo de monitoramento da célula experimental, indicando uma redução da carga orgânica dos resíduos.
- ✓ Os dados estatísticos serviram de subsídio para provar a correlação e o comportamento multivariado entre as variáveis físicas, físico-químicas e bacteriológicas dos resíduos sólidos.
- ✓ De uma maneira geral, os processos físicos e físico-químicos serviram para avaliar os fatores ocorridos na célula experimental bem como analisar o crescimento dos microrganismos aeróbios e anaeróbios totais ao longo do tempo de monitoramento.

SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

- ✓ Estudar a geração de biogás a partir dos componentes materiais dos resíduos sólidos urbanos correlacionando com a biodegradação dos microrganismos aeróbios e anaeróbios totais presentes em uma célula experimental na cidade de Campina Grande-PB.
- ✓ Estudar e aprimorar técnicas e metodologias de análise do comportamento dos resíduos sólidos urbanos em escala experimental através de características referentes aos gases produzidos pela degradação destes resíduos;
- ✓ Relacionar os resultados obtidos na produção de biogás com os dados de análises microbiológicas e físico-químicas resultantes do monitoramento da célula experimental;
- ✓ Estudar a relação entre o processo de degradação dos microrganismos e o recalque estudado na célula experimental;
- ✓ Analisar como as condições meteorológicas influenciam no comportamento dos resíduos na célula experimental e seus efeitos nos processos degradativos dos microrganismos presentes e na produção do biogás.
- ✓ Estudar os procedimentos metodológicos de coleta fazendo uma vedação tanto na célula experimental como nos pontos de coleta para diminuir a entrada de ar.

REFERÊNCIAS

_____. NBR 10004: Resíduos Sólidos – classificação. Rio de Janeiro, 2004^a
74p.

_____. NBR 10007: Resíduos Sólidos – amostragem de Resíduos. Rio de
Janeiro, 2004c. 21p.

ABES, disponível em: <http://www.abes-dn.org.br>. Acessado em: 25/11/2010
às 15h54min.

**ABRELPE. Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e
Resíduos Especiais. 2006.**

ABRELPE. Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil. Disponível em:
<<http://www.abrelpe.com.br>> Acesso em: 12 de abril de 2011.

**ABREU, F. C.; PECORA, V.; VELÁZQUEZ, S.; COELHO, S. T. Biogás de
Aterro para Geração de Eletricidade e Iluminação.** Disponível em: <
www.periodicosapes.com.br> Acesso em: 10 de março de 2010.

AESA, disponível em: [http://www.lmrs-
semarh.ufcg.edu.br/meteoro/chuvas_ano200609_dados.shtml](http://www.lmrs-semarh.ufcg.edu.br/meteoro/chuvas_ano200609_dados.shtml). Acessado
em: 25/11/2010 às 16h15min.

**ALCÂNTARA, P.B. Avaliação da Influência da Composição de Resíduos
Sólidos Urbanos no Comportamento de Aterros Simulados.** 366p. Tese
(Doutorado em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia e Geociências.
Universidade Federal de Pernambuco, 2007.

**ALVES, I. R. F. S. Avaliação da População Microbiana dos Resíduos
Sólidos de um Lisímetro no Aterro da Muribeca-PE.** 44p. Monografia
(Bacharelado em Ciências Biológicas). Universidade Federal de
Pernambuco, 2005.

AMARAL, M. C. S.; FERREIRA, C. F. A.; LANGE, L.C.; AQUINO, S. F. **Avaliação da biodegradabilidade anaeróbia de lixiviados de aterros sanitários**. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.13, Rio de Janeiro, 2008.

APHA; AWWA; WEF. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 20 th edition. Washington: APHA, 1998. 1203p.

