

Monitoramento físico-químico de um biorreator com resíduos sólidos urbanos em escala piloto na cidade de Campina Grande (PB)

Physicochemical monitoring of a pilot scale bioreactor treating municipal solid waste in the city of Campina Grande (PB), Brazil

Libânia da Silva Ribeiro¹, Alessandra dos Santos Silva², Flaviano de Souza Alves³, Márcio Camargo de Melo⁴, William de Paiva⁵, Veruschka Escarião Dessoles Monteiro⁶

RESUMO

O monitoramento dos parâmetros físico-químicos em resíduos sólidos urbanos (RSU) é de grande importância, por descrever as condições nas quais os fenômenos de degradação se processam. O pH, assim como a demanda biológica de oxigênio (DBO) e a demanda química de oxigênio (DQO), permite acompanhar o processo de decomposição dos RSU em aterros sanitários, indicando a evolução da degradação microbiológica da matéria orgânica e a evolução global do processo de estabilização da massa de resíduos. Este trabalho teve como objetivo avaliar, por meio dos parâmetros físico-químicos, a decomposição dos RSU depositados em um biorreator na cidade de Campina Grande (PB). Este estudo contou com a construção de um biorreator que simula um aterro sanitário em escala real. Os resultados inicialmente mostraram que os resíduos apresentaram altas concentrações de DQO e DBO e baixos valores de pH. Ao longo do monitoramento houve crescimento do pH e redução nas concentrações de DQO e DBO. Pode-se concluir que a biodegradação dos resíduos se desenvolveu de maneira eficaz, de acordo com o tempo de degradação para o período monitorado, e que a matéria orgânica encontra-se em estágio avançado de decomposição.

Palavras-chave: monitoramento físico-químico; resíduos sólidos urbanos; biorreator.

ABSTRACT

Monitoring physicochemical parameters is highly relevant because they indicate the conditions in which degradation phenomena occur. The parameters of pH, BOD and COD enable the process of decomposition of municipal solid waste to be monitored because they indicate the evolution of the microbial degradation of organic matter and the overall process of stabilization of the mass of wastes. This study involves an evaluation of the decomposition of municipal solid waste (MSW) deposited in a bioreactor in the city of Campina Grande, PB, Brazil based on physical and physicochemical parameters. To this end, a bioreactor was constructed that simulates a real-scale landfill. The results indicated that the waste initially contained high concentrations of COD and BOD and low values of pH. During the monitoring period, the pH increased while the COD and BOD concentrations decreased. It can be concluded that the biodegradation of the waste effectively developed in accordance with the degradation time for the monitored period, the organic matter is in an advanced stage of decomposition.

Keywords: physicochemical; waste solid; bioreactor.

¹Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Estadual da Paraíba (UEPB). Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Doutoranda em Ciências e Engenharia dos Materiais pela UFCG - Campina Grande (PB), Brasil.

²Engenheira Sanitarista e Ambiental pela UEPB. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG. Doutoranda em Ciências e Engenharia dos Materiais pela UFCG - Campina Grande (PB), Brasil.

³Geógrafo pela UEPB. Mestre em Engenharia Civil e Ambiental pela UFCG. Doutorando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) - Rio de Janeiro (RJ), Brasil.

⁴Biólogo pela Universidade de Caxias do Sul (UCS). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE). Doutor em Ciências e Engenharia dos Materiais pela UFCG. Professor da Unidade Acadêmica de Saúde da UFCG, *Campus Cuité - Cuité* (PB), Brasil.

⁵Engenheiro Civil pela UFCG. Mestre em Engenharia Civil pela UFPE. Doutor em Engenharia Civil pela UFPE. Professor do Centro de Ciências e Tecnologias da UEPB - Campina Grande (PB), Brasil.

⁶Engenheira Civil pela UFPE. Mestre em Engenharia Civil pela UFPE. Doutora em Engenharia Civil pela UFPE. Professora da Unidade Acadêmica de Engenharia Civil da UFCG - Campina Grande (PB), Brasil.

Endereço para correspondência: Libânia da Silva Ribeiro - Rua Aprígio Veloso, 882 - Bairro Universitário - 58429-140 - Campina Grande (PB), Brasil - E-mail: lybyribeiro@yahoo.com.br

Recebido: 23/01/13 - **Aceito:** 15/05/15 - **Reg. ABES:** 110157

INTRODUÇÃO

O monitoramento de parâmetros físico-químicos é de grande importância, por descrever as condições nas quais os fenômenos de degradação se processam. É a partir do conhecimento desses parâmetros que podem ser avaliadas a decomposição dos resíduos ao longo do tempo e quais as características peculiares a cada fase de degradação após a destinação final dos resíduos sólidos urbanos (RSU).

Dentre as alternativas de destinação final desses resíduos, os aterros sanitários constituem uma das alternativas mais adequadas e seguras para o acondicionamento desses materiais, devido ao seu baixo custo, quando comparados com outros processos. Porém, no intuito de melhor conhecer o funcionamento de um aterro sanitário de RSU, estudos em biorreatores (células experimentais) se tornam bastante interessantes, pois possibilitam avaliar o processo de degradação dos resíduos e geração de lixiviado e gases sob condições controladas (BORGLIN *et al.*, 2004).

Os biorreatores têm a finalidade de simular o funcionamento de aterros de resíduos sólidos, pois possibilitam realizar uma caracterização mais detalhada dos RSU, além de permitir avaliar o monitoramento de variação de massa existente no seu interior, contribuindo, assim, para uma melhor compreensão do metabolismo de biodegradação, que tem por objetivo a mineralização completa de moléculas orgânicas e inorgânicas envolvidas no processo (YOUCAI *et al.*, 2002). Os biorreatores buscam ainda promover a eficiência do processo, acelerando a biodegradação dos RSU.

