



**UNIVERSIDADE ESTADUAL DA PARAÍBA
CENTRO DE CIÊNCIAS E TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL
CURSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL**

CLÁUDIO LUIS DE ARAÚJO NETO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS COLIFORMES EM UM
BIORREATOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

**CAMPINA GRANDE – PB
2014**

CLÁUDIO LUIS DE ARAÚJO NETO

**ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS COLIFORMES EM UM
BIORREATOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado a Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. William de Paiva

**CAMPINA GRANDE – PB
2014**

É expressamente proibida a comercialização deste documento, tanto na forma impressa como eletrônica. Sua reprodução total ou parcial é permitida exclusivamente para fins acadêmicos e científicos, desde que na reprodução figure a identificação do autor, título, instituição e ano da dissertação.

A659e Araújo Neto, Cláudio Luis de.
Estudo do comportamento dos coliformes em um biorreator de resíduos sólidos urbanos [manuscrito] / Cláudio Luis de Araújo Neto. - 2014.
86 p. : il. color.

Digitado.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Estadual da Paraíba, Centro de Ciências e Tecnologia, 2014.

"Orientação: Prof. Dr. William de Paiva, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental".

1. Resíduos sólidos. 2. Biorreator. 3. Coliformes totais. I.
Título.

21. ed. CDD 363.728

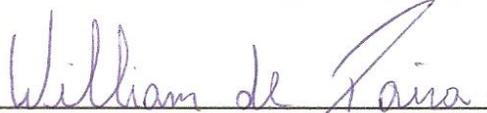
CLÁUDIO LUIS DE ARAÚJO NETO

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DOS COLIFORMES EM UM BIORREATOR DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC) apresentado a Coordenação do Curso de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba como requisito parcial para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Sanitária e Ambiental.

Aprovado em: 28/07/2014

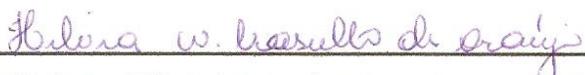
Examinadores:



Prof. Dr. William de Paiva
(Orientador – DESA/CCT/UEPB)



Profª. Drª. Weruska Brasileiro Ferreira
(Examinadora – DESA/CCT/UEPB)



Profª. Drª. Hélvia Waleska Casullo de Araújo
(Examinadora – DQ/CCT/UEPB)

Dedico ao meu pai Cláudio Arnaldo (in memoriam), que infelizmente não pode estar presente, fisicamente, neste momento tão feliz de minha vida, mas não poderia deixar de compartilhar esta vitória com ele, ensinaste-me a prosseguir na realização dos meus sonhos, mesmo em momentos difíceis, mostrando-me que seria capaz de alcançar, não só essa, mas muitas outras vitórias em minha vida. Muito obrigado! Saudades eternas!

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus por ter proporcionado esta experiência em minha vida, por me dar força e mostrar os melhores caminhos, principalmente nos momentos difíceis.

A minha família, em especial a minha mãe, Rita e a minha irmã, Ruana que sempre me apoiaram e incentivaram em todas as etapas da minha vida e ao meu pai Cláudio (in memoriam) que deixou grandes ensinamentos e eternas saudades. A minha tia Goret, que, com seu jeito de mãe, sempre esteve procurando o melhor para mim.

Aos meus avós Antônio e Irene, que além de me educarem, não mediram esforços para concretização deste sonho.

A minha namorada, Amanda, por toda paciência, compreensão, carinho, amor, e por me ajudar muitas vezes a encontrar soluções quando elas não apareciam. Você foi a pessoa que compartilhou comigo os momentos de tristezas e alegrias.

A dona Jordânia e seu Geraldo (sogros) e a Ana Carolina e Beatriz (cunhadas) por sempre me incentivarem, acolherem e compartilharem diversos momentos. Amo vocês de mais!

Aos meus amigos Albiery, Suênio, Tássio, Suênia, Ítala e Ianina pela ajuda constante durante todo período acadêmico.

Ao professor William, pela orientação (PIBIC/monitoria/extensão/estágio/TCC), apoio, paciência, cooperação, amizade, confiança, disposição e dedicação nesta jornada acadêmica que não acaba aqui.

As professoras Weruska Brasileiro Ferreira e Hélvia Waleska Casullo, por aceitarem o convite para participar da comissão examinadora deste trabalho, pela atenção, sugestões e críticas propostas com o intuito de aprimorar o mesmo e pelos ensinamentos durante a graduação.

Aos funcionários e professores do Centro de Ciências e Tecnologia da Universidade Estadual da Paraíba, principalmente àqueles que fazem parte do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, pelo apoio, orientação, amizade, paciência e conhecimentos transmitidos durante minha trajetória universitária, que certamente contribuíram para o meu desenvolvimento intelectual e formação profissional.

Aos professores Marcio Camargo e Veruschka Escarião por todo conhecimento transmitido durante a pesquisa.

Ao Grupo de Geotecnia Ambiental (GGA/UFCG) pela amizade e ajuda nos momentos difíceis, sem vocês não seria possível a realização da pesquisa.

A Prefeitura Municipal de Campina Grande-PB pela disponibilização dos equipamentos fundamentais para o enchimento da nossa célula.

Ao CNPq pelo apoio financeiro para a construção do biorreator, compra de equipamentos e pela bolsa concedida.

Enfim a todos que contribuíram direta ou indiretamente com esta vitória, deixo aqui meu MUITO OBRIGADO!

“Comece fazendo o que é necessário, depois o que é possível, e de repente você estará fazendo o impossível.”

São Francisco de Assis

RESUMO

No Brasil, um dos maiores problemas ambientais é a destinação dada ao Resíduo Sólido Urbano (RSU). Os aterros sanitários são locais onde são depositados a maior parte destes resíduos, por apresentarem maior praticidade e custos mais baixos. Todavia, apenas a deposição dos resíduos não é a solução mais adequada para estes, pois sem tratamento adequado pode causar contaminação do solo, do ar e da água. Para otimizar o processo de instalação e operacionalização de um aterro sanitário é necessário estudar o comportamento dos resíduos, através de um monitoramento contínuo que possa associar os parâmetros monitorados a biodegradação, redução de volume, nível de patogenicidade, potencial energético, dentre outros. O objetivo deste trabalho é estudar o comportamento dos Coliformes totais e termotolerantes dos resíduos sólidos urbanos depositados em um biorreator e suas interações com outros parâmetros. O monitoramento ocorreu através de um biorreator que simula o comportamento de um aterro sanitário, onde se coletou amostras de resíduos para determinação das variáveis em estudo e realizou-se ensaios *in situ*. Os coliformes totais e termotolerantes se desenvolveram de maneira satisfatória, apresentando valores elevados quando comparados as outras tecnologias de tratamento que não necessitam da presença destes micro-organismos para otimização dos processos. Estes valores elevados podem ter ocorrido devido a alto percentual de matéria orgânica, como também um teor relativamente alto de têxteis sanitários. O pH e a temperatura não apresentaram uma correlação forte e nem formaram grupos de correlação com os Coliformes totais e termotolerantes, devido, provavelmente, ao desenvolvimento destas bactérias estarem associadas a diversos fatores, como umidade, teor de matéria orgânica e toxicidade.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos sólidos urbanos, biorreator, Coliformes totais e termotolerantes.

ABSTRACT

In Brazil, one of the biggest environmental problems is the destination given to the Urban Solid Waste (MSW). Landfills are places where they are deposited most of these waste by having greater practicality and lower costs. However, only the deposition of waste is not the most appropriate solution for these, because without proper treatment can cause contamination of soil, air and water. To optimize the process of installing and operation of a landfill is necessary to study the behavior of waste through continuous monitoring that can associate the parameters monitored the biodegradation, volume reduction, level of pathogenicity, energy potential, among others. The objective of this work is to study the behavior of total coliforms and thermotolerant of municipal solid waste deposited in a bioreactor and its interactions with other parameters. The monitoring occurred through a bioreactor that simulates the behavior of a landfill, where collected samples of waste for determination of the variables under study and trials performed in situ. The coliforms total and thermotolerant developed satisfactorily, with higher values when compared to other treatment technologies that do not require the presence of these micro-organisms the optimization of process. These high values may be due to high percentage of organic matter, but also the a relatively high level of sanitary textiles. The pH and temperature did not show a strong correlation and formed groups or correlation with total coliforms and thermotolerant, probably due to the development of these bacteria are associated with several factors, such as moisture, organic matter content and toxicity.

KEYWORDS: Municipal solid waste, bioreactor, Coliforms total and thermotolerant.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Fluxograma do processo de decomposição anaeróbia dos RSU.	20
Figura 2 - Curva de crescimento bacteriano mostrando as quatro fases.	24
Figura 3 - Taxa de crescimento dos micro-organismos em função da temperatura.	28
Figura 4 - Velocidades de crescimento características de diferentes tipos de micro-organismos em resposta à temperatura.	29
Figura 5 - Subdivisões da estatística.	31
Figura 6 - Biorreator.	34
Figura 7 - Mapa de Campina Grande com destaque dos três bairros selecionados.	36
Figura 8 - Etapas da caracterização gravimétrica dos RSU.	37
Figura 9 - Croqui da célula experimental – UFCG/GGA.	39
Figura 10 - (a) Termopares do tipo K; (b) Termômetro elétrico.	40
Figura 11 - Medidores de recalques superficiais e em profundidade.	40
Figura 12 - Níveis de coleta de resíduo no biorreator.	41
Figura 13 - Enchimento do biorreator.	42
Figura 14 - (a) Coleta; (b) Picotagem; (c) Diluição dos resíduos.	42
Figura 15 - Composição gravimétrica dos resíduos.	47
Figura 16 - Comportamento dos coliformes totais ao longo do tempo e em profundidade do biorreator.	48
Figura 17 - Comportamento dos coliformes termotolerantes ao longo do tempo e em profundidade do biorreator.	50
Figura 18 - Relação do pH com os coliformes totais e termotolerantes.	52
Figura 19 - Relação da temperatura com os coliformes totais e termotolerantes.	53
Figura 20 - Comportamento do recalque e dos coliformes.	54
Figura 21 - Dendograma.	58
Figura 22 – Análise de Componentes Principais.	59

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Espécies de bactérias presentes em sistemas aeróbios.....	22
Tabela 2 - Espécies de bactérias presentes em sistemas anaeróbios.....	23
Tabela 3 - Análise descritiva dos parâmetros.....	55
Tabela 4 – Matriz de correlação.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABRELPE - Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais;

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;

ACP – Análise de Componentes Principais;

CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente;

DLU – Departamento de Limpeza Urbana;

EXTRABES - Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários

GGA – Grupo de Geotecnia Ambiental;

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora;

NMP – Número Mais Provável;

PNRS – Política Nacional de Resíduos Sólidos;

RSU – Resíduos Sólidos Urbanos;

UEPB – Universidade Estadual da Paraíba;

UFCG – Universidade Federal de Campina Grande.

LISTA DE SÍMBOLOS

% – Percentagem;

°C – Grau Celsius;

cm – Centímetro;

g – Grama;

Km – Quilômetro;

Km² – Quilômetro quadrado;

L – Litro;

m – Metro;

mm – Milímetro;

mg – Miligrama;

mL – Mililitro;

pH – Potencial hidrogeniônico.

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	16
2 OBJETIVOS	17
2.1 Objetivo Geral	17
2.2 Objetivos Específicos	17
3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	18
3.1 Resíduos Sólidos Urbanos	18
3.2 Biodegradação dos Resíduos em Aterros Sanitários	19
3.2.1 Recalques	21
3.3 Micro-organismos Presentes nos Resíduos Sólidos Urbanos.....	22
3.3.1 Curva de crescimento microbiano	23
3.3.2 Coliformes	25
3.4.3 Fatores intervenientes no desenvolvimento dos coliformes	26
3.5 Biorreator como Modelo de Simulação de um Aterro Sanitário de Resíduos Sólidos Urbanos.....	30
3.6 Análise Estatística	31
3.6.1 Estatística descritiva.....	31
3.6.2 Análise de Componentes Principais (ACP)	33
4 METODOLOGIA.....	34
4.1 Descrição do Local da Pesquisa	35
4.2 Coleta e Amostragem dos Resíduos	35
4.3 Caracterização inicial do resíduo	36
4.4 Construção do biorreator.....	38
4.5 Instrumentação do biorreator	39
4.6 Enchimento do biorreator	41
4.7 Monitoramento	42
4.7.1 Coliformes totais e termotolerantes.....	43
4.7.2 pH.....	44
4.7.3 Temperatura	44
4.7.4 Recalques	45

4.8 Estatística.....	46
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES	46
5.1 Composição Gravimétrica	46
5.1 Coliformes Totais	48
5.2 Coliformes termotolerantes	50
5.3 pH.....	52
5.4 Temperatura.....	53
5.5 Recalque	54
5.6 Análise Estatística	55
5.6.1 Correlação.....	56
5.6.2 Análise de Componentes Principais (ACP)	58
6 CONCLUSÕES	60
REFERÊNCIAS.....	62

1 INTRODUÇÃO

No Brasil, assim como nos demais países, a gestão adequada dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é de vital importância, pois pode acarretar problemas de alta complexidade, que se agravam devido ao aumento populacional, avanço tecnológico e mudanças de hábitos de consumo. O desenvolvimento econômico, também vem acompanhado de uma maior produção de resíduos, que na ausência de tratamento adequado, afetam a saúde da comunidade e do meio ambiente, constituindo assim um motivo para que se implantem soluções técnicas adequadas para gestão e disposição final dos resíduos sólidos (OPAS, 2006).

Dentre as formas de tratamento e destinação final dos resíduos, o aterro sanitário constitui-se de uma das técnicas mais utilizada no mundo, devido a sua praticidade e baixo custo, quando comparados com outras formas de tratamento. Para que o aterro sanitário funcione de maneira adequada, é indispensável à otimização de projetos e a aplicação de metodologias operacionais capazes de assegurar, de modo satisfatório, a evolução dos processos de degradação, a estabilidade geotécnica do aterro e a minimização da poluição.

Entender um aterro sanitário torna-se menos complexo quando estudos são realizados em biorreatores, também denominados células experimentais ou lisímetros. Isso porque, o biorreator pode sugerir, através de seu monitoramento, os possíveis ajustes a serem aplicados em escala real, evidenciando a importância de se desenvolver e aperfeiçoar técnicas de amostragem e instrumentação em escala experimental.

Neste contexto, para compreender as transformações dos RSU, é necessário analisar e monitorar as reações que ocorrem nos resíduos ao longo do tempo. Pois assim que ocorre a disposição dos RSU, devido às condições ambientais, a matéria orgânica complexa dos resíduos é transformada em produtos mais simples, que podem ocorrer pela ação de diferentes grupos de micro-organismos, a exemplo dos Coliformes totais e termotolerantes, que além de contribuírem para degradação da matéria orgânica, também são utilizados há várias décadas como indicadores de poluição ambiental.