ARAÚJO, E. P.; FRANÇA, L. R. C.; ARAÚJO, M. V.; PEREIRA, F. T. G.; MELO, M. C.; MONTEIRO, V. E. D. **Estudos sobre a oxidação aeróbia da matéria orgânica em uma célula experimental localizada na Universidade Federal de Campina Grande-PB**. In: II Simpósio Nordestino de Resíduos Sólidos-Gestão e Tecnologias de Reciclagem - SINRES, 2010, Campina Grande-PB. II Simpósio Nordestino de Resíduos Sólidos-Gestão e Tecnologias de Reciclagem - SINRES, 2010.

ARAÚJO, E. P.; FARIAS, R. M. S.; COSTA, E. P.; SANTOS, S. G.; MONTEIRO, V. E. D.; ARAÚJO, J. M. **Relação entre os Sólidos Voláteis e a Presença de Microrganismos Aeróbios em um Biorreator na cidade de Campina Grande-PB**. In: III Simpósio de Inovação em Ciências Biológicas-SICBIO 2010, 2010, Recife-PE. III Simpósio de Inovação em Ciências Biológicas-SICBIO 2010, 2010.

BARLAZ, M. A.; SCHAEFER, D. M.; HAM, R. K. **Bacterial Population Development and Chemical Characteristics of Refuse Decomposition in a Simulated Sanitary Landfill**. Applied and Environmental Microbiology, London, v. 55, n.1, p.55-65, 1989.

BÖRJESSON, G.; SUNDH, I.; SVENSSON, B. **Microbial oxidation of CH₄ at different temperatures in landfill cover soils**. FEMS Microbiology Ecology, p. 1-8, 2004.

CARVALHO, M. N. **Estudo da biorremediação *in situ* para tratamento de solos e aquíferos contaminados com percolado de chorume**. 169p.

Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Faculdade de Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

CASTELLANELLI, C. A. **Estudo da viabilidade de produção do biodiesel, obtido através do óleo de fritura usado, na cidade de Santa Maria – RS.** p. 1-30. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção), Instituto de Engenharia do Paraná. Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2008.

CATAPRETA, C.A.A.; SIMÕES, G.F. **Caracterização volumétrica dos resíduos sólidos urbanos dispostos em um aterro sanitário experimental.** XXXI Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental - AIDIS. 2008.

CASTILHOS JR, A. B. **Gerenciamento de resíduos sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d'água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterros sanitários.** 3 Resíduos Sólidos. PROSAB-Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. Rio de Janeiro: ABES, 2006.

CELERE, M.S.; OLIVEIRA, A. S.; TREVILATO, T. M. B.; MUNÓZ, S. I. S. **Metais presentes no chorume coletado no aterro sanitário de Ribeirão Preto, São Paulo, Brasil, e sua relevância para saúde pública.** Caderno Saúde Pública, Rio de Janeiro, v.23, n.4, p.939-947, 2007.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **“Resíduos Sólidos urbanos e limpeza pública”.** São Paulo, 1990.

CETESB. Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Análises Microbiológicas da Água.** 36-49p. São Paulo, 2004.

CIRNE, L. E. M. R. **A Coleta Seletiva como Subsídio à Criação de um Plano de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PGIRS) em Campina Grande-PB:Implicações Ambientais, Econômicas e Sociais.** 212p. Tese

(Doutorado em Recursos Naturais), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, 2010.

CUNHA, J. E. B. L.; RUFINO, I. A. A.; IDEIÃO, S. M. A. **Determinação da Temperatura de Superfície na cidade de Campina Grande-PB a partir de imagens do Satélite Landsat 5-TM.** In: Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal. 2009.p. 5717-5724.

DACANAL, M. **Tratamento de lixiviado através de filtro anaeróbio associado à membrana de microfiltração.** 142p. Dissertação (Mestrado em Materiais), Programa de Pós-Graduação em Materiais. Universidade de Caxias do Sul Caxias do Sul, 2006.

DIÁRIO DA BORBOREMA. **Material radioativo no Lixão.** Campina Grande, 27 de fevereiro de 2010.