Pesquisas desenvolvidas por Jucá *et al.* (2005), Alcântara (2007) e Alves (2008) na Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) são exemplos de estudos bem-sucedidos do uso de biorreatores para se estudar o comportamento dos RSU. Assim como outras pesquisas estão sendo desenvolvidas no município de Campina Grande (PB) com o intuito de melhorar o tratamento de RSU e até disponibilizar dados para construção de futuros aterros sanitários para o município (PEREIRA *et al.*, 2010; MEIRA, 2009; LEITE, 2008; GARCEZ, 2009; MELO *et al.*, 2014).

Portanto, o objetivo deste trabalho foi avaliar, por meio de parâmetros físico-químicos, a decomposição dos RSU depositados em um biorreator na cidade de Campina Grande (PB).

METODOLOGIA

Este trabalho foi desenvolvido nas dependências físicas da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG), em parceria com o laboratório da Estação Experimental de Tratamento Biológico de Esgotos Sanitários (EXTRABES), e da Universidade Estadual da Paraíba (UEPB).

Biorreator em escala piloto

O biorreator foi construído em alvenaria de tijolo manual nas dimensões de 2,0 m de diâmetro interno e 3,0 m de altura, com volume total aproximado de 9 m³, apresenta ao longo de sua altura 3 orifícios que

permitem a coleta dos resíduos, em diferentes níveis de profundidade, denominados em superior, intermediário e inferior. Esse biorreator tem um formato cilíndrico e uma seção transversal circular, para facilitar a distribuição e compactação dos resíduos em seu interior, uniformizando a distribuição das pressões laterais internas, evitando caminhos preferenciais do lixiviado. Conta ainda com um sistema de impermeabilização de base e cobertura, além de um sistema de drenagem de líquidos e gases, medidores nível de líquidos por meio de um piezômetro, medidores de recalque superficiais e em profundidade e medidores de temperatura por intermédio de termopares ao longo das camadas de resíduos (Figura 1).

Caracterização dos resíduos sólidos urbanos

Visando obter uma amostra representativa dos RSU da cidade de Campina Grande (PB), foi realizado o plano de amostragem, segundo o procedimento recomendado pela norma NBR 10007 (ABNT, 2004c). Para a realização desta amostragem contou-se com o apoio da Prefeitura Municipal de Campina Grande (PMCG), que delimitou a rota utilizada nesta pesquisa, na qual foram selecionados três bairros, seguindo critérios de condição social; os bairros selecionados foram: Mirante, Catolé e Sandra Cavalcante, classificados, respectivamente, em bairros de classe alta, média e baixa.

Em seguida, foi realizada, por meio de um caminhão compactador (com capacidade de nove t), a coleta dos resíduos dos bairros amostrados. Após o término da coleta, os resíduos foram dispostos na área de amostragem, localizada ao lado do biorreator na UFCG. Os resíduos, por já terem sido parcialmente compactados no caminhão, foram homogeneizados, após o descarregamento, com o auxílio de uma pá carregadeira, formando uma única pilha, e, em seguida, foram quarteados. Desse quarteamento foram descartadas duas pilhas localizadas em posição diametralmente oposta e as outras duas foram homogeneizadas novamente, formando uma única pilha resultante. Dessa pilha foram retirados amostras a fim de realizar a caracterização física, química e microbiológica dos RSU; em seguida, os resíduos da pilha resultante foram direcionados para o preenchimento do biorreator, o qual foi feito com o auxílio da pá carregadeira, que levava os resíduos, previamente pesados, até o biorreator a fim de serem descarregados manualmente. Ao serem inseridos no biorreator, os resíduos foram distribuídos internamente e compactados com o auxílio de um soquete manual, com base na norma NBR 7182 (ABNT, 1986b), que é utilizada para o procedimento de compactação realizado em solos, porém foi possível a sua adaptação para o ensaio de compactação dos RSU. Os resíduos foram compactados a um grau de 56% até atingir uma cota preestabelecida de 2,70 m. Mensalmente amostras de RSU foram coletadas, nos diferentes níveis de profundidade do biorreator piloto, acondicionadas e encaminhadas ao Laboratório de Geotecnia Ambiental (LGA), localizado nas dependências físicas da UFCG. No laboratório, as amostras de resíduos

foram submetidas à picotagem e à obtenção do extrato com o intuito de avaliar o comportamento biodegradativo, no interior do biorreator, ao longo do tempo e da profundidade. O Quadro 1 apresenta os parâmetros analisados e suas respectivas metodologias.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Teor de umidade

A evolução temporal do teor de umidade para o biorreator em estudo pode ser observada por meio da Figura 2.

Inicialmente pode se observar que o dado inicial ($t=0$) para esse parâmetro não foi obtido, devido a problemas operacionais e ajustes de metodologias ocorridos durante a fase de caracterização física dos resíduos.

De acordo ainda com a Figura 2, é possível notar que não houve grandes oscilações nos valores obtidos para os diferentes níveis de profundidade estudados. À exceção do nível superior, que apresentou redução brusca desse parâmetro. Esse comportamento pode estar associado às trocas de calor e umidade entre a camada de cobertura e o ambiente externo ao biorreator.

Além do mais, existe uma tendência de os líquidos lixiviados acumularem na parte inferior do biorreator, por isso já era de se esperar

maiores valores dos teores de umidade para os níveis de profundidade (intermediário e inferior) e menores para o nível superior.