É importante estudar a ação destes micro-organismos decompositores, pois eles são uns dos principais responsáveis pela degradação da matéria orgânica e consequentemente pela geração gases e lixiviados, além de indicarem o nível de patogenicidade dos resíduos. Acelerar sua atividade metabólica resulta numa melhor eficiência de tratamento, permitindo a maximização da vida útil de aterros sanitários.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo Geral

Estudar o comportamento dos Coliformes totais e termotolerantes dos resíduos sólidos urbanos depositados em um biorreator e suas interações com outros parâmetros.

2.2 Objetivos Específicos

- Correlacionar a composição gravimétrica dos resíduos com a densidade dos Coliformes totais e termotolerantes nestes materiais.
- Avaliar a concentração inicial de Coliformes totais e de termotolerantes dos RSU;
- Analisar o nível de patogenicidade dos resíduos;
- Verificar a variação dos Coliformes totais e termotolerantes nos resíduos ao longo do tempo e suas relações com as condições dos RSU;
- Análise descritiva dos dados e geração da matriz de correlação entre as variáveis estudadas;
- Realizar um estudo multivariado com uso da técnica de componentes principais relacionando os coliformes com pH, temperatura e recalque dos resíduos;

3 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

3.1 Resíduos Sólidos Urbanos

A industrialização e o crescimento econômico e demográfico das cidades têm aumentado a produção de RSU, agravando o desafio de dispor de maneira segura e adequada a crescente produção desses resíduos (CARVALHO, 1997).

Segundo a ABNT NBR 10004 (2004), são classificados com resíduos sólidos:

“aqueles resíduos nos estados sólido e semi-sólido, que resultam de atividades de origem industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nesta definição os lodos provenientes de sistemas 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, ou exijam para isso soluções técnica e economicamente inviáveis em face à melhor tecnologia disponível.”.

Essa definição torna evidente a diversidade e complexidade dos resíduos sólidos. Porém, deste montante, apenas os resíduos originários das atividades domésticas em residências urbanas, da varrição, limpeza de logradouros e vias públicas e outros serviços de limpeza urbana são considerados resíduos sólidos urbanos, conforme descreve Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010.

No Brasil, um dos maiores problemas ambientais é a destinação dada aos RSU. Segundo os dados da ABRELPE (2012) a geração de RSU cresceu 1,3%, de 2011 para 2012, índice que é superior à taxa de crescimento populacional urbano no país que é de 0,9%. No ano de 2012 os brasileiros geraram, aproximadamente, 62.730.096 toneladas de RSU. Onde 47% deste montante de resíduo gerados tem destinação final inadequada.

O Estado da Paraíba, que no ano de 2012 gerou 1.242.825 toneladas de RSU, destinou/tratou 75% dos RSU de maneira inadequada. Com a Política Nacional dos Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, espera-

se que este cenário seja mudado e que os resíduos sejam segregados, acondicionados, transportados e tratados corretamente.

Uma solução adequada, segundo a PNRS (2010), é a disposição dos RSU em aterros sanitários, o que em tese evitaria uma série de problemas ambientais, porém apenas dispor estes resíduos não é uma prática sustentável do ponto de vista econômico e social. É necessária a segregação da matéria para que se tenha um aproveitamento máximo e que sejam dispostos nos aterros sanitários apenas os materiais que não possam ser reciclados

Os aterros sanitários apresentam maior praticidade e custos mais baixos, quando comparadas as outras metodologias de tratamento. Todavia, é necessário que haja um monitoramento contínuo dos RSU, pois assim que ocorre a disposição dos RSU, devido às condições ambientais, estão presentes os micro-organismos aeróbios, onde existe uma fonte de oxigênio (oxidante) para suas atividades metabólicas. Porém, no decorrer do tempo, ocorre a diminuição deste gás e então micro-organismos anaeróbios passam a predominar na massa de resíduos. Além do mais, a velocidade da biodegradação dos resíduos em um aterro sanitário está relacionada com a ação conjunta dos micro-organismos (MELO, 2003).

3.2 Biodegradação dos Resíduos em Aterros Sanitários

A biodegradação dos RSU, em aterros sanitários, ocorre devido à presença de micro-organismos, e para que ocorra um crescimento bacteriano satisfatório são necessárias condições mínimas para a sua sobrevivência e posterior reprodução. Portanto, é necessário que as concentrações de oxigênio, pH, umidade, nutrientes e temperatura estejam em condições ideais para seu desenvolvimento.

As comunidades microbianas presentes nos aterros incluem bactérias hidrolíticas e fermentativas, acidogênicas, acetogênicas e archeas metanogênicas, além de bactérias redutoras de sulfato e protozoários (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

A decomposição dos resíduos, conforme Melo (2011), em aterros sanitários, é iniciada através de ação dos micro-organismos anaeróbios, pois mesmo com a cobertura dos RSU nos aterros sanitários, ainda há presença de oxigênio. Conforme

Melo (2003), estes resíduos são submetidos à ação de enzimas extracelulares específicas, secretadas pelos diferentes tipos de micro-organismos.

Com a redução dos níveis de oxigênio, começam a predominar os micro-organismos anaeróbios facultativos, que são aqueles que convertem o material orgânico, já degradado em processo aeróbio, em compostos solúveis, através de processos de hidrólise (primeira fase anaeróbia de degradação de matéria orgânica), formando compostos capazes de penetrar nas células dos micro-organismos, onde no interior das células esses substratos são metabolizados (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

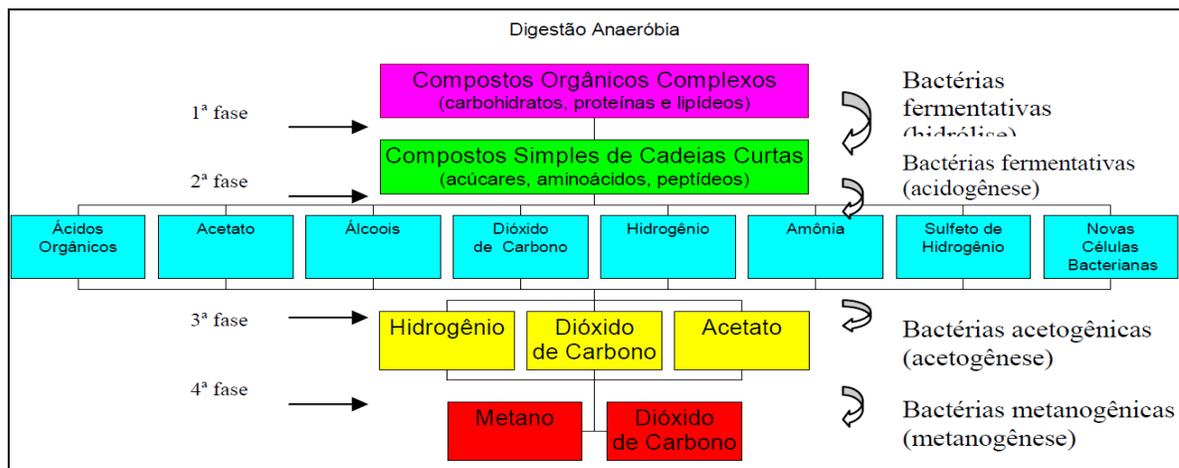
Após a hidrólise, as bactérias transformam a matéria orgânica que está no seu interior, em compostos orgânicos simples de alta solubilidade, principalmente ácidos graxos voláteis.

Na terceira fase, os ácidos se misturam com o líquido que desprende da massa de resíduo sólido, fazendo com que haja uma redução do pH, favorecendo o aparecimento de odores e formando definitivamente os compostos orgânicos simples.

Na quarta fase, os compostos orgânicos simples formados na terceira fase são consumidos por bactérias anaeróbias, denominadas de bactérias metanogênicas, que darão origem ao metano (CH_4) e ao gás carbônico (CO_2).

A Figura 1 ilustra o processo de degradação anaeróbica dos RSU.

Figura 1 - Fluxograma do processo de decomposição anaeróbia dos RSU.



Fonte: Monteiro, 2003.

A digestão anaeróbia pode ser considerada como um sistema onde diversos grupos de micro-organismos trabalham em diversas fases para converter matéria orgânica complexa em metano, água, gás sulfídricas e amônia, além de novas células (CHERNICHARO, 1997).

3.2.1 Recalques

Os recalques em aterros de RSU ou redução da sua altura e volume são frutos da perda de massa sólida dos seus constituintes orgânicos que ocasiona rearranjos, distorções e outros fatores com sua conseqüente diminuição em volume e massa (Caribé et al., 2011). Estes recalques são fruto de cargas (externas e peso próprio) e, principalmente, da degradação da matéria orgânica dos resíduos, pois a conversão da massa de matéria orgânica biodegradável em subprodutos como biogás e líquidos lixiviados influenciam diretamente nos cálculos balanço de massa e estes subprodutos devem ser quantificados ao longo da vida útil do aterro sanitário.

De acordo com Monteiro (2003), em um aterro de resíduos sólidos a magnitude e velocidade dos recalques são, principalmente, ocasionados pela ação conjunta dos micro-organismos através de atividades bioquímicas complexas, de cargas externas aplicadas e do próprio peso além da compactação da massa aterrada.

Segundo Melo (2003), os recalques que ocorrem na massa de resíduos sólidos constituem um aspecto prático importante e não só repercutem nos aspectos estruturais da obra, mas também no que diz respeito ao aproveitamento do volume. Além do mais, os recalques podem gerar instabilidade na massa de resíduos e/ou deslizamentos de taludes.

Vale salientar que os recalques em aterros são indicativos da evolução da biodegradabilidade dos resíduos e ocasionam a expulsão de líquidos e gases. Portanto, quantificar os recalques implica em determinar a eficiência biodegradativa dos resíduos sólidos urbanos.

3.3 Micro-organismos Presentes nos Resíduos Sólidos Urbanos

A degradação da matéria orgânica dos resíduos sólidos depositados nos aterros ocorre pela ação de diferentes grupos de micro-organismos, que podem extrair poluentes que combinam o solo, a água e a atmosfera. Por isso, é importante entender a ação de micro-organismos decompositores, pois eles são os principais responsáveis pela degradação da matéria orgânica, e conseqüentemente pela geração de gases e lixiviados de grande impacto ambiental (Araújo Neto et al., 2013).

De acordo com Vazoller (2001), a utilização de micro-organismos no saneamento básico e ambiental é prática comum desde os primórdios do desenvolvimento dos processos biológicos de tratamento de águas residuárias e resíduos sólidos. Devido à capacidade dos micro-organismos de metabolizarem diferentes compostos orgânicos e inorgânicos, naturais ou sintéticos, extraíndo-se desses compostos fontes nutricionais e energéticas, possibilitou o emprego desses agentes biológicos pela engenharia sanitária, como solução aos problemas gerados pelos rejeitos lançados no meio ambiente.

São diversos os micro-organismos que podem ser encontrados em resíduos sólidos. Por serem de interesse sanitário ambiental, são empregadas em análises de diagnóstico ambiental. A Tabela 1 e 2 apresenta os principais tipos de bactérias presentes na fase aeróbia e anaeróbia, respectivamente, da biodegradação dos resíduos sólidos.

Tabela 1 - Espécies de bactérias presentes em sistemas aeróbios.

Tipos de Micro-organismos	Espécies mais representativas
Bactérias Heterótrofas	<i>Pseudomonas sp</i> , <i>Zooglea ramigera</i> , <i>Achromobacter sp</i> , <i>Flavobacterium sp</i> , <i>Mycobacterium sp</i> , <i>Alcaligenes sp</i> , <i>Arthrobacter sp</i> e <i>Citromonas sp</i> .
Bactérias Filamentosas	<i>Sphaerotillus natans</i> , <i>Beggiatoa sp</i> , <i>Thiothrix</i> , <i>Leucothrix sp</i> , <i>Microthrix parvicella</i> , <i>Nocardia sp</i> , <i>Nostocoida limicola</i> , <i>Haliscomenobacter hydrossis</i> , <i>Flexibacter sp</i> e <i>Geotrichum sp</i> .
Bactérias Nitrificantes	<i>Nitrosomonas sp</i> e <i>Nitrobacter sp</i> .

Fonte: Vazoller et al.,2001.

Tabela 2 - Espécies de bactérias presentes em sistemas anaeróbios.

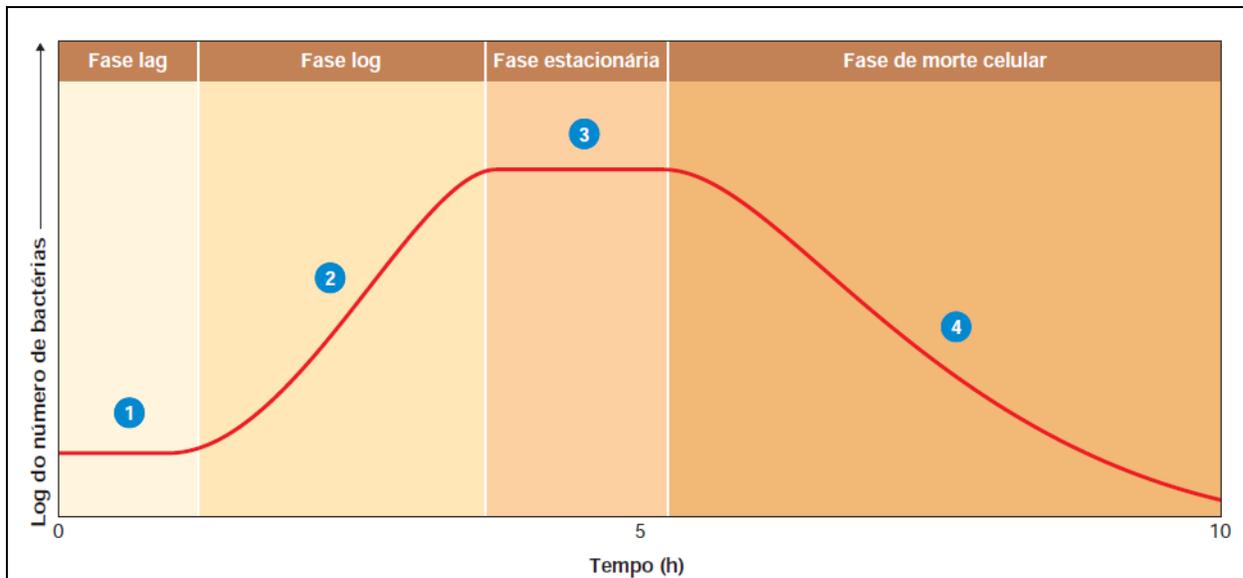
Tipos de Micro-organismos	Espécies mais representativas
Hidrólise e acidogênese	<i>Clostridium succinogenes</i> , <i>Acetivibrio cellulolyticus</i> , <i>Bacteroides fibrisolvens</i> , <i>Butyrivibrio fibrisolvens</i> , <i>Eubacterium cellulosolvens</i> , <i>Bacillus sp</i> , <i>Selenomas sp</i> , <i>Megasphaera sp</i> , <i>Lachnospira multiparus</i> , <i>Peptococcus anaerobicus</i> , <i>Bifidobacterium sp</i> , <i>Sthaphylococcus sp</i> .
Acetogênese	<i>Syntrophomonas wolinii</i> , <i>S. wolfei</i> , <i>Syntrophus buswellii</i> , <i>Clostridium bryantii</i> , <i>Acetobacterium woddii</i> , várias espécies de bactérias redutoras do íons sulfato – <i>Desulfovibrio sp</i> , <i>Desulfotomaculum sp</i> .
Metanogênese acetoclástica	<i>Methanosercina sp</i> e <i>Methanotrix sp</i> .
Metanogênese hidrogenotrófica	<i>Methanobacterium sp</i> , <i>Methanobrevibacter sp</i> , <i>Methanospirillum sp</i>

Fonte: Vazoller et al.,2001.