DILLENBURG, M. E. **Variação da Taxa de Recirculação de Lixiviado Determinada pela Concentração de Ácidos Voláteis no Tratamento da Fração Orgânica de Resíduos Sólidos Urbanos domésticos.** 135p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento), Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.

ENSINAS, A. V. **Estudo da geração de biogás no aterro sanitário Delta em Campinas – SP.** 145p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica. Universidade Estadual de Campinas, 2003.

FOCANDO A NOTÍCIA. Disponível em:
<http://www.focandoanoticia.com.br/completas/municipios-1104-1.html>.

Acesso em 20 de outubro de 2010.

FONSECA, J. S.; MARTINS, G. A. **Curso de Estatística.** 5. ed. São Paulo: Atlas, 1994.

GARCIA, C. A.; STANZIOLA, L.; OLIVEIRA, O.M.; PEREIRA, S. A.; JESUS, D. C. **Avaliação Comportamental de Baratas (*Periplaneta americana*) Submetidas à Mistura Oxigênio-Ozônio em Ambiente Fechado.** Disponível em: < <http://www.sovergs.com.br>>. Acesso em: 29/06/2011.

GUEDES, T. A.; ACORSI, C. R. L.; MARTINS, A. B. T.; JANEIRO, V. **Estatística Descritiva.** Disponível em: <www.des.uem.br>. Acesso em 14 de março de 2011.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Contagem Populacional.** 2010.

GARCEZ, L, R. **Estudo dos componentes tóxicos em um biorreator de resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande – PB.** 114p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009.

JUNQUEIRA, F. F. **Análise do comportamento de resíduos urbanos e sistemas dreno filtrantes em diferentes escalas, com referência ao Aterro do Jóquei Clube – DF.** Tese (Doutorado). Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

KROEKER, E. J. **Anaerobic treatment process stability.** Journal WPCF, London, v.51, n.4, 1979. p178.

LEITE, H. E. A. S. **Estudo do comportamento de aterros de RSU em um biorreator em escala experimental na cidade de Campina Grande-PB.** 220p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2008.

LEITE, H. E. A. S.; NETO, J. M. V.; MONTEIRO, V. E. D.; SILVA, S. A. **Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos do município**

de Campina Grande-PB. In: XIII Simpósio Luso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – SILUBESA, 2008.

LEITE, V.D.; POVINELLI, J. **Comportamento dos Sólidos Totais no Processo de Digestão Anaeróbia de Resíduos Sólidos Urbanos e Industriais.** Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. Campina Grande, v.3, n.2, p.229-232, 1999.

LIBÂNIO, P. A. C. **Avaliação da Eficiência e Aplicabilidade de um Sistema Integrado de Tratamento de resíduos Sólidos Urbanos e de Chorume.** 175p. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos). Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Minas Gerais, 2002.

LIMA, L. M. Q. **Tratamento e Biorremediação.** 3 ed. São Paulo: Hemus Livraria, 265p. 2004.

LIPOR. **Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande porto.** Caderno técnico. 2000.

MANASSERO, M.; VAN IMPE, W.F.; BOUAZZA, A. **Waste disposal and containment.** pp. 1425–1474. Proc. 2nd International Congress on Environmental Geotechnics, Osaka, Japão. Balkema, v. 3. 1996.

MARIANO, G. L.; MOURA, M. A. L. **Comportamento da temperatura do lixo em duas épocas distintas (seca e chuvosa) no lixão da cidade de Maceió-AL.** Ciência e Natura. UFSM, v. 31, n. 2, p. 57 - 70, 2009.

MELO, M. C. **Influência da Matéria Orgânica nos Recalques de Resíduos Sólidos Urbanos Aterrados.** 148p. Tese (Tese de doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Centro de Ciências e Tecnologia. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2011.