Bidone e Povinelli (1999) consideram valores iniciais de umidade em uma faixa de 40 a 60%, para as condições brasileiras, devido à quantidade elevada de matéria orgânica existente nos resíduos das cidades na maioria das regiões do Brasil.

No caso do biorreator em estudo, no que se refere à camada superior, nos primeiros 100 dias de monitoramento o teor de umidade ficou na faixa de 47 a 53%. Após esse período já se pode observar uma

Quadro 1 - Parâmetros analisados e suas respectivas metodologias.

Parâmetro	Metodologia
Sólidos voláteis	WHO (1979)
Teor de umidade	NBR 6457 (ABNT, 1986a), Manassero (1996)
pH	<i>Electrometric Method</i> , p. 4:90-94 - <i>Method 4500-H+B. Standard Methods</i> (AWWA/APHA/WEF, 22 nd ed, 2012)
Cloretos	<i>Argentometric Method</i> , p. 4:72-73 - <i>Method 4500-Cl-B. Standard Methods</i> (AWWA/APHA/WEF, 22 nd ed, 2012)
DQO	<i>Open Reflux Method</i> , p. 5:17-18 - <i>Method 5220 B. Standard Methods</i> (AWWA/APHA/WEF, 22 nd ed, 2012)
DBO	<i>5-day bod Test</i> , p. 5:2 - <i>Method 5210 B. Standard Methods</i> (AWWA/APHA/WEF, 22 nd ed, 2012)

DQO: demanda química de oxigênio; DBO: demanda biológica de oxigênio.

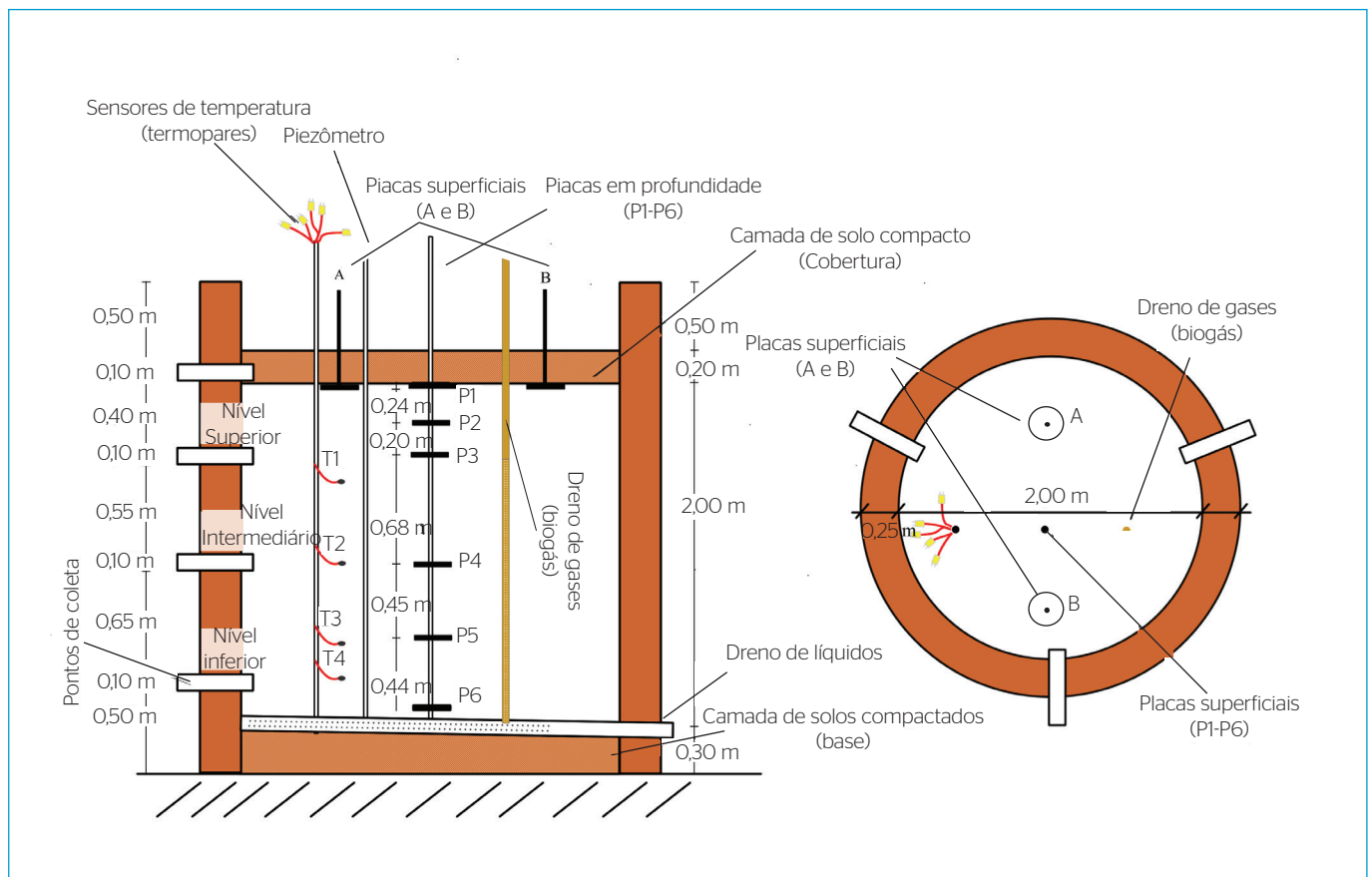


Figura 1 - Desenho esquemático da célula piloto.

redução significativa desses valores: 11 e 2%, respectivamente, para os 133 e 223 dias de estudo. Isso pode estar associado também à redução considerável de matéria orgânica que confere teor de umidade ao meio.