3.3.1 Curva de crescimento microbiano

De acordo com Monteiro (2003) as culturas bacterianas crescem exponencialmente durante o crescimento ativo, aumentando em progressão geométrica. Esse crescimento é influenciado pela composição nutricional do meio e pelas condições físicas. Se o crescimento bacteriano se dá num sistema fechado, ou seja, sem a entrada de um novo nutriente e nem a remoção dos metabólitos gerados no processo, ocorre a exaustão do sistema. Durante o crescimento, a população em sistema fechado é balanceada, havendo um aumento ordenado em todos os constituintes de cada célula. Quando é atingida a população máxima, ocorre a exaustão de nutrientes e a intoxicação pelos produtos metabólicos gerados pelos próprios micro-organismos. A reprodução é inibida e começa a morte celular. O crescimento bacteriano é demonstrado por meio de uma curva de crescimento das células durante um período de tempo, como mostra a Figura 2.

Figura 2 - Curva de crescimento bacteriano mostrando as quatro fases.



Fonte: Tortora et al., 2013.

Existem, fundamentalmente, quatro fases de crescimento:

1 - Fase Lag: No período inicial, parece não haver crescimento, é uma fase onde há uma adaptação microbiana ao ambiente imposto. Os micro-organismos se adaptam enzimaticamente ao novo meio. Esta fase inicial é denominada fase lag.

2 - Fase Log: Segundo Tortora et al. (2000), a partir de um determinado momento, as células iniciam seu processo de divisão, entrando no período de crescimento exponencial ou logarítmico. Aqui as bactérias já estão adaptadas e ocorre o crescimento intenso com uma degradação biológica elevada. O gráfico logarítmico desta fase de crescimento é uma linha reta devido ao tempo de geração ser constante. Esta fase log é o período de maior atividade metabólica. No entanto, nesta fase de crescimento log, os micro-organismos são particularmente sensíveis às mudanças ambientais.

3 - Fase Estacionária: Quando a fase de crescimento exponencial continua durante um longo período ocorrerá a formação de um grande número de células. Tortora et al. (2000) afirmam que, se uma bactéria se divide a cada 20 minutos, durante somente 25,5 horas, produzirá, teoricamente, uma população equivalente em peso a de um avião de 80.000 toneladas. Porém, este fato não ocorre. Nesta fase o número de

bactérias que morrem é igual ao que cresce. Portanto, não há crescimento evidente e a população se torna estável. Diversos fatores podem intervir na fase log a diminuir a sua atividade. Entre eles tem-se: o término de nutrientes, o acúmulo de produtos de degradação, assim como mudanças no pH danosas as células.

4 - Fase de Morte Celular: Em determinado momento ocorre o declínio ou morte celular, pois o número de células mortas excede ao de células novas. O número de catabólitos aumenta até provocar morte das células. Esta fase continua diminuindo o número de células, até existir uma fração ínfima do original e a população desaparece totalmente. Algumas espécies bacterianas fazem este ciclo das quatro fases em poucos dias, outras, no entanto, podem permanecer com poucas células viáveis indefinidamente (Tortora et al., 2013).

3.3.2 Coliformes

3.3.2.1 Coliformes Totais

Os coliformes totais desempenham importante papel na degradação dos RSU, contribuindo para a redução do seu volume quando dispostos, principalmente, em aterros sanitários, conseqüentemente, aumentando a vida útil destes aterros. Eles também podem ser utilizados com indicador de poluição ambiental, pois algumas dessas bactérias são originárias do trato intestinal de animais de sangue quente e pode está associada a uma grande variedade de agentes patogênicos (ARAÚJO NETO, et al., 2013).

Por isso, apesar de serem considerados indicadores de poluição, esses microrganismos também podem representar um papel importante no processo de degradação da matéria orgânica presente nos RSU. O grupo Coliformes é formado por uma grande diversidade de bactérias, que, de acordo com Frazier e Westhoff (1993), têm capacidade de crescer em diversos substratos e utilizar os carboidratos e outros compostos orgânicos como fonte de energia, além de elementos nitrogenados simples como fonte de nitrogênio. São, ainda, capazes de sintetizar a maioria das vitaminas de que necessitam (ALCÂNTARA, 2007).

Conforme APHA (1998), os coliformes são bactérias, na forma de bacilos, não esporuladas, aeróbias ou anaeróbias facultativas, que fermentam a lactose com produção de aldeído, ácido e gás, em 48 horas, a uma temperatura de 35°C. São normais do trato intestinal de qualquer animal, mas, também, são encontradas nos solos e vegetações. Indicam a presença de bactérias do gênero *Escherichia*, *Enterobacter*, *Citrobacter* e *klebsiella* (MONTEIRO, 2003).

3.3.2.2 Coliformes Termotolerantes

Os coliformes termotolerantes são micro-organismos pertencentes ao grupo dos coliformes totais, que de acordo com a Resolução CONAMA nº 274, de 29 de novembro de 2000, são caracterizados pela presença da enzima β -galactose e pela capacidade de fermentar a lactose, com produção de gás, a temperatura de 44-45°C.

A presença dos Coliformes termotolerantes, segundo Alcântara (2007), pode está associado a uma grande variedade de agentes enteropatogênicos, como *Campylobacter*, *Salmonela*, *Shigella*, *Yersinia*, *Aeromonas*, *Pasteurella*, *Francisella*, *Leptospira*, *Vibrio*, protozoários e vírus, como o da hepatite, portando pode ser utilizados como indicadores de poluição ambiental.

3.4.3 Fatores intervenientes no desenvolvimento dos coliformes

O crescimento dos micro-organismos é afetado por diversas condições físicas e químicas do ambiente onde se encontram, sendo que estas podem influenciar tanto positivamente quanto negativamente. Os fatores físicos que influenciam são temperatura e pressão osmótica. Os fatores químicos incluem fontes de carbono, nitrogênio, enxofre, fosforo, oxigênio, pH e fatores orgânicos de crescimento (TORTORA et al, 2013).

3.4.3.2 pH

O pH expressa a concentração do íon de hidrogênio, é usado universalmente para determinar o grau de acidez ou basicidade de uma solução. Esse parâmetro influencia em diversas reações bioquímicas dos coliformes, portanto, é utilizado para monitoramento indireto em diversos ambientes.

O pH, que é um parâmetro químico, pode ser determinante no nível de desenvolvimento da atividade microbiana (EMCON, 1986). De acordo com Alexopoulos (1996), as bactérias podem ser classificadas conforme o pH do substrato, as acidófilas, são aquelas que se desenvolvem em ambiente com pH abaixo de 5,4, já as alcalinófilas, desenvolvem-se em faixas de pH acima de 8,5 e as neutrófilas, são aquelas que apresentam um melhor crescimento numa faixa de pH de 5,4 a 8,5.

Porém, as bactérias, na maioria das vezes, são capazes de manter o pH próximo de sua faixa de crescimento, pois possuem tampões naturais e efetuam trocas de íons de hidrogênio com o meio externo (BIDONE, 2001). Entretanto, quando os valores de pH do substrato estão em faixas extremas da normalidade do desenvolvimento das bactérias, o tampão natural, talvez não seja suficiente para manter a estabilidade do seu crescimento.

Os Coliformes totais e termotolerantes apresentam um pH ótimo de crescimento próximo da neutralidade que é praticamente o mesmo intervalo de pH (6,7 a 7,5 – CHRISTENSEN e KJELDSSEN, 1989 - ou de 6,6 a 7,6 - McCARTY, 1964a) que os processos de digestão anaeróbia se desenvolvem melhor. Valores na faixa de 4,5 a 5,0 afetam as bactérias fermentativas (ALCÂNTARA, 2007), assim como os valores de 8,0 a 8,5 (McCARTY, 1964a e 1964b).

3.4.3.4 Temperatura

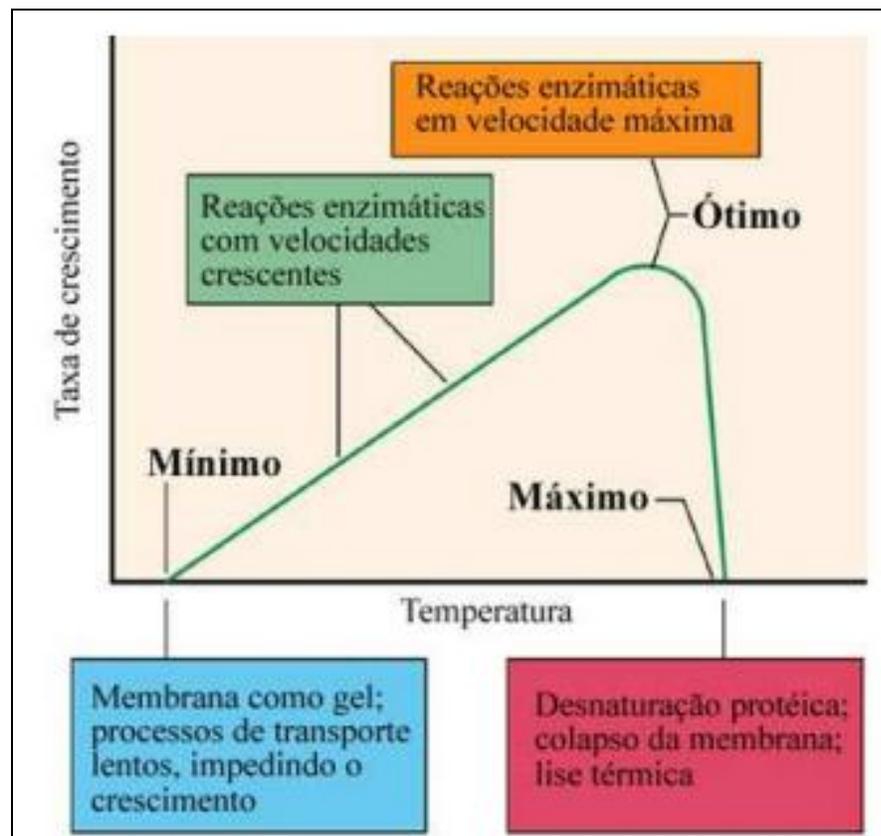
Uma das maneiras de verificar a intensidade da atividade microbiana é analisar o comportamento térmico do meio, visto que a atividade metabólica dos microorganismos resulta num aumento de temperatura.

A temperatura corresponde a um dos principais fatores ambientais que influenciam o desenvolvimento bacteriano. O aumento da temperatura de um sistema

indica que as reações químicas e enzimáticas das células estão aceleradas, aumentando assim, a taxa de crescimento microbiano e conseqüentemente a biodegradação da matéria. Entretanto, determinadas temperaturas favorece o processo de desnaturação de proteínas e ácidos nucléicos, inviabilizando a sobrevivência celular (RUSSO, 2003).

Assim, os micro-organismos apresentam uma faixa de temperatura ótima para seu desenvolvimento e outras faixas que retardam ou inibem o seu crescimento, conforme apresentado na Figura 3.

Figura 3 - Taxa de crescimento dos micro-organismos em função da temperatura.



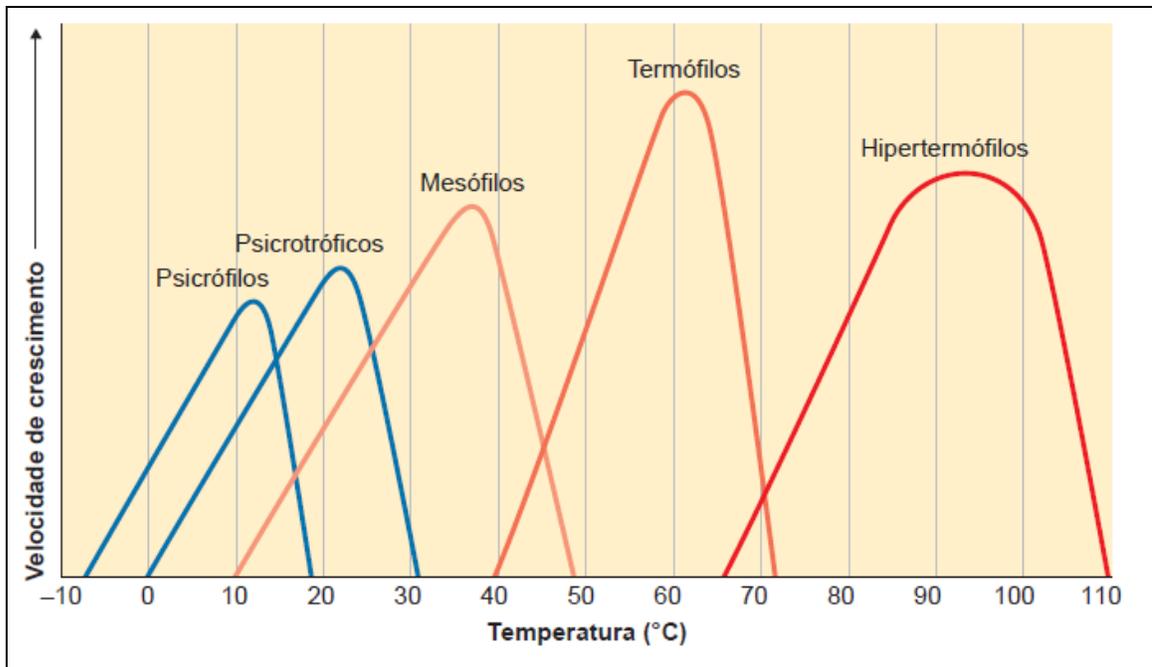
Fonte: Adaptado de Madigan et al., 2003.

Cada espécie de micro-organismo apresenta uma faixa de temperatura ótima de crescimento. A temperatura mínima de crescimento é a menor temperatura na qual a espécie pode crescer. A temperatura ótima de crescimento é a temperatura na qual a espécie cresce melhor. A temperatura máxima de crescimento é a maior temperatura

na qual o crescimento é possível. Por isso, os micro-organismos podem ser classificados em três grupos principais com base na temperatura: em psicrófilos (crescem em baixas temperaturas), mesófilos (crescem em temperaturas moderadas) e termófilos (crescem em altas temperaturas) (TORTORA et al., 2013).