MELO, M. C. Uma análise de recalques associada à biodegradação no aterro de resíduos sólidos da Muribeca. 141p. Dissertação (Mestrado em Ciência em Engenharia Civil), Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

MEIRA, R. C.; MELO, M. C.; MONTEIRO, V. E. D. Avaliação do Processo Biodegradativo dos Resíduos Sólidos Urbanos de uma Célula Experimental da cidade de Campina Grande – PB. In: SINRES-2º Simpósio Nordestino de Resíduos Sólidos. Campina Grande – PB. 2010.

MEIRA, R. C. Influência de fungos e bactérias aeróbias totais na biodegradação de resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande – PB em escala experimental. Engenharia Ambiental. Espírito Santo do Pinhal, v. 6, n.3, p. 333-349, 2009a.

MEIRA, R. C. Estudo biodegradativo dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande – PB em escala experimental. 116p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental), Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2009b.

MENDES, P. M. R. Recalque do Maciço dos resíduos Sólidos no Aterro do município de Foz do Iguaçu – PR. 74p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental), Faculdade Dinâmica das Cataratas. União Dinâmica de Faculdade Cataratas, 2009.

MONTEIRO, V. E. D.; MELO, M. C.; ALCÂNTARA, P. B.; ARAÚJO, J. M.; ALVES, I. R. F. S.; JUCÁ, J. F. T. Estudo do comportamento de RSU em uma célula experimental e suas correlações com aspectos microbiológicos, físicos e químicos. Engenharia Sanitária e Ambiental. v.11,n.3, p. 223-230, 2006.

MONTEIRO, V. E. D. Análises físicas, químicas e biológicas no estudo do comportamento do Aterro da Muribeca. p.15-20. Tese (Doutorado em

Engenharia Civil), Centro de Tecnologia e Geociências. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

MOR, S.; RAVINDRA, K.; DE VISSCHER, A.; DAHIYA, R.P.; CHANDRA, A. **Municipal solid waste characterization and its assessment for potential methane generation: A case study.** Science of the Total Environment, 2006.

MUÑOZ, S. I. S. **Impacto Ambiental na Área do Aterro Sanitário e Incinerador de Resíduos Sólidos de Ribeirão Preto, SP: Avaliação dos níveis de Metais Pesados.** 158p. Tese (Doutorado em Enfermagem em Saúde pública), Escola de Enfermagem de Ribeirão Preto. Universidade de São Paulo, 2002.

OLIVEIRA, S. **Caracterização física dos resíduos sólidos domésticos (RSD) da cidade de Botucatu/SP.** Revista Engenharia Sanitária e Ambiental da ABES. São Paulo, v. 4, n. 4, p. 7, 1999.

OLIVEIRA, S. A. **Limpeza Urbana: Aspectos Sociais, Econômicos e Ambientais.** 123p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente), Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente. Universidade Federal da Paraíba/Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2004.

PAIVA, W. **Aplicação da estatística para descrever o comportamento de um solo expansivo.** p.69-71. Tese (Doutorado em Ciência em Engenharia Civil), Centro de Tecnologias e Geociência. Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2009.

PECORA, V.; FIGUEIREDO, N. J. V.; COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G. **Potencial de geração de energia elétrica e iluminação a gás por meio do aproveitamento de biogás proveniente de aterro sanitário.** Disponível em: < www.periodicosapes.com.br > Acesso em: 10 de março de 2010.

PECORA, V; FIGUEIREDO, N. J. V.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; COELHO, S. T. **Aproveitamento do biogás proveniente de aterro sanitário para geração de energia elétrica e iluminação a gás.** Induscon (VIII Conferência Internacional de Aplicações Industriais) Poços de Caldas, 2008. 5p.

PELCZAR JR, M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia.** 2 ed. São Paulo: Makron Books, 1997. p. 166-183.