Após os 223 dias não foi mais possível realizar a coleta para esse nível em virtude da presença de solo nas amostras, devido ao recalque sofrido inicialmente, que consiste na redução do volume da massa de resíduos.

Os níveis, intermediário e inferior tiveram pequenas flutuações ao longo do monitoramento do teor de umidade. Isso pode ser justificado pela capacidade de retenção de líquidos que os materiais possuem no decorrer do processo degradativo. Segundo Catapreta e Simões (2008), nos aterros de RSU, os materiais que têm menor capacidade de retenção podem absorver líquidos da matéria orgânica estabilizando o teor de umidade, o que no biorreator piloto em estudo ficou na faixa de 40 a 60%. Vale salientar que a presença de resíduos orgânicos em decomposição favorece a geração de líquidos lixiviados, os quais podem ficar

acumulados no seu interior ao longo dos níveis de profundidade, o que também pode contribuir para que o teor de umidade permaneça estável no tempo.

Enfim, o valor médio do teor de umidade obtido para o nível intermediário foi de 52%, já para o nível inferior o teor de umidade foi de 56%, valores semelhantes foram observados por Palma, Valenzuela e Espinace (2000), que obtiveram valor médio entre 50 e 65%. Portanto, essa faixa foi considerada como favorável ao processo de bioestabilização da matéria orgânica.

Potencial hidrogeniônico

A Figura 3 apresenta a variação do pH ao longo do tempo e dos níveis de profundidade.

Pode-se observar que o pH do extrato, obtido a partir dos RSU coletados no biorreator piloto, apresentou uma evolução típica do processo

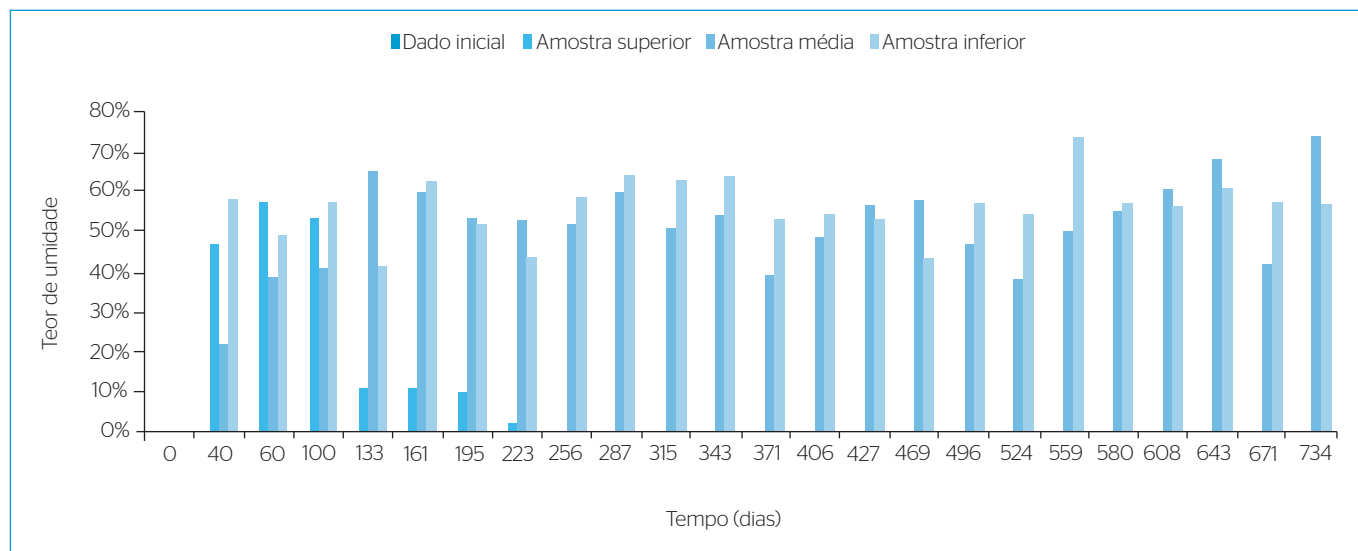


Figura 2 - Teor de umidade ao longo do tempo.