A Figura 4 apresenta a velocidade de crescimento dos diferentes tipos de micro-organismo conforme a variação da temperatura.

Figura 4 - Velocidades de crescimento características de diferentes tipos de micro-organismos em resposta à temperatura.



Fonte Tortora et al., 2013.

Ainda segundo Tortora et al (2013) as faixas de temperaturas de crescimento que definem as bactérias como psicrófilos, mesófilos ou termófilos não estão determinadas de maneira rígida. Nos psicrófilos, por exemplo, existem dois grupos diferentes capazes, de crescer nessa temperatura. Um grupo, composto somente por psicrófilos, que cresce a 0°C, mas tem uma temperatura ótima de crescimento próxima de 15°C e o outro grupo, psicrotróficos, que pode crescer a 0°C, mas tem temperaturas ótimas de crescimento mais elevadas, geralmente de 20 a 30°C, e não pode crescer em

temperaturas acima de 40°C. Pelczar Jr et al, 1997, usa o termo psicotrópico para este grupo de micro-organismos.

Os mesófilos, conforme Tortora et al., (2012), apresentam uma temperatura ótima de crescimento de 25 a 40°C, são os micro-organismos mais comuns. A temperatura ótima para a maioria das bactérias patogênicas é 37°C. Os mesófilos incluem a maioria dos micro-organismos deteriorantes e patogênicos.

Os termófilos são micro-organismos capazes de crescer a temperaturas altas. Muitos desses tem uma temperatura ótima de crescimento de 50 a 60°C. Alguns micro-organismos tem uma temperatura ótima de crescimento de 80°C ou mais. Esses micro-organismos são chamados de hipertermófilos ou de termófilos extremos

3.5 Biorreator como Modelo de Simulação de um Aterro Sanitário de Resíduos Sólidos Urbanos

De acordo com Silva et al. (2014), um biorreator pode ser um modelo representativo de uma célula experimental, em escala reduzida, de um aterro sanitário. Assim, como em aterros sanitário, os biorreatores são 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. Podendo ter a capacidade de simular e acelerar a decomposição aeróbia e anaeróbia dos RSU (MEIRA, 2009).

As células experimentais são importantes, uma vez que viabilizam as condições de decomposição microbiológica e aceleram estabilização da massa de resíduo, permitindo a disposição adicional de resíduos ou reuso mais rápido do aterro (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 (ARAÚJO, 2011).

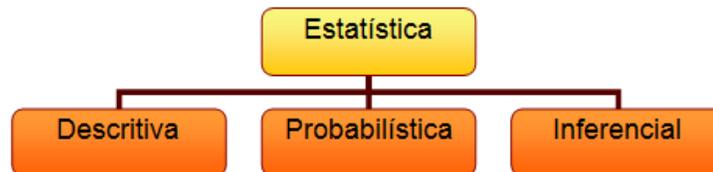
Monteiro (2003), Araújo (2011), Araújo Neto et al., (2012) realizaram estudos em biorreatores para compreender o comportamento dos resíduos, maximizar a geração de biogás e acelerar os processos degradativos,

3.6 Análise Estatística

A estatística, de acordo com Guedes et al. (2014) 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.

Segundo Fonseca e Martins (1994) a estatística subdivide-se em três áreas distintas: descritiva, probabilística e inferencial (Figura 5).

Figura 5 - Subdivisões da estatística.



A estatística descritiva busca descrever os dados, realizar agrupamentos e apresentá-los em gráficos e tabelas, a probabilística ajusta os valores experimentais a modelos probabilísticos conhecidos fundamentados na teoria das probabilidades e a inferencial realiza análise dos dados e sua interpretação (GUEDES, 2014).

3.6.1 Estatística descritiva

A estatística descritiva é um conjunto de técnicas que objetivam descrever, analisar e interpretar os dados numéricos de uma população ou amostra sintetizando 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 (FONSECA e MARTINS, 1994) e (PAIVA, 2009).

Os métodos numéricos que integram o ramo da estatística descritiva dividem-se em medidas de tendência central, de ordenação ou separatrizes, de dispersão, de assimetria e de curtose (MARTINS e DOMINGUES, 2011).

Segundo Borges (2003), um tipo de medida de tendência central mais utilizada é a média, que resume a série de dados analisado em um único valor, podendo assim expressar a concentração dos parâmetros estudados de maneira generalizada. Quanto menor for a dispersão ou a variabilidade dos dados, mais representativo será o valor da medida de tendência central apresentado.

Portanto, a dispersão ou variabilidade, trata-se do grau de variação dos dados em torno de um valor médio. Entre as medidas de variabilidade mais utilizadas estão a amplitude, desvio médio, variância, desvio padrão e coeficiente de variação.

A amplitude total é dada pela diferença entre o maior e menor valor da série, porém sua utilização é limitada, pois depende apenas dos valores extremos, não analisando as possíveis variações entre esses limites. A variância mede a média quadrada da diferença entre os valores da média aritmética e cada elemento da série. O desvio padrão é uma medida de ajuste que verifica a diferença entre os valores de uma sequência e a média aritmética da mesma. Toda via, essas três medidas de dispersão trazem consigo uma forte influência das unidades das variáveis a qual representam, para essa correção, utiliza-se o coeficiente de variação que apresenta a dispersão dos valores em termos percentuais.

Enquanto a amplitude, a variância e o desvio padrão são medidas absolutas de dispersão, o coeficiente de variação mede a dispersão relativa. Assim, ao analisar um conjunto de valores experimentais, diz-se que os dados analisados possui pequena variabilidade (dispersão) quando o coeficiente de variação apresentar valor inferior a 15%; média dispersão quando apresentar valores superiores 15% e inferiores ou igual a 30%; e grande dispersão quando superior a 30% (MARTINS e DOMINGUES, 2011).

3.6.1.1 Correlação

O termo correlação refere-se a qualquer elemento de uma ampla classe de relações estatísticas envolvendo dependência. As correlações são definidas como uma medida da relação entre duas ou mais variáveis (ALVES, 2012). O tipo de coeficiente de correlação mais utilizado é o coeficiente de correlação do produto de momentos de Pearson, também chamado de Coeficiente de Person. A correlação de Pearson assume que as duas variáveis são medidas em escalas intervalares à medida que os valores das duas variáveis são "proporcionais" uns aos outros (MARTINS e DOMINGUES, 2011).

Coeficiente de correlação pode variar de -1,0 a 1,0. Quanto maior for a qualidade do ajuste, ou a correlação entre as variáveis, mais próximo de +1 ou -1 está o valor do coeficiente. O valor de -1,0 representa uma perfeita correlação negativa enquanto um valor de 1,0 representa uma perfeita correlação positiva. Segundo Martins e Rodrigues (2011) correlações entre 0,10 e 0,30 podem ser consideradas fracas; entre 0,40 e 0,60 podem ser consideradas moderadas; e valores entre 0,70 e 1,0 podem ser interpretados como forte. Segundo Alves (2012) quanto mais perto de 1,0 (independente do sinal) maior é o grau de dependência estatística linear entre as variáveis. No outro oposto, quanto mais próximo de zero, menor é a força dessa relação.

3.6.2 *Análise de Componentes Principais (ACP)*

Para realização da Análise dos Componentes Principais (ACP), faz-se necessário a realização do teste de normalidade, usada para verificar se os dados estudados seguem uma distribuição normal, habilitando os valores a serem estudados com base na estatística paramétrica, caso contrário, usa-se testes pertencentes à estatística não paramétrica. A validação dos dados, quanto a normalidade, pode ser feita utilizando-se alguns testes, dentre eles citam-se: Klomogorov–Smirnov, Shapiro Willk e Qui quadrado.

Dentre os mais variados testes de normalidade o Kolmogorov–Smirnov e o mais utilizado. Este teste compara a distribuição real dos dados (amostra) com uma distribuição normal gerada por uma média e um desvio padrão dos dados obtidos na pesquisa. Neste teste, adota-se a hipótese nula indicando a normalidade dos dados se $p\text{-valor} > \alpha$ (nível de significância). No entanto, se $p\text{-valor} < \alpha$ rejeita-se a hipótese nula, uma vez que os dados não seguem uma distribuição normal.

A ACP, segundo Ribeiro (2012), tem o objetivo de obter um pequeno número de combinações lineares (componentes principais) de um conjunto de variáveis, que retenham o máximo possível de informações contida nas variáveis originais.

4 METODOLOGIA

Esta pesquisa foi desenvolvida a partir do projeto de construção, instrumentação, enchimento e monitoramento de um biorreator de resíduos sólidos urbanos. O biorreator em escala piloto, conforme Figura 6, tem a finalidade de simular as diferentes condições operacionais de um aterro sanitário.

Figura 6 - Biorreator.



Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

Para realização desta pesquisa firmou-se uma parceria entre a Universidade Estadual da Paraíba (UEPB) e a Universidade Federal de Campina Grande (UFCG).

As amostras de resíduos eram coletas no biorreator localizado nas dependências da UFCG, pelo grupo de pesquisa de Geotecnia Ambiental (GGA), e em seguida levadas, devidamente acondicionadas, segundo a NBR 10007 (ABNT 2004), para a Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários (EXTRABES) da UEPB.

4.1 Descrição do Local da Pesquisa

A pesquisa foi desenvolvida no município de Campina Grande, que está localizado na Mesorregião do Agreste Paraibano, de acordo com os dados do IBGE (2010), tem uma população de 383.941 habitantes, com área de aproximadamente 621 km² (área urbana de aproximadamente 96 km²) e encontra-se a 120 km da capital do Estado, João Pessoa.

A cidade de Campina Grande, desde 2012 dispõe seus RSU em um aterro localizado em Puxinanã, mas, antes os resíduos eram dispostos em um lixão que está situado a 9 km do centro da cidade de Campina Grande. Atualmente o lixão encontra-se desativado, porém serviu de depósito de resíduos da cidade durante 15 anos.

4.2 Coleta e Amostragem dos Resíduos

Para a realização da coleta e amostragem utilizou-se o procedimento recomendado pela ABNT NBR 10.007 (2004). A coleta das amostras foi realizada através de um caminhão compactador com capacidade aproximada de 9 ton, com rotas definidas pelo Departamento de Limpeza Urbana (DLU) da Prefeitura Municipal de Campina Grande-PB.

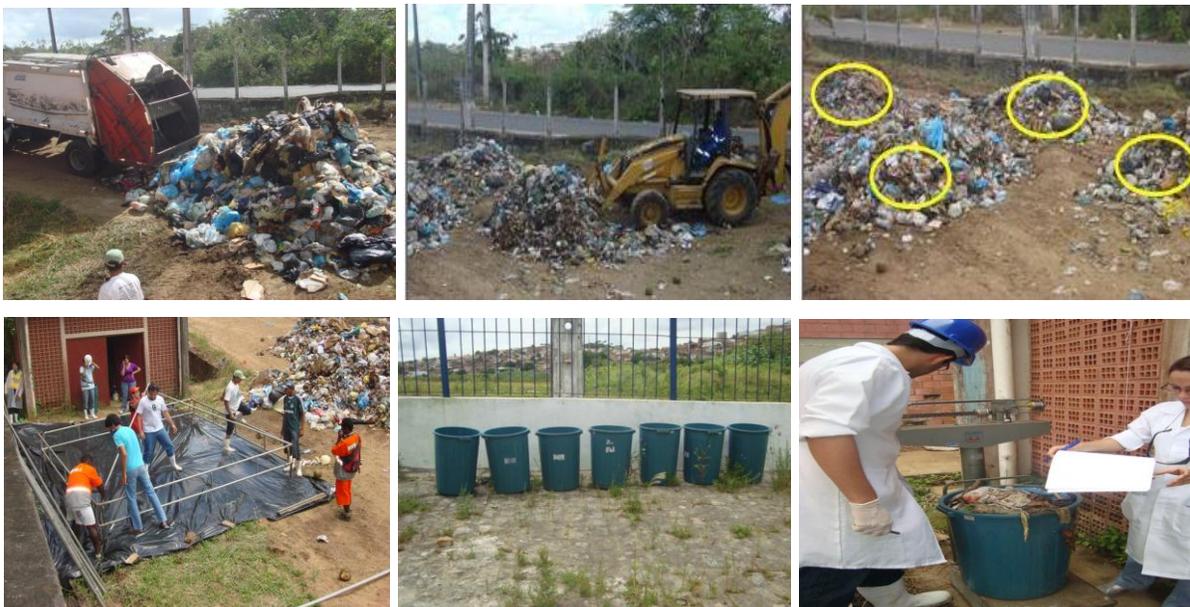
Visando obter amostras representativas dos RSU da cidade verificou-se a necessidade de se estabelecer um plano de amostragem que foi delimitado pela escolha de três bairros baseados no critério de condição social, de modo a se obter uma amostra representativa destes resíduos. Os bairros selecionados, indicados na

Para a caracterização gravimétrica dos resíduos foram realizadas as seguintes etapas:

1. Descarregamento, homogeneização e quarteamento dos resíduos, eliminando duas pilhas de resíduo e homogeneizando as outras duas para realização da caracterização;
2. Com recipientes de aproximadamente 65 Litros, foram retiradas amostras da pilha resultante, sendo 4 amostras das laterais da base, 3 do centro e 2 do topo da pilha, resultando aproximadamente 160 kg de resíduo ou 585 Litros;
3. O material retirado da pilha resultante foi pesado e em seguida disposto em local preparado com lona plástica para o processo de triagem;
4. Os resíduos foram classificados segundo Lipor (2000), de acordo com as seguintes categorias: plásticos, metal, vidro, compósitos, têxteis sanitários, papel e papelão, matéria orgânica e outros;
5. Em recipientes tarados e etiquetados, foram realizadas as devidas medições do peso dos RSU separados por categorias.

A Figura 8 ilustra as etapas da caracterização gravimétrica dos RSU.