PEREIRA, F. T. G.; LEITE, H. E. A.; GARCEZ, L.R.; ARAÚJO, E. P.; MELO, M. C.; MONTEIRO, V. E. D. **Composição Gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Campina Grande-PB.** In: SINRES-2º Simpósio Nordestino de Resíduos Sólidos. Campina Grande – PB. 2010.

PEREIRA, F. T. G. **Monitoramento da Geração de Gases em Aterros de Resíduos Sólidos a partir do uso de Célula Experimental.** Projeto PIVIC. Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2010.

PERTENELLI, L. A. **Estatística Descritiva.** Disponível em: <www.dpi.ufv.br> Acesso em 28 de fevereiro de 2011.

PFEFFER, J.T. **Treatment of leachate from land disposal facilities. In proceedings of the Waste Tech 86 Conference: Preparing Now for tomorrow's needs.** Chicago, USA, 1993. p22-23.

QUEZADO, L. H. N. **Avaliação de Tecnologias para Aproveitamento Energético dos Resíduos Sólidos Urbanos.** 48p. Monografia (Curso de Engenharia Química), Centro de Tecnologia, Departamento de Engenharia Química. Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2010.

REIS, E. **Estatística Multivariada Aplicada.** 2.ed. Lisboa: Edições Sílabo, LDA, 2001. p. 17-19.

ROCHA, G. H. T.; LANG, L. C. **Determinação da composição gravimétrica dos resíduos sólidos domiciliares - ênfase nos resíduos domésticos potencialmente perigosos.** In: 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville – SC. 2003.

RODRIGUES, R.; FARIA, J. **Aproveitamento de biogás como fonte de energia alternativa para produção de energia elétrica.** Disponível em: <www.periodicosda.capes.com.br> Acesso em: 10 de março de 2010.

SANTOS, V. C. **Projeto, Construção e Instrumentação de um Lisímetro em Escala de Laboratório para Estudos em Resíduos Sólidos.** 106p. Monografia (Graduação em Engenharia Ambiental). Faculdade de Engenharia e Arquitetura. Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo, 2010.

SIMÕES, G. F. **Modelo para avaliação de recalques em aterros de disposição de resíduos sólidos urbanos.** Tese (Doutorado). Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2000.

SILVA, F. B. **Tratamento Combinado de lixiviados de Aterros Sanitários.** 118p. Dissertação (Mestrado em Ciências), Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Escola Química. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

SILVA, F. M. S.; ALCÂNTARA, P. B.; LIMA, M. A. G. A.; PALHA, M. L. A. P. **Monitoramento microbiológico do lixo em lisímetro no Aterro Sanitário da Muribeca.** Disponível em: < <http://www.periodicosdacapes.gov.br>>. Acesso em 10 de março de 2010.

SILVA, P. K. O. **Padrões de Variabilidade Temporal da Precipitação no Estado da Paraíba Utilizando Análise em Componentes Principais.** 29p. Monografia (Graduação- Bacharelado em Estatística). Centro de Ciências e

tecnologia. Departamento de Matemática, Estatística e Computação, Campina Grande, 2009.

SILVA, S. A. OLIVEIRA, R. **Manual de análises físico-químicas de águas de abastecimento e residuárias**. Campina Grande-PB: O Autor, 2001. 265p.

SOUSA, J. T.; SILVA, S. A.; PRASSAD, S.; LEITE, V. D.; LOPES, W. S. **Análise quali-quantitativa dos resíduos sólidos urbanos produzidos pela população da cidade de Campina Grande, PB**. In: 24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental - ABES, 2007.

SOUZA, C. D. D. **Regeneração térmica de argilas comerciais para reutilização na clarificação de óleo de soja**. 99p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química), laboratório de Tecnologias Integradas. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

TARAZONA, C. F. Estimativa de Produção de Gás em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos. 210p. **Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil), Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil-COPPE**. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 6 ed. Porto Alegre: Editora ARTMED, p. 170-171. 2000.