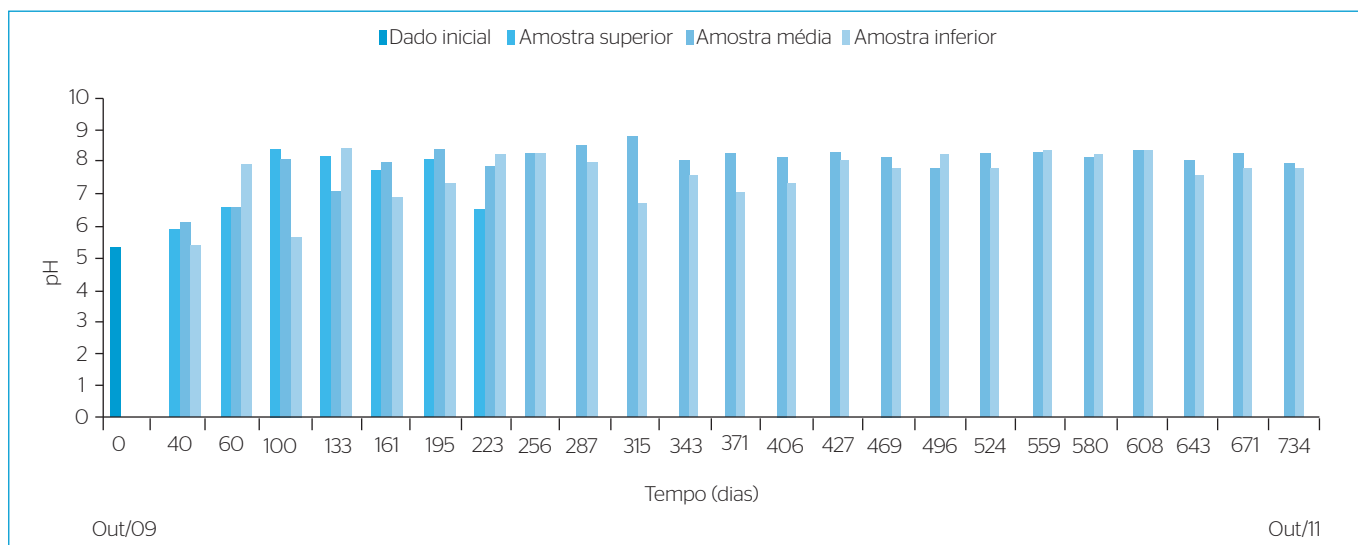


Figura 3 - Evolução temporal do pH.

de digestão anaeróbia em aterros, onde inicialmente ($t=0$) o pH apresentou valor abaixo da neutralidade, em torno de 5,5, valor que indica um meio com características ácidas ou ligeiramente ácidas. Essa redução inicial do pH se deve à ação das bactérias acidogênicas, as quais liberam rapidamente concentrações de ácido láctico, amônia e ácidos graxos voláteis, estes em maior quantidade, que confere ao meio pH abaixo da neutralidade (CASTILHOS JUNIOR, 2003).

Em seguida, as concentrações desses ácidos vão sendo catalisadas e vão surgindo outros grupos de microrganismos, como as arqueas metanogênicas, que têm taxas de crescimento mais lento que as primeiras e se instalam progressivamente, induzindo a elevação do pH.

Pode-se observar por meio da Figura 3 que já nos primeiros 60 dias de monitoramento houve um acréscimo nos valores de pH, embora não tão expressivo, para todos os níveis de profundidade, isso é devido ao rápido metabolismo dos microrganismos.

No período $t=100$ dias o biorreator provavelmente passou da fase de hidrólise para as fases subsequentes de degradação (acidogênese e/ou acetogênese), porém por meio da Figura 3 não se pode afirmar o momento exato da ocorrência dessas fases, podendo até mesmo em pontos específicos estar ocorrendo simultaneamente.

Segundo Castilho Júnior (2003), só seria possível definir claramente as fases da digestão anaeróbia se houvesse a realização de análises físico-químicas e bacteriológicas exclusivas para a fração orgânica sólida dos resíduos dispostos, o que se tornou inviável nesta pesquisa, pois o biorreator contém todos componentes encontrados nos resíduos coletados pela cidade.

Esses valores observados até 100 dias de monitoramento corroboram outros estudos realizados em aterros simulados para o mesmo período (CATAPRETA & SIMÕES, 2008; ARAÚJO, 2011; MELO, 2011).

Os valores observados a partir dos $t=133$ dias para os níveis superior e inferior apresentam pH em torno de 8,0, isso pode estar associado

à redução considerável de ácidos, principalmente os ácidos voláteis, gerados nas fases anteriores de degradação (acidogênese/acetogênese). Porém o nível intermediário apresentou pH em torno de 7,0, variação que pode estar relacionada à heterogeneidade dos resíduos.

Apesar de pequenas flutuações ao longo do tempo, devido, principalmente, à heterogeneidade dos RSU, o pH dos 161 aos 734 dias de monitoramento para todos os níveis de profundidade apresenta valores em torno de 8 chegando a valores próximos a 9, que, segundo Tchobanoglous, Theisen e Evigil (1993), corresponde à fase de adaptação metanogênica, período que se caracteriza por apresentar pH acima da neutralidade.

Assim, conforme houve variação do pH ocorreu também inversão de microrganismos, indicando que: a fase de hidrólise teve duração de um pouco mais de 30 dias; ocorreu uma leve fase acidogênica de 30 a 60 dias e, posteriormente, uma fase acetogênica rápida; em torno de 100 dias houve a fase metanogênica. Esses dados estão de acordo com os resultados obtidos por Leite (2008), Garcez (2009) e Melo (2011) em trabalhos utilizando biorreatores de RSU.

Cloretos

Os cloretos são indicadores da evolução da degradação biológica e dos processos físico-químicos que ocorrem no interior do aterro, assim como também indicam a presença de sais minerais nos resíduos depositados, tanto de origem doméstica quanto associados a outras atividades (CATAPRETA & SIMÕES, 2008).

Pode-se observar, por meio da Figura 4, que tanto para o nível intermediário quanto para o inferior as concentrações de cloretos tenderam a um aumento, sobretudo no nível inferior, esse fato, possivelmente, deve-se à facilidade da lixiviação e à alta solubilização do íon cloreto.