Figura 8 - Etapas da caracterização gravimétrica dos RSU



Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

4.4 Construção do biorreator

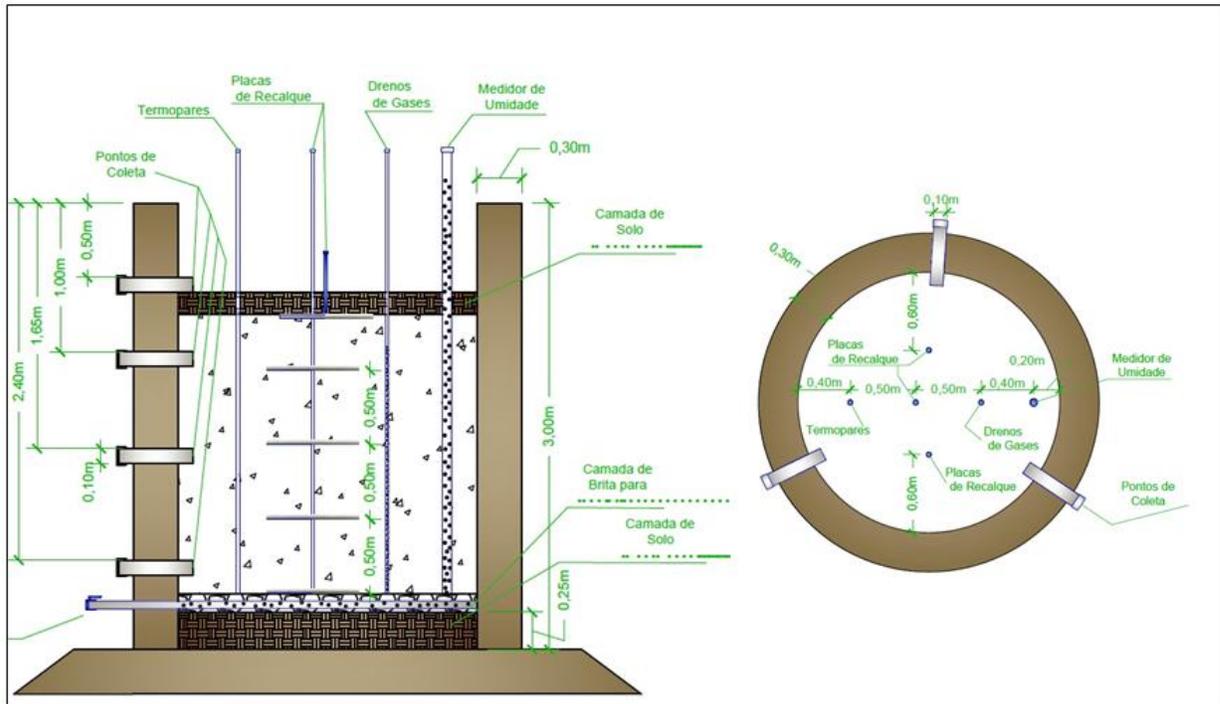
O biorreator foi construído em alvenaria de tijolos manuais, com diâmetro interno de 2,0m e altura 3,0m com volume aproximado de 9 m³ com formato cilíndrico e seção transversal circular visando facilitar a distribuição e a compactação dos resíduos no seu interior, uniformizar a distribuição das pressões laterais na parede interna do biorreator, evitar caminhos preferenciais de percolação do lixiviado e reduzir a área de superfície lateral interna diminuindo o contato entre os resíduos e a parede interna, conforme Figura 6.

O biorreator é dotado de sistemas de drenagens de líquidos e gases, medidores de nível dos líquidos, medidores de recalque superficiais e profundos e medidores de temperatura ao longo das profundidades.

Utilizou-se nas camadas de base e de cobertura um solo com características de baixa permeabilidade. Para a drenagem das águas pluviais o topo da camada de cobertura foi nivelado com uma inclinação da ordem de 2,0% para o centro.

Através do biorreator, monitoraram-se parâmetros físico-químicos, microbiológicos e geotécnicos para entender o comportamento dos resíduos durante o seu processo degradativo. Porém este trabalho apresenta apenas os resultados do monitoramento dos Coliformes totais e termotolerantes e sua correlação com a temperatura, pH e biodegradação. Estes dados poderão ser confrontados com dados em escala real de aterros de resíduos sólidos urbanos e de outros biorreatores, podendo servir de base para dimensionamentos de reatores e aterros sanitários. A Figura 9 mostra o croqui com os detalhes do biorreator estudado.

Figura 9 - Croqui da célula experimental – UFCG/GGA.



Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

4.5 Instrumentação do biorreator

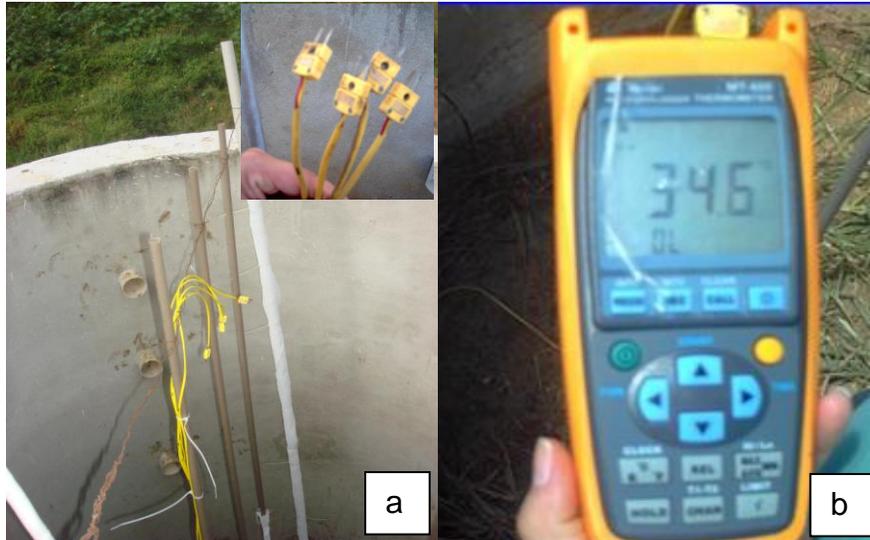
O biorreator é dotado de uma instrumentação descrita a seguir:

Piezômetro: para o monitoramento de líquidos, que consistirá em um tubo de PVC de 20 cm, com furos nas paredes do tubo e coberto com tela de nylon para evitar a obstrução dos furos. As medidas de variação do nível de lixiviado serão observadas com um sensor de nível d'água.

Tubo para drenagem de gases: consistirá em um tubo de PVC de 40 mm de diâmetro perfurado e envolvido por tela de nylon para evitar a obstrução dos furos.

Termopares: instrumentos usados para o monitoramento da temperatura no interior da célula experimental. Foram instalados quatro termopares do tipo K a cada 0,5 m de profundidade (Figura 10a). 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 10b).

Figura 10 - (a) Termopares do tipo K; (b) Termômetro elétrico.



Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

Medidor de recalque superficial e em profundidade: para o monitoramento dos recalques foram utilizadas placas de recalques circulares com diâmetros aproximados de 150mm, conforme Figura 11, confeccionadas em aço e revestidas com uma película anti-corrosiva. Estas placas foram instaladas na superfície e em profundidade.

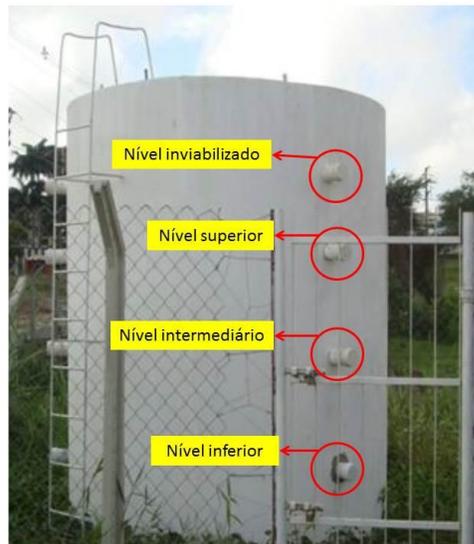
Figura 11 - Medidores de recalques superficiais e em profundidade.



Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

Pontos de coleta das amostras dos resíduos sólidos: foram construídos nove pontos de coleta de resíduos na célula experimental, sendo três pontos para cada nível de profundidade estudada. Porém, devido ao recalque imediato do resíduo, houve inviabilização da coleta de resíduo no nível superior. Fez-se necessário a inserção de mais três pontos de coleta para compor um novo nível de amostragem de resíduo no biorreator. Os pontos de amostragem foram classificados em três níveis (superior, intermediário e inferior), conforme Figura 12, cada nível apresentava três aberturas nas laterais para coleta das amostras.

Figura 12 - Níveis de coleta de resíduo no biorreator.



Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

4.6 Enchimento do biorreator

Após homogeneização e pesagem os resíduos foram lançados e compactados manualmente em camadas até a cota final pré-estabelecida, conforme Figura 13.

Figura 13 - Enchimento do biorreator.



Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

4.7 Monitoramento

O monitoramento foi realizado no período de outubro de 2009 a julho de 2011. Os resíduos eram coletados, por meio dos orifícios do biorreator, mensalmente, e classificados conforme o nível de profundidade coletado (superior, intermediário e inferior). Para cada nível coletou-se aproximadamente 600g com auxílio de um amostrador confeccionado pelo GGA, todo resíduo coletado era picotado e diluído para realização das análises de coliformes e pH, conforme ilustra Figura 14.

Figura 14 - (a) Coleta; (b) Picotagem; (c) Diluição dos resíduos.



Fonte: Dados da pesquisa, 2009.

4.7.1 Coliformes totais e termotolerantes

Para determinação dos Coliformes totais e termotolerantes o método utilizado foi o de Número Mais Provável (NMP). Este método permite fornecer somente uma estimativa de 95% de probabilidade da presença ou ausência dos micro-organismos em estudo (TORTORA, 2013), podendo através da combinação dos resultados (negativos e positivos) estimar a densidade das bactérias pesquisadas (SANCHEZ, 1999).

A metodologia para realização do monitoramento dos coliformes totais e termotolerantes está de acordo com o *Standard Methods* (AWWA/ APHA/ WEF, 1998), seguindo a técnica dos tubos múltiplos.

O ensaio se processa em duas etapas (ensaio presuntivo e confirmativo), de realização obrigatória para todos os tipos de amostras.

4.7.1.1 Ensaio presuntivo

Consistiu na semeadura de volumes determinados da amostra em séries de tubos de caldo lactosado com púrpura de bromocresol, que, são incubados a 35°C, durante 24 a 48 horas, ocorrendo o enriquecimento de micro-organismos fermentadores de lactose. A acidificação, com ou sem produção de gás, decorrente da fermentação da lactose contida no meio de cultura empregado neste ensaio, é prova presuntiva para a presença de bactérias do grupo coliforme.

4.7.1.2 Ensaio confirmativo

Consiste na transferência de cada cultura com resultado presuntivo positivo para caldo lactosado com verde brilhante e bile a 2%, sendo a incubação efetuada também a 35°C, durante 48 horas. A produção de gás, a partir da fermentação da lactose e/ou turvação do meio, é prova confirmativa para a presença de bactérias do grupo coliforme.

4.7.1.3 Coliformes Termotolerantes

A confirmação da presença ou ausência dos coliformes termotolerantes foi realizada a partir dos positivos presuntivos (coliformes totais). Os resultados positivos foram transferidos com alça de platina para tubos com meio de cultura específico para Coliformes termotolerantes (EC). Em seguida, os inóculos foram levados a estufa a 44°C durante 24 horas ou 48 horas. Ocorrendo a fermentação do meio e/ou produção de gás o resultado é positivo para coliformes termotolerantes.

4.7.2 pH

O pH foi determinado conforme descrito no Standard Methods (AWWA/ APHA/ WEF, 1998) com auxílio de um potenciômetro e eletrodos.

Para a realização desta análise adicionou em um béquer 25 mL do extrato, com concentração de 0,5 g/mL, obtido das amostras de resíduos promovendo uma leve agitação, com auxílio de um agitador magnético, em seguida foi introduzido no extrato o eletrodo do phmetro e fez-se a leitura do pH.

4.7.3 Temperatura

O monitoramento das temperaturas no interior do biorreator foi feito a partir de 4 termopares com conectores do tipo K, numerados de 1 a 4, e o auxílio de um termômetro. O termômetro portátil utilizado é do tipo digital com dois canais (T1 e T2), com capacidade de medir temperaturas na faixa de (-100°C a 1300°C) e apresenta resolução de 0,5°C e precisão de $\pm(0,1\%$ da leitura $\pm 0,7^\circ\text{C}$) para a faixa de leitura utilizada.

4.7.4 Recalques

Foram instalados previamente na célula experimental medidores de recalque superficial e em profundidade. Para o monitoramento de recalques superficiais foram utilizadas duas placas circulares com diâmetros aproximados de 150 mm, confeccionadas em aço e revestidas com uma película anti-corrosiva. Durante o enchimento da célula, ao atingir a altura pré-estabelecida de resíduos fez-se um nivelamento da camada superficial onde foram instaladas as duas placas de recalques superficiais, em seguida colocou-se um tubo de PVC de 20 mm para evitar o atrito entre o solo e a haste da placa e para impedir a entrada de umidade no sistema. Em seguida depositou-se uma camada de cobertura de solo compactado de 200 mm.

Para se medir os recalques em profundidades foram instalados previamente as placas de recalques em profundidade que possuem em seu centro um imã no qual passará um torpedo que acionará um dispositivo eletrônico e então se medirá o deslocamento vertical da placa.

As leituras dos recalques superficiais e em profundidade seguiram o procedimento descrito abaixo:

- **Placas superficiais:** estendeu-se um fio auxiliar horizontalmente de um lado a outro da abertura da célula experimental, mantendo-o nivelado sobre as duas placas superficiais. Mediu-se então a distância vertical do fio até o indicador da posição das placas.
- **Placas em profundidade:** foram utilizadas 6 placas magnéticas em diferentes profundidades. As placas magnéticas são providas de um anel com imã permanente, com orifício central destinado à passagem de tubo guia de PVC. A leitura foi realizada introduzindo-se um sensor de campo magnético dentro do tubo guia, que identifica a localização da placa magnética e aciona o ohmímetro analógico, modelo FT-1000A, que exibe um sinal por meio de um ponteiro móvel, possibilitando a leitura de recalques.

4.8 Estatística

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.