TCHOBANOGLIOUS, G. THEISEN, H VIGIL, S.A., **Integrated Solid waste: Management – Engineering Principles and Management Issues**. Mcgraw-Hill International Editions. ISBN 0-07-063237-5. 978.1993.

VAZOLLER, R. F.; GOMES, L. P.; BALDOCHI, V. M. Z.; VILLAS-BÔAS, D. F.; BADRA, R. J.; POVINELLI, J. **Biodegradability Potential of Two Experimental Landfills in Brazil**. **Brazilian Journal of Microbiology**. v. 32, p 87-92, 2001.

WHO. International Reference Center for Wastes Disposal. **Methods of analysis of sewage sludge solid wastes and compost. Switzerland.** 1979.

LIVESCIENCE. **Why Today's Cockroaches Are the Biggest Ever.** Disponível em: <<http://livescience.com>>. Acesso em: 29/06/2011.

ANEXO

Anexo 1: Procedimento de uso das placas anaerobac.



PROBAC DO BRASIL

GERADORES ATMOSFÉRICOS PROBAC ANAEROBAC

Indicações:

ANAEROBAC é um gerador de atmosfera com teor reduzido de oxigênio e aumentado de gás carbônico, para jarras de 2,5 litros ou envelopes plásticos com clamp, sem necessidade do emprego de catalisador. Esta atmosfera, obtida através de reação óxido-redução, permite a multiplicação de *Bacteroides sp*, *Peptococcus sp*, *Peptostreptococcus sp* e *Clostridium sp* e demais anaeróbios de importância médica.

Procedimento:

Colocar as placas de Petri semeadas no interior do recipiente deixando um espaço de pelo menos 1 cm entre a última placa e a tampa da jarra ou clamp.

Destacar o papel alumínio que cobre a fita indicadora colocada na lateral do gerador Anaerobac, que deverá estar azul.

Distribuir lentamente 20 ml de água sobre toda a superfície absorvente do Anaerobac, de preferência com auxílio de uma pipeta. Cuidado para não molhar a fita indicadora.

Colocar o Anaerobac sobre a última placa com a superfície úmida voltada para cima.

Quando necessário, o gerador pode ser colocado lateralmente, em posição vertical. Fechar a jarra ou o envelope hermeticamente e incubar de 35° C ± 2°C.

Observação:

Entre 4 e 6 horas e até o final da incubação, a fita indicadora deverá estar branca e virar novamente para azul quando a jarra/envelope forem abertos. Recomendamos o uso da Jarra para Atmosferas Especiais da Probac do Brasil.

Precauções:

Após o uso deve ser descartado conforme as recomendações vigentes para resíduos de serviços de saúde.

Apresentação:

Caixa com 10 unidades (geradores), constituídas individualmente por berço plástico de 90mm de diâmetro, contendo mistura em pó, coberto por papel poroso, acompanhado de uma fita de papel indicadora de anaerobiose na superfície lateral externa.

Conservação:

Manter o produto na caixa em temperatura ambiente (10°C-30°C), em local seco.

Validade: 1 ano.

Referências Bibliográficas:

1. Summanen P, Barron E.J, Citron DM, Strong CA, Wexler HM, Finegold SM; Wadsworth Anaerobic bacteriology Manual, 5 Ed., California, Star Publishing Co., 1993.
2. Murray, P.R. et al. Manual of Clinical Microbiology, 8ª ed., ASM Press, Washington, DC, 2003.

SOMENTE PARA USO DIAGNÓSTICO "IN-VITRO"

Rev: 00

PROBAC DO BRASIL Produtos Bacteriológicos Ltda.
Rua Jaguaribe, 35 - Sta. Cecília - São Paulo - SP
CEP: 01224-001 - Fone: (011) 3222-4777 - Fax: (011) 3223-8368
C.G.C. (MF) 45.597.176/0001-00 - Insc. Est. 110.485.842.111
Site: www.probac.com.br E-mail: probac@probac.com.br