O nível superior apresentou comportamento oposto, ou seja, houve diminuição nas concentrações desses sais, o que pode estar

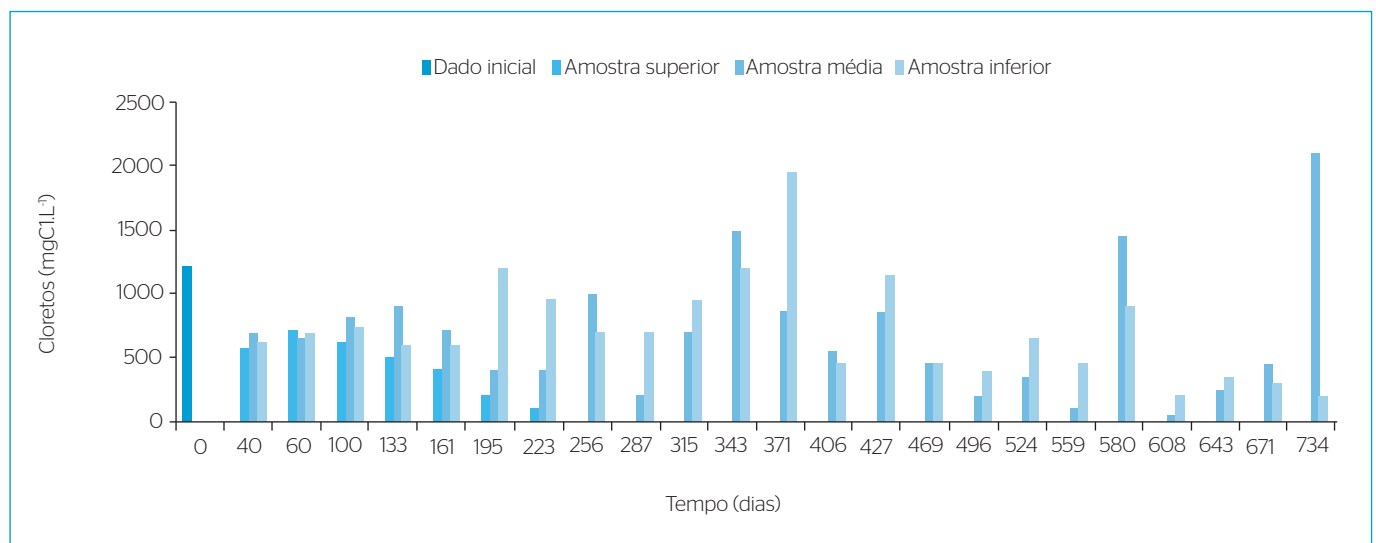


Figura 4 - Evolução dos cloretos.

associado tanto ao processo de lixiviação quanto às significativas quantidades de solo nas amostras coletadas, A presença basicamente de solo nessa camada, em decorrência do processo biodegradativo, empobrece o meio de sais, o que também justifica a diminuição de cloreto no solo.

O nível superior apresentou variação de 576,0 mg.L⁻¹ para t=0 a 99,0 mg.L⁻¹ para t=223 dias de monitoramento, enquanto o nível intermediário variou de 692 a 299,0, para o período de t=0 a 734 dias, e o inferior, de 618,9 a 199,9 mg.L⁻¹ para esse mesmo período.

Segundo Coelho *et al.* (2005), a faixa de valor de cloretos em aterros sanitários é de 30 a 5.000 mg.L⁻¹. Estes resultados também corroboram os encontrados por Leite (2008), Garcez (2009) e Melo (2011) em estudos com biorreatores sob as mesmas condições de aterramento e monitoramento.

A amostra inferior apresenta maiores concentrações de cloretos, se comparada à amostra superior, demonstrando que os níveis de contaminantes estão mais concentrados na parte inferior do biorreator. Isso já era esperado, pois a camada inferior funciona como depósito de líquidos provenientes da lixiviação; entretanto, a toxicidade não foi elevada, pois nesse nível ocorreram processos degradativos acentuados (MELO, 2011).

Demanda química de oxigênio e demanda bioquímica de oxigênio

As Figuras 5 e 6 apresentam a evolução da demanda química de oxigênio (DQO) e da demanda biológica de oxigênio (DBO) ao longo do tempo de aterramento.

O nível intermediário apresentou variação de 27.309 a 6.299 mgO₂.L⁻¹, respectivamente, para t=0 a 734 dias de avaliação, o que correspondeu a cerca de 77% de redução. No nível inferior a variação foi de 27.309 a 11.811 mgO₂.L⁻¹, para o mesmo período analisado, correspondendo a uma redução em torno de 57%.

Valores altos de DQO e DBO inicialmente eram esperados, já que são uma característica da degradação dos resíduos depositados recentemente em aterros, onde há grande disponibilidade de matéria orgânica facilmente degradável; em seguida, os valores passam a apresentar um decréscimo na concentração, o que pode estar relacionado diretamente à evolução do processo de digestão anaeróbia (CONTRERA *et al.*, 2014).

Com esses resultados, supõe-se que a fase de degradação no biorreator seja a fase ácida, com características de pH baixo e parâmetros como DBO e DQO elevados. Contudo, durante a fase metanogênica o pH varia entre 6,5 e 8,5 (Figura 3) e os valores de DBO e DQO são significativamente menores (SEGATO & SILVA, 2000).

Valores elevados também foram observados por El-Fadel *et al.* (2002), que verificaram variação de DQO entre 45.000 e 120.000 mgO₂.L⁻¹ até os 160 dias de aterramento; Catapreta e Simões (2008), em seus estudos sobre aterros em Belo Horizonte, também indica valores superiores a 40.000 mgO₂.L⁻¹.

Assim como a DQO, a DBO inicialmente apresentou altos valores, que, com o passar do tempo de monitoramento, foram decaindo moderadamente; é possível ainda observar alguns picos nessas análises, os quais podem estar relacionados tanto com a heterogeneidade dos resíduos como também com a lixiviação existente no interior do biorreator (Figura 6).