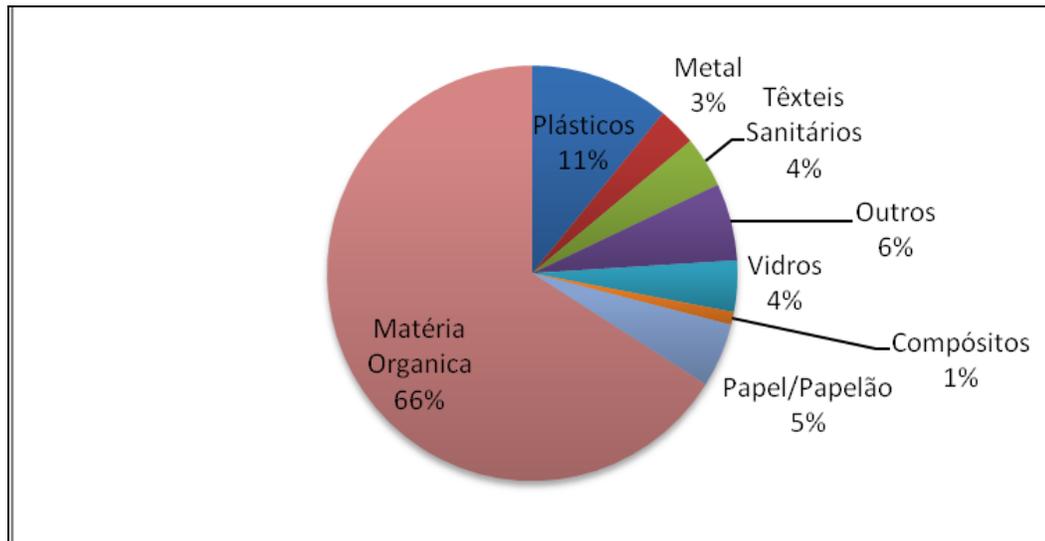
Para o estudo estatístico multivariado dos dados, utilizou-se inicialmente, uma matriz de correlação de Pearson, para analisar o nível de influência dos parâmetros estudados no desenvolvimento dos Coliformes totais e termotolerantes, assim com a contribuição destes microrganismos na degradação dos resíduos. Em seguida, realizou-se uma ACP para estudar a formação dos grupos de variabilidades equivalentes.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1 Composição Gravimétrica

A Figura 15 apresenta a composição gravimétrica do RSU da cidade de Campina Grande - PB, onde 66% dos resíduos sólidos gerados são constituídos de matéria orgânica, fração possivelmente pode ser facilmente degradada pela ação dos microrganismos, reduzindo significativamente o volume do aterro sanitário, caso os resíduos tenham esse método de tratamento.

Figura 15 - Composição gravimétrica dos resíduos.



Este elevado percentual de matéria orgânica está associado à cultura da população e/ou a uma má gestão dos resíduos sólidos. Pereira et al.,(2010) relata que este percentual é característico de países subdesenvolvidos.

Os plásticos atingiram um valor aproximado de 11% (percentagem em peso) do total dos resíduos. Segundo Melo (2011) este baixo percentual de plásticos em relação ao teor de matéria orgânica, em termos de composição gravimétrica, reflete suas baixas massas específicas que contribuem para um menor valor em seu peso.

Observa-se ainda, na composição gravimétrica, que 23% dos resíduos, percentual correspondente à fração de plásticos, metais, vidro, papel e papelão, que apresentam alto potencial de reciclagem, porém estes materiais também são destinados para o aterro sanitário, podendo reduzir a ação dos micro-organismos na biodegradação e o tempo de vida útil do aterro sanitário. Araújo Neto et al. (2012) estimou que Campina Grande perde mensalmente R\$ 1.557.787,50 por não realizar reciclagem desses resíduos.

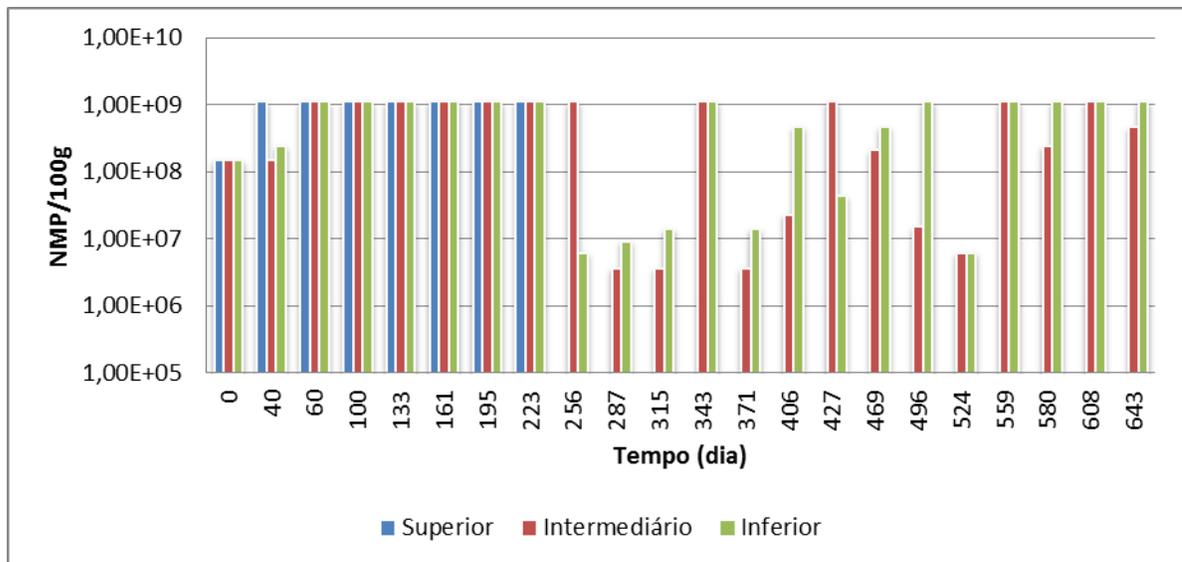
McDougal et al.,(2001) e Firmo et al.,(2010) indicam que a matéria orgânica pode ser facilmente, moderadamente ou dificilmente biodegradável, dependendo das condições do meio e da composição da matéria. Segundo Melo (2003) os produtos inerentes à própria degradação da matéria orgânica ou presentes na massa de resíduos disposta em aterros podem inibir ou diminuir a atividade metabólica dos micro-

organismos e, por consequência, a decomposição destes materiais. Portanto, faz-se necessário um monitoramento dos resíduos através, principalmente, da quantificação dos micro-organismos presentes nas diferentes fases de degradação dos resíduos.

5.1 Coliformes Totais

Os resultados encontrados na quantificação dos coliformes totais (Figura 13) mostram que estes micro-organismos estão presentes em todos os níveis de profundidade, com uma variação de 10^6 a 10^9 NMP/100g, isso já era esperado, pois os coliformes são bactérias aeróbias ou anaeróbias facultativas, por isso a profundidade não prejudica seu desenvolvimento, nem tampouco a fase de decomposição em que se encontram os resíduos, podendo estes apresentarem condições favoráveis para o desenvolvimento de coliformes totais.

Figura 16 - Comportamento dos coliformes totais ao longo do tempo e em profundidade do biorreator.



Nos primeiros 223 dias de monitoramento não ocorreram variações significativas do Número Mais Provável (NMP) de coliformes totais, porém nos dias de monitoramento subsequentes há certa oscilação no NMP destes micro-organismos na massa de resíduos.

Os valores iniciais encontrados para coliformes totais foram elevados e estão associados à grande quantidade de matéria orgânica e possivelmente a uma toxicidade tolerável para esses micro-organismos. Vale salientar que a toxicidade no início da disposição da massa de resíduos pode ser menor pelo fato de não ter níveis elevados de subprodutos da biodegradação ou da decomposição química dos materiais.

Após um decaimento significativo dos coliformes, observa-se no 343º dia de monitoramento, um valor expressivo do NMP de coliformes, este fato, possivelmente, está relacionado à precipitação pluviométrica ocorrida na região. Segundo Monteiro et al. (2001) a infiltração de água proveniente das chuvas, promove a entrada de uma quantidade extra de oxigênio dentro da célula, aumentando assim o número de bactérias aeróbias ou anaeróbias facultativas e gerando uma desestabilização do meio.

Na maioria das coletas observaram-se um NMP de coliformes maior no nível inferior do que no nível intermediário, isso pode ter ocorrido devido ao maior isolamento térmico do nível em relação aos outros níveis, fazendo com que proporcionasse uma otimização da temperatura para o desenvolvimento destes micro-organismos. Monteiro (2003) verificou este mesmo comportamento quando realizou estudos em aterros de escala real. Outro fator, que possa também ter contribuído para que o nível inferior apresentasse um NMP de coliformes maior do que no nível intermediário seja a percolação do lixiviado.

De maneira geral os coliformes totais apresentaram um desenvolvimento satisfatório, mostrando-se presente em todos os níveis de profundidade do biorreator, portanto a poluição por patógenos pode estar acentuada nos resíduos, uma vez que a presença de alguns destes micro-organismos, como *Escherichia Coli*, estão associados aos patógenos, mesmo havendo uma redução da matéria orgânica.

Os valores encontrados para coliformes totais são semelhantes aos estudos realizados por Pahren (1987), Kinman et al. (1986), e Meira (2009). Estes valores, conforme verificado na literatura, são aceitáveis, uma vez que provêm de resíduos sólidos urbanos. Deve-se salientar que a resolução do CONAMA nº 274 de 29 de novembro de 2000, considera águas impróprias ao contato e recreação quando forem verificados valores superiores a $2,5 \times 10^3$ NMP/100g de micro-organismo do grupo coliformes. Portanto, quando estes resíduos não são gerenciados de maneira

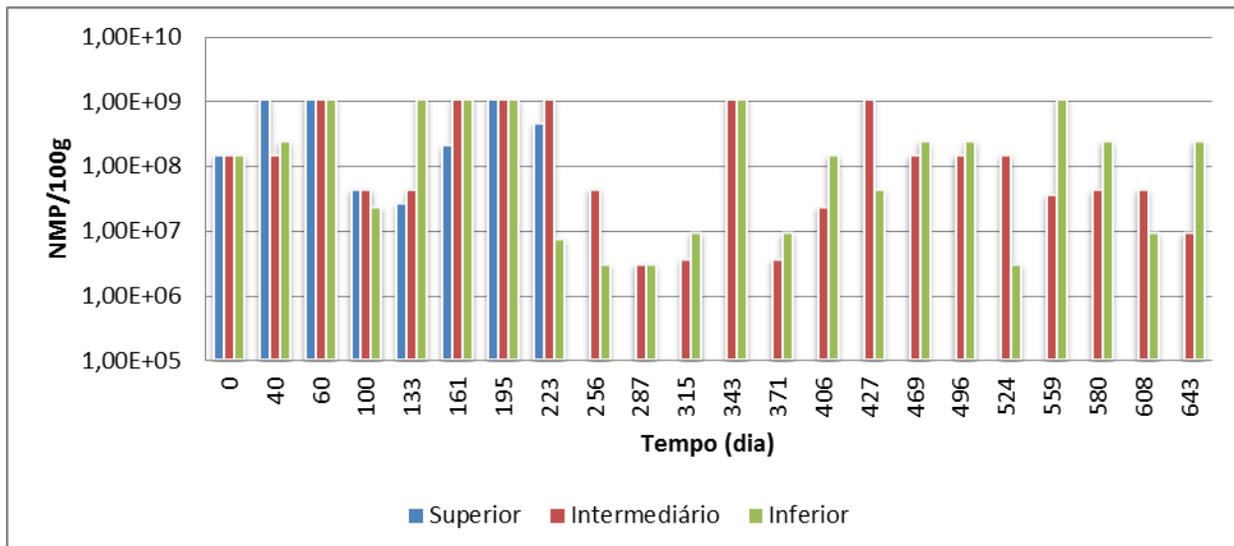
adequada, podem-se contaminar corpos d'água deixando-os impróprios para diversos fins.

5.2 Coliformes termotolerantes

Para a avaliação das condições sanitárias e do grau de patogenicidade dos RSU, analisou o comportamento dos coliformes termotolerantes, pois sua presença está associada aos patógenos do trato intestinal humano e de outros animais de sangue quente. Por isso, a presença dos coliformes termotolerantes, além de implicar em degradação da matéria orgânica, indica também poluição ambiental.

Os resultados do monitoramento da concentração de coliformes termotolerantes na massa de resíduos (Figura 17) demonstram que ocorreu uma variação do NMP num faixa de 10^9 a 10^6 durante os 643º dias de monitoramento, a mesma faixa de variação encontrada durante o monitoramento dos coliformes totais.

Figura 17 - Comportamento dos coliformes termotolerantes ao longo do tempo e em profundidade do biorreator.



Observa-se que não há certa linearidade no comportamento dos micro-organismos. Alcântara (2007) notificou este mesmo comportamento em seus estudos com coliformes termotolerantes em resíduos sólidos. Esta variação quase periódica nos

resultados, alterando valores maiores e menores podem estar relacionados com as precipitações ocorridas na região. Além do mais, a camada de cobertura do biorreator apresenta-se com algumas fissuras provocando a infiltração das chuvas e a percolação por caminhos preferenciais ocorrendo uma lavagem do resíduo e conseqüentemente provocando, não a diminuição, mas a lixiviação da microbiota para outros níveis.

Os valores iniciais encontrados para os coliformes termotolerantes foram elevados e estão associados à grande quantidade de matéria orgânica e possivelmente a uma toxicidade tolerável para esses micro-organismos. Vale salientar que a toxicidade no início da disposição da massa de resíduo pode ser menor pelo fato de não ter níveis elevados de subprodutos da biodegradação ou da decomposição química dos materiais, como observado no comportamento dos coliformes totais.

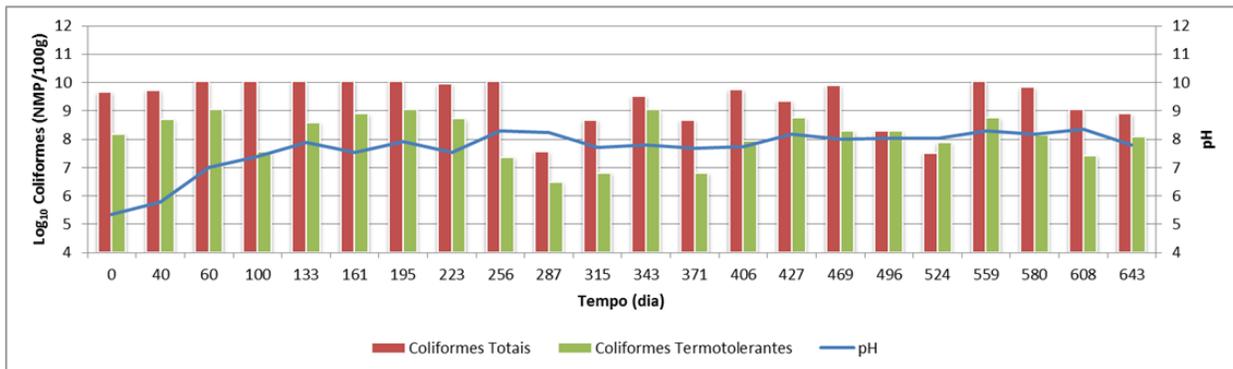
Na maioria das coletas observou-se um NMP de coliformes termotolerantes maior no nível inferior do que no nível superior e intermediário, isso pode ter ocorrido devido ao maior isolamento térmico do nível em relação aos outros níveis, fazendo com que proporcionasse uma otimização da temperatura para o desenvolvimento destes micro-organismos. Monteiro (2003) verificou este mesmo comportamento quando realizou estudos em aterros de escala real. Outro fator, que possa também ter contribuído para que o nível inferior apresentasse um NMP de coliformes maior do que nos outros níveis, foi a percolação do lixiviado. Em tese, a percolação do lixiviado deveria carrear estes micro-organismos para o nível inferior, mas a toxicidade do meio deveria impedir seu desenvolvimento, mas esse comportamento não foi verificado, Silva (2012) verificou que a toxicidade na massa dos resíduos era praticamente homogeneia, variando apenas no decorrer do tempo.