O valor da DBO obtido inicialmente para a camada superior foi de 3.000 mgO₂.L⁻¹; ao fim do monitoramento houve uma redução para 840 mgO₂.L⁻¹, o que em termos percentuais corresponde a 72%, já o nível intermediário apresentou redução de 3.000 para 895 mgO₂.L⁻¹, sendo uma redução de 70%, e de 3.000 para 842 mgO₂.L⁻¹ no nível inferior, totalizando um decréscimo de 72%.

A DBO e a DQO diminuem com o tempo porque os ácidos voláteis e outros compostos orgânicos facilmente biodegradáveis, que são responsáveis pelos seus valores elevados na fase ácida, agora são quase totalmente consumidos e convertidos em subprodutos dentro do

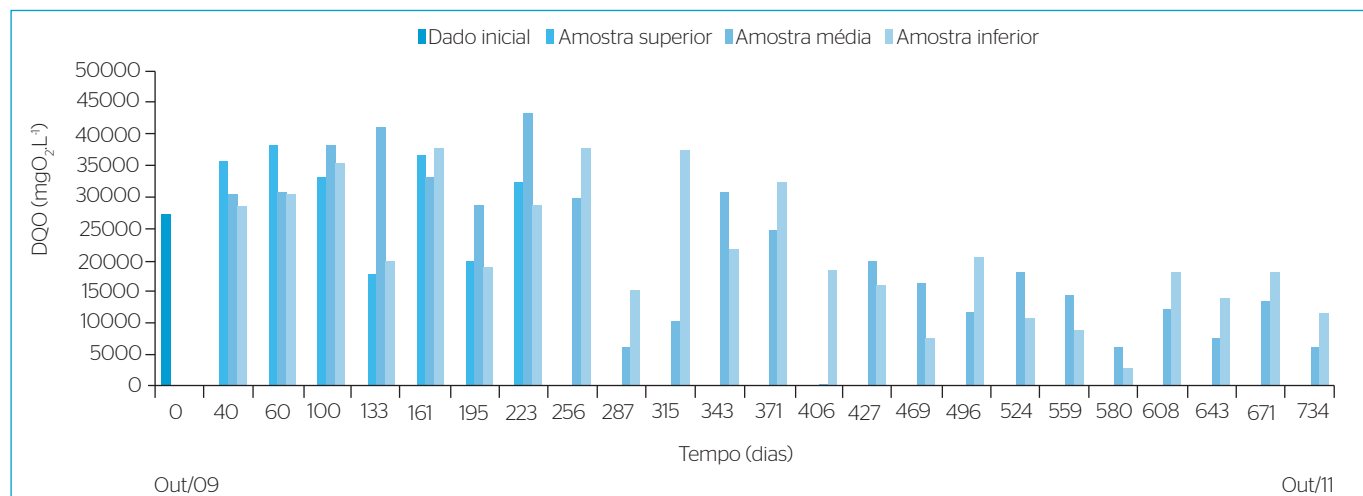


Figura 5 - Evolução da demanda química de oxigênio.

próprio biorreator (SOUTO, 2009). Isso já pode ser verificado a partir dos 133 dias de monitoramento, haja vista que a redução da concentração dos compostos orgânicos, com o processo de mudança de fases da biodegradação, contribui para o aumento do pH. A partir dos 315 dias, a DBO apresenta flutuações, o que é considerado normal, por se tratar de resíduos, logo após o período de flutuações a DBO decai consideravelmente e como consequência há um aumento do pH. Esses resultados estão de acordo com Garcez (2009) e Meira (2009) com biorreatores sob as mesmas condições de estudo.

Sólidos voláteis

A Figura 7 apresenta a evolução temporal dos sólidos voláteis (SV). Pode-se observar que os valores de SV, assim como a maioria dos

parâmetros analisados anteriormente, apresentaram valores elevados no início, reduzindo ao longo do período de monitoramento.

Primeiramente, pode se observar que o dado inicial (t=0) para esse parâmetro não foi calculado, devido a problemas operacionais e ajustes de metodologias.

No nível superior puderam ser observados valores iniciais de SV na faixa de 60%. Ao final do monitoramento, os valores decresceram consideravelmente para 3% de SV. A redução verificada nos SV no decorrer do monitoramento foi em torno de 95%, o que possivelmente está relacionado aos processos degradativos e à lixiviação. No nível intermediário a redução correspondeu a 61%, e no nível inferior, a 60%.

Embora os SV indiquem de forma indireta a quantidade de matéria orgânica a ser degradada nos resíduos não há necessariamente