Devido à presença dos coliformes termotolerantes estarem associados a micro-organismo patógenos, pode-se concluir que a massa de resíduo apresenta uma grande carga de contaminação e se não tiverem destino correto podem acarretar sérios danos à saúde humana e ambiental. Porém, durante o processo de biodegradação, a competição dos diversos grupos de micro-organismos e a presença de metabólitos gerados durante a degradação dos resíduos, fazem com que estes valores, de forma sensível, venham se reduzindo ao longo do tempo.

5.3 pH

De forma análoga, pode-se observar, na Figura 18, que os coliformes apresentam uma maior concentração quando o pH encontra-se próximo da neutralidade que corresponde a sua faixa ótima de crescimento, porém quando o pH ultrapassa os valores considerados ótimos para seu desenvolvimento, eles ainda conseguem manter um desenvolvimento satisfatório, por determinado tempo, pois seus tampões naturais proporcionam a estabilidade dessas bactérias. Quando os valores do pH ficam acentuados, esta estabilização não se mantém, isto pode estar associado à alta concentração de hidróxidos, sendo assim, os tampões naturais produzidos pelas bactérias, não são suficientes para estabilizar o meio. Resultados semelhantes podem ser observados nos estudos realizados por McCARTY (1964a e 1964b).

Figura 18 - Relação do pH com os coliformes totais e termotolerantes.



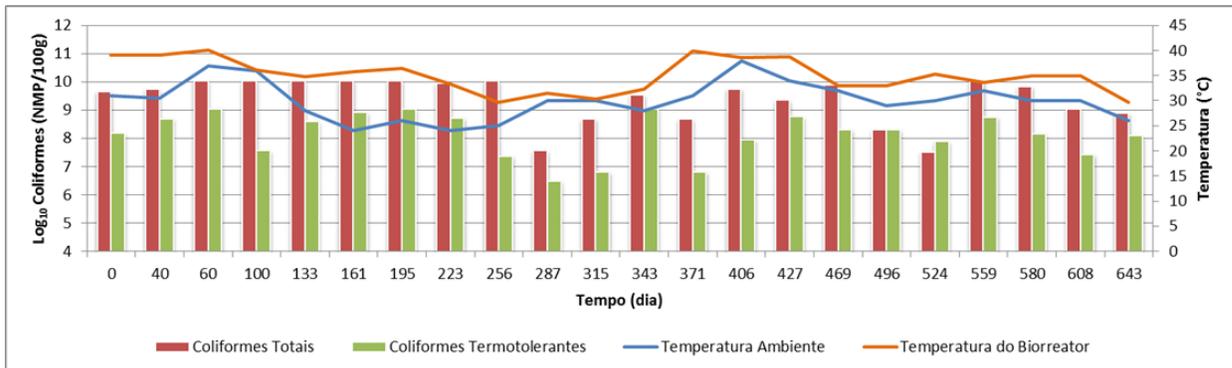
De acordo com a Figura 18, observa-se que após os 256 dias de monitoramento quando o pH fica acima de 8, onde há uma desestabilização dos coliformes, fazendo com que haja uma redução do seu NMP. Este mesmo comportamento pode ser observado quando o pH atinge os mesmos valores ao longo do monitoramento, porém quando a concentração do pH aproxima-se da neutralidade, estas bactérias tendem a se desenvolverem satisfatoriamente.

O pH dos resíduos variou significativamente, abrangendo as fases ácida, neutra e alcalina que correspondem a degradação dos resíduos (RIBEIRO, 2012), podendo ter contribuições expressivas da atividade metabólica dos coliformes.

5.4 Temperatura

Sendo os coliformes bactérias mesófilas, pode-se observar, na Figura 19, que estes micro-organismos apresentam um maior crescimento quando a temperatura, do biorreator, encontra-se próxima de 35°C. Como a temperatura do biorreator manteve-se superior a 30°C e inferior a 45°C, intervalo considerado ótimo para o crescimento destes micro-organismos, constatou-se um desenvolvimento satisfatório, portanto este parâmetro corroborou com o crescimento dos coliformes.

Figura 19 - Relação da temperatura com os coliformes totais e termotolerantes.



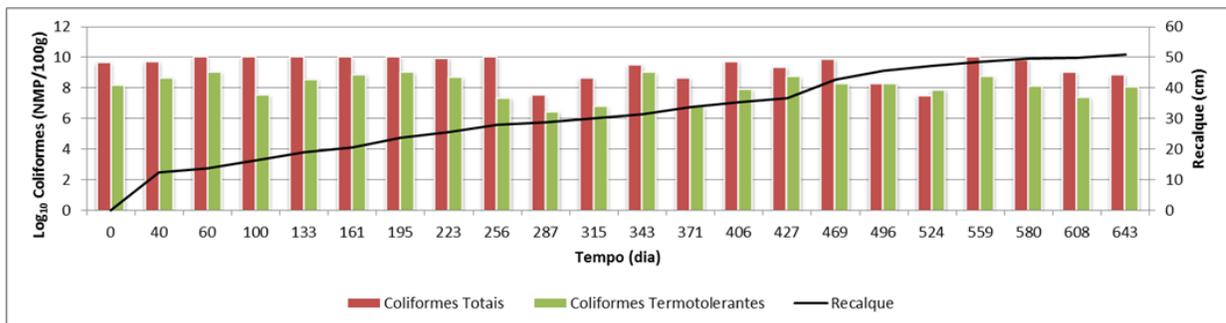
Porém, quando a temperatura aproxima-se de 25°C, observa-se uma redução da densidade tanto dos coliformes totais como dos termotolerantes, este comportamento é esperado, devido ao retardamento metabólico destes micro-organismos que acontecem quando submetidos a baixas temperaturas. A elevação da temperatura verificada no biorreator não foi prejudicial ao desenvolvimento dos coliformes, pois as máximas registradas estão no intervalo de temperatura considerada ideal para seu desenvolvimento.

Observa-se também que a temperatura ambiente influenciou na temperatura interna do biorreator, porém esta correspondência, na maioria das vezes, não é benéfica para tratamento de resíduos em aterros sanitários, pois em países de clima temperado, as baixas temperaturas desestabilizam a massa de resíduos e conseqüentemente o meio microbiano.

5.5 Recalque

Observa-se na Figura 20, que nos primeiros dias de monitoramento houve um recalque expressivo, essa redução na massa de resíduos, ocorreu por causa do peso do solo que foi utilizado como camada de cobertura do biorreator e ao peso próprio dos resíduos, promovendo a aplicação de uma carga superior a suportado pelos resíduos na configuração que eles se encontravam.

Figura 20 - Comportamento do recalque e dos coliformes.



No decorrer do tempo observa-se que o processo de adensamento continua acontecendo juntamente com a biodegradação dos resíduos resultando na ininterrupção dos recalques. A pouca variação dos coliformes no decorrer do tempo dificulta uma análise direta dos recalques com o comportamento deste micro-organismo. Melo (2003) também teve dificuldades em analisar os coliformes com os recalques e degradação da matéria orgânica por terem sempre um comportamento uniforme durante todo o monitoramento.

Como 66% dos resíduos contido no biorreator é matéria orgânica, o que corresponde a 1,3 m de sua altura, estima-se que ainda haverá uma redução de 0,8 m de altura devido à ação dos micro-organismos. Vale destacar que parte desta matéria orgânica não é facilmente degradável, podendo levar um maior tempo para ocorrer à biodegradação destes resíduos.

5.6 Análise Estatística

Para verificar a influência do pH e da temperatura no desenvolvimento dos coliformes realizou-se uma análise descritiva dos parâmetros, verificando a média, mediana, coeficiente de variação e o valor mínimo e máximo de cada parâmetro, assim como uma análise de componentes principais e uma matriz de correlação com os parâmetros estudados. A análise descritiva dos dados é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3 - Análise descritiva dos parâmetros.

Variável	Média	Mediana	Coeficiente de Variação	Mínimo	Máximo
Log₁₀ Coliformes Totais (NMP/100g)	8,48	8,79	9,58	6,79	9,04
Log₁₀ Coliformes Termotolerantes (NMP/100g)	8,13	8,23	9,51	6,48	9,04
pH	7,67	7,857	9,92	5,34	8,35
Temperatura Ambiente (°C)	30,07	30	12,84	24	38
Temperatura do biorreator (°C)	35,02	35	9,39	29,63	40
Recalque (cm)	31,35	30,67	45,42	0	50,9

Ao longo do monitoramento (643 dias), os coliformes totais apresentaram uma variação, em escala logarítmica, de 6,79 a 9,04 NMP/100g, valores estes elevados, quando comparados com outras formas de tratamento, que não favorece o desenvolvimento destes micro-organismos, como a incineração e compostagem, porém, considerados normais para resíduos sólidos urbanos depositados em aterros sanitários, conforme Araújo Neto et. al. (2013). Já para os coliformes termotolerantes observa-se uma variação 6,48 a 9,04 NMP/100g, podendo representar a totalidade dos coliformes.

Os valores médios encontrados de coliformes totais e termotolerantes no biorreator, em escala logarítmica, foram 8,48 e 8,13, NMP/100g, respectivamente, onde 50% das concentrações destes micro-organismos estavam abaixo de 8,79 e 8,23 NMP/100g para os coliformes totais e termotolerantes respectivamente.

Estes micro-organismos apresentaram uma baixa dispersão em seus valores, tendo uma boa representação da média aritmética como medida de tendência central, uma vez que o coeficiente de variação foi de 9,58 e 9,51 para os coliformes totais e termotolerantes, respectivamente.

O pH dos resíduos variou significativamente, abrangendo as fases ácida, neutra e alcalina, valores de 5,34 a 8,35, apesar desta variação, observa-se que os resíduos apresentaram um pH médio de 7,67, valor este, considerado ótimo para o desenvolvimento dos coliformes. Estas variações, observadas no pH, não apresentaram, na maioria das vezes, contribuições expressivas na atividade metabólica dos coliformes totais e termotolerantes, essa resistência das bactérias as variações do pH pode está associado aos seus tampões naturais.

A temperatura do biorreator sempre esteve superior a do ambiente, este comportamento térmico já era esperado, pois quando os resíduos são biodegradados implica em uma elevação da temperatura devido à ação metabólica dos micro-organismos. Observa-se também que a temperatura média do biorreator, durante os dias monitorados, foi de 35°C, considerada ideal para o desenvolvimento dos coliformes.

A massa de resíduos sofreu uma redução, aproximadamente, de 50 cm, valor este considerado normal para recalques de resíduos sólidos urbanos. Este recalque ocorreu, praticamente, de forma linear, obedecendo à teoria do adensamento para solos virgens.

5.6.1 Correlação

Pode-se observar pela matriz de correlação (Tabela 4) o grau de associação dos parâmetros estudados.

Tabela 4 – Matriz de correlação.

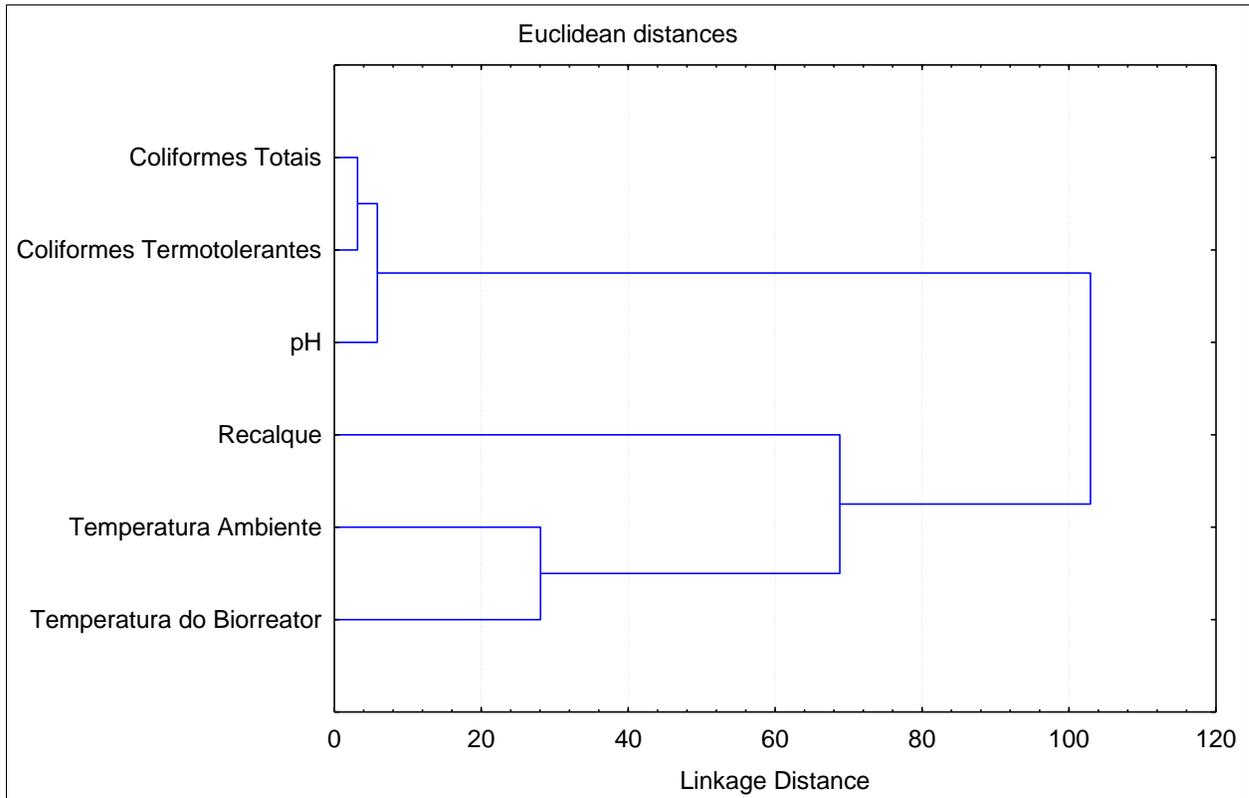
	Dias	Coliformes Totais	Coliformes Termotolerantes	pH	Temperatura Ambiente	Temperatura do Biorreator	Recalque
Dias	1,00						
Coliformes Totais	-0,10	1,00					
Coliformes Termotolerantes	-0,19	0,73	1,00				
pH	0,69	-0,02	-0,21	1,00			
Temperatura Ambiente	-0,03	-0,11	-0,10	-0,14	1,00		
Temperatura do Biorreator	-0,40	0,04	0,27	-0,53	0,55	1,00	
Recalque	0,97	-0,08	-0,17	0,75	-0,06	-0,43	1,00

Verifica-se que, de modo geral, os coliformes totais e termotolerantes tem um baixo grau de dependência com o pH e temperatura, isso porque o desenvolvimento dos coliformes também são influenciados por outros fatores e segundo Borges (2003) a medida que existirem outras variáveis que interferem na relação das variáveis em estudo, a correlação vai diminuindo, podendo até deixar de existir, isto explica o fato do pH apresentar uma correlação de -0,02 com os coliformes totais e -0,21 com os coliformes termotolerantes, sendo considerada por Martins e Domingues (2011) uma péssima correlação.

Verifica-se também, que os micro-organismos estudados apresentam uma baixa correlação com o recalque dos resíduos, isso porque existe uma variedade de micro-organismos que atuam na degradação dos resíduos, além do mais a redução do volume dos resíduos estão associados a processos mecânicos.

Fez-se um Dendrograma, Figura 21, para complementar o estudo de correlação dos dados com todos os parâmetros estudados.

Figura 21 - Dendrograma

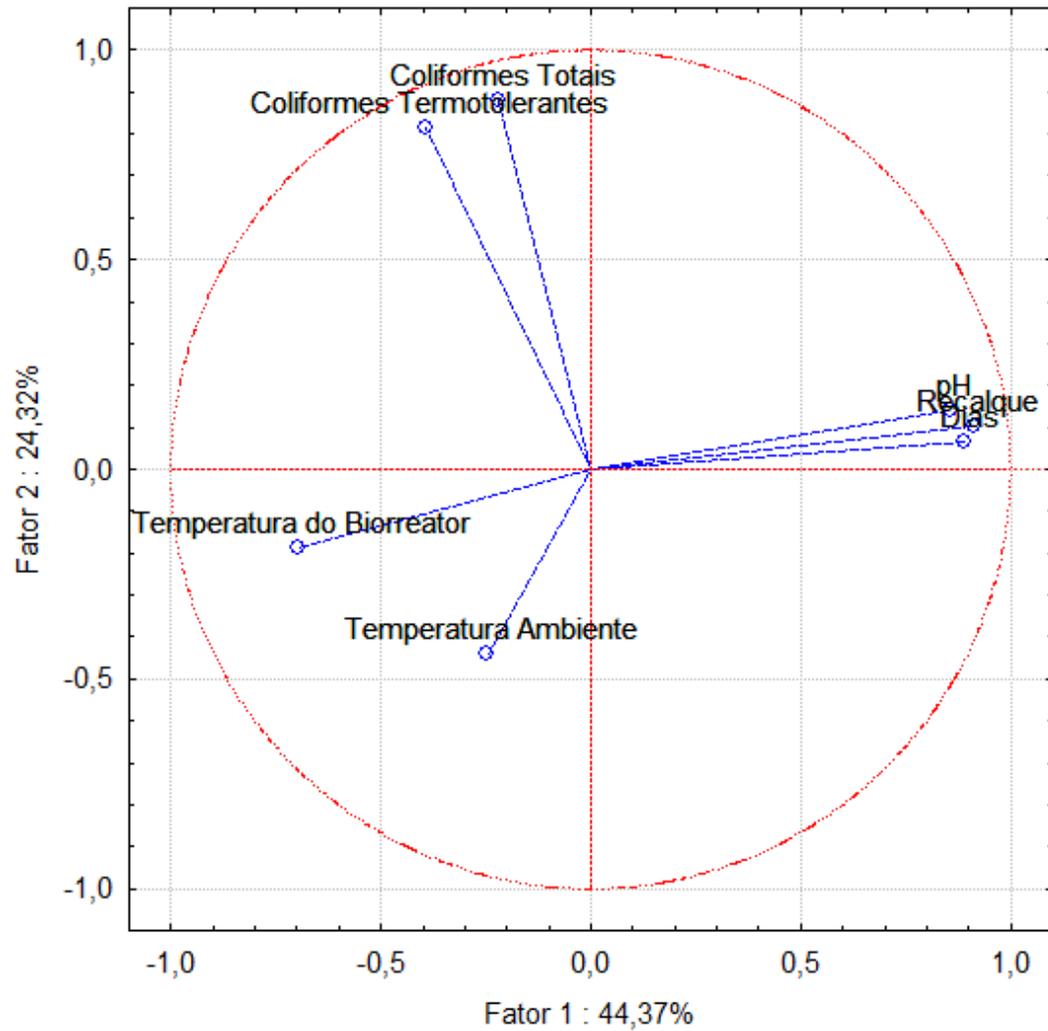


Verificar-se na Figura 21 que os coliformes totais e termotolerantes estão extremamente interligados e aproximados, estas variáveis apresentam uma correlação razoável. Estes micro-organismos também formam um grupo de interação com o pH que por sua vez estão interligados com o recalque e a temperatura.

5.6.2 Análise de Componentes Principais (ACP)

Para a realização da Análise de Componentes Principais verificou-se a dispersão dos dados através de histogramas, onde constatou-se que os dados possuem uma baixa dispersão, produzindo uma ACP que explica 69% dos processos ocorridos entre as variáveis (Figura 22).

Figura 22 – Análise de Componentes Principais



Observa-se na Figura 22 que há formação de três grupos, o primeiro, que é composto pelos coliformes totais e termotolerantes, apresentam comportamento semelhantes, pois além de pertecerem ao grupo de coliformes, ambos apresentam sensibilidade semelhante quanto às modificações do meio.

O grupo 2, composto pelo pH, recalque e dias, apresentam semelhanças, uma vez que no decorrer do tempo o recalque tende a aumentar e o pH que inicialmente estava ácido, no decorrer dos dias monitorados aumenta até ficar alcalino, devido aos processos de biodegradação.

O grupo 3, composto pela temperatura ambiente e do biorreator, mostra que por esses parâmetros apresentarem semelhança, o isolamento térmico do biorreator não foi eficiente, talvez, as paredes de alvenaria do biorreator possibilitou uma troca de calor.

6 CONCLUSÕES

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

- Os coliformes totais e termotolerantes se desenvolveram de maneira satisfatória, apresentando valores elevados quando comparados as outras tecnologias de tratamento que não necessitam da presença destes micro-organismos para otimização dos processos. Estes valores elevados podem ter ocorrido devido a alto percentual de matéria orgânica, como também um teor relativamente alto de têxteis sanitários.
- A degradação da massa de resíduo na célula experimental encontra-se em intensa atividade, tendo em vista que o número de coliformes presentes no biorreator ainda é expressivo.
- Os resíduos podem apresentar uma grande carga de contaminação por micro-organismos patogênicos, indicados pelo elevado valor do NMP de coliformes termotolerantes, porém não contaminará o meio ambiente e nem afetará a saúde pública, tendo em vista que estes micro-organismos estão isolados e que seus subprodutos serão tratados adequadamente.
- Enquanto o pH encontra-se próximo da neutralidade, que corresponde a faixa ótima de crescimento dos coliformes, há um desenvolvimento satisfatório destes micro-organismos.
- Quando o pH ultrapassa os valores considerados ótimos para seu desenvolvimento, os coliformes ainda conseguem manter um desenvolvimento

satisfatório, por determinado tempo, pois seus tampões naturais proporcionam a estabilidade dessas bactérias.

- A temperatura dos resíduos, durante os processos de biodegração, esteve em uma faixa considerada ótima para o desenvolvimento dos coliformes.
- O pH e a temperatura não apresentaram uma correlação forte e nem formaram grupos de correlação com os coliformes totais e termotolerantes, devido, provavelmente, ao desenvolvimento destas bactérias estarem associadas a diversos fatores, como umidade, teor de matéria orgânica, toxicidade, entre outros.
- Os recalques dos resíduos acontecem devido a processos mecânicos, químicos e biológicos, porém são necessários estudos mais detalhados para quantificar a contribuição de cada processo e estimar a real contribuição dos coliformes nesse processo.

REFERÊNCIAS

ALEXOPOULOS, C.J.; Mims, C.W.; Blackwell, M. **Introductory mycology**. 4.ed. New York: John Wiley & Sons, 1996. 869p.

ALVES, F. S. **Influência das Condições Meteorológicas na Biodegradação dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Campina Grande- PB**. Dissertação (mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2012.

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.

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

ARAUJO, E. P. **Estudo do comportamento das bactérias aeróbias e anaeróbias na biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Campina Grande - PB**. Dissertacao de mestrado- Universidade Federal de Campina Grande. UFCG. Campina Grande. 2011.

ARAUJO NETO, C. L. ; ALVES, F. S. ; MONTEIRO, V. E. D. **Tratamento de Resíduos e Saneamento**. In: **Giovanni Seabra; Ivo Mendonça**. (Org.). Educação Ambiental: responsabilidade para conservação da sociobiodiversidade. João Pessoa: Editora Universitária da UFPB, 2011, v. 2, p. 754-758.

ARAUJO NETO, C. L.; SILVA, A. S.; ARAÚJO, E. P.; Paiva, W. ; MONTEIRO, V. E. D. **A Presença de Coliformes Termotolerantes como Indicador de Poluição em Resíduos Sólidos da Cidade de Campina Grande - PB**. In: 1º Seminário Campinense de Saúde Ambiental, 2012, Campina Grande - PB. 1º Seminário Campinense de Saúde Ambiental, 2012.

Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT). **NBR 11259: coliformes totais e termolerantes: determinação do número mais provável pela técnica dos tubos múltiplos**. Rio de Janeiro, 1989.

_____ **NBR 10004: Resíduos Sólidos – classificação**. Rio de Janeiro, 2004.

_____ **NBR 10007: Resíduos Sólidos – amostragem de resíduos**. Rio de Janeiro, 2004.

BIDONE, F. R. A. **Resíduos Sólidos Provenientes de Coleta Especiais: Eliminação e Valorização**, Projeto PROSAB 2 – Programa de Pesquisa em Saneamento Básico, ABES Rio de Janeiro, 2001.

BORGES, B. L. M. **Simplificando a estatística: coletânea de textos e exercícios didáticos**. Campina Grande: EDUEP, 2003.

BRASIL. **Lei Federal nº 12.304** – Estabelece a Política Nacional de Resíduos Sólidos, 02 de agosto, 2010.

CARVALHO, M. N. **Estudo da biorremediação *in situ* para tratamento de solos e aquíferos contaminados com percolado de chorume**. Dissertação (Mestrado em Geotecnia), Faculdade de Tecnologia. Universidade de Brasília, Brasília, 1997.

CARIBE, R. M.; ARAUJO, M. V.; MELO, M. C. **Estudo de Recalques em uma Célula Experimental de Resíduos Sólidos Urbanos Associados às Condições Meteorológicas**. In: II Congresso Nacional de Educação Ambiental & IV Encontro Nordeste de Biogeografia, João Pessoa - PB. Educação ambiental: Responsabilidade para a conservação da sociobiodiversidade. João Pessoa - PB : Editora Universitária da UFPB, 2011.

CASTILHOS JUNIOR, A. B. **Resíduos sólidos urbanos: aterro sustentável para municípios de pequeno porte**. Projeto PROSAB, Rio de Janeiro – RJ: ABES, 2003.

CONAMA - CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE. **Resolução nº 03 de 28/06/90**, estabelece os padrões de qualidade do ar as concentrações de poluentes atmosféricos, 1990.

_____. **Resolução Nº 274 de 29 de novembro, 2000**.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 1997.

CHRISTENSEN, T.H.; KJELDSSEN, P. **Basic biochemical process in landfills**. In: CHRISTENSEN, T.H., COSSU, R.; STEGMANN, R (eds.) Sanitary Landfilling: process. technology and environmental impact. London : Academic Press, 1989.

EMCON Associates. **Controlled Landfill Project**. First, Second, Third, Fourth, and Fifth Annual Report: Project 343-3.1. San Jose, California, USA, 1986.

FRAZIER, W.C.; WESTHOFF, D.C. **Microbiologia de los alimentos**. 4. ed. Zaragoza, Espanha: Acribia, 1993.

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

GUEDES, T. A.; ACORSI, C. R. L.; MARTINS, A. B. T.; JANEIRO, V. **Estatística Descritiva**. Disponível em: <www.des.uem.br>. Acesso em 10 de junho de 2014.

KINMAR, R, N., J; RICKABAUGH, J; DONNELLY, D.; NUTINI; LAMBERT, M. **Evaluation and disposal of waste 19 test lysimeters at Center Hill**. Washington, U.S. Environmental Protection Agency, 1986.

- 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.
- LIPOR. Serviço Intermunicipalizado de Gestão de Resíduos do Grande Porto. Caderno Técnico. 2000.
- MADIGAN, M.T.; MARTINKO, J.M. & PARKER, J. **Brock biología de los microorganismos**. 10.ed. Madrid, Prentice Hall, 2003.
- MARTINS, G. A.; Domingues, O. **Estatística Geral e Aplicada**, 4ª ed. Rev e ampl. São Paulo: Atlas, 2011.
- McCarty, P.L. **Anaerobic waste treatment fundamentals II**. Environmental requeriments and control. Public Works, v. 95, p.123, 1964a.
- _____. **The methane fermentation**. In: HENKELEKIAN, H.; DONDERO, N.C. (ed). Principles and applications in aquetin microbiology. New York :John Wiley and Sons, 1964b.
- McDougall F., White P., Franke M. & Hindle P. **Integrated Solid Waste Management: A Life-Cycle Inventory**, Blackwell Science, 2nd Edition, 2001.
- 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, 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.
- 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.
- 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.

NASCIMENTO, J.C.F. **Comportamento Mecânico dos Resíduos Sólidos Urbanos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil –Geotecnia) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. 2007.

NASCIMENTO, J.S. **Biologia de micro-organismos.** In. GUERRA, R.A.T. (Org.). Cadernos CB Virtual 4. João Pessoa: UFPB, 2010, v.4, p.233-306.

OPAS. Organização Pan-Americana da Saúde. **Manejo de resíduos sólidos.** Conceito. Disponível em: <http://www.opas.org.br/ambiente/temas>. Acesso em 12 junho de 2014.

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.

PAHREN, H.R. **Micoorganisms in municipal solid waste and public health implications.** CRC Critical Reviews in Environmental Control, n17, 1987.

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

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.

RIBEIRO, L. S. **Estudo da Biodegradabilidade dos Resíduos Sólidos Urbanos da Cidade de Campina Grande- PB.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2012.

RUSSO, M. A. T. **Tratamento de Resíduos Sólidos.** Universidade de Coimbra, 2003.

SANCHEZ, P. S. **Atualização em Técnicas para o Controle Microbiológico de Águas Minerais.** Universidade Mackenzie – Pós Graduação em Ciências Ambientais, SP.1999.

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, A. S. **Avaliação Da Toxicidade Dos Resíduos Sólidos Urbanos Da Cidade De Campina Grande - PB.** Dissertação (mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Paraíba, 2012.

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 junho de 2014.

TORTORA, G. J.; FUNKE, B. R.; CASE, C. L. **Microbiologia**. 10^a ed. Porto Alegre: Editora ARTMED, 2013.

VAZOLLER, R.F. **Microbiologia e Saneamento Ambiental**. USP, 2001.

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.

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