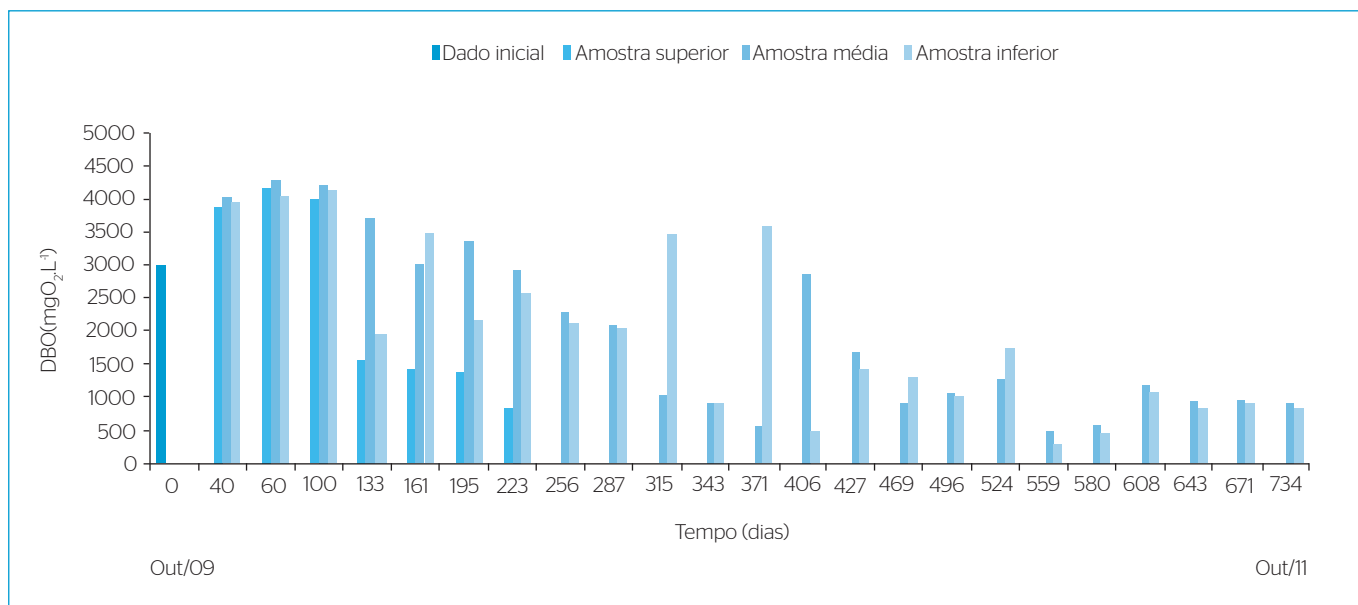


Figura 6 - Evolução da demanda biológica de oxigênio.

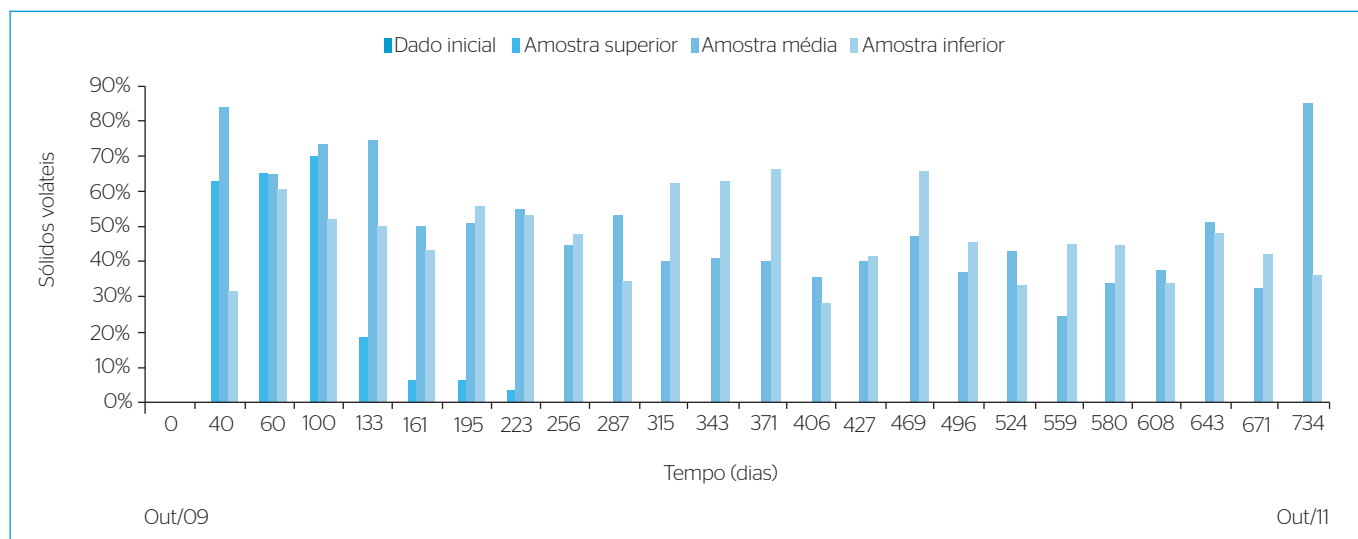


Figura 7 - Evolução dos sólidos voláteis.

relação direta entre SV, DQO e DBO. A DBO será alta se os SV forem facilmente biodegradáveis, mas será baixa se eles forem recalcitrantes. Se não houver substâncias inorgânicas que confirmem DQO, como metais reduzidos e cloretos, o valor da DQO estará ligado quase que unicamente aos SV e sua remoção implicará na remoção quase total da DQO (SOUTO, 2009).

Palmisano e Barlaz (1996) reportam valores de redução de SV na faixa de 35 a 60% e Kelly (2002) registra 58% para RSU depositados em células de aterros com 730 dias de monitoramento.

Em estudos envolvendo biorreatores de RSU, Alcântara (2007) verificou uma redução em termos percentuais de matéria orgânica de 36% de SV um período de 365 dias. Pode-se observar que os SV estão sendo degradados de forma satisfatória, já que ocorre a redução do teor de sólidos ao longo do tempo para todos os níveis de profundidade estudados.

De uma forma geral, pode-se dizer que o monitoramento dos parâmetros físico-químicos são importantes para se compreender o comportamento de aterros de RSU, pois esses dados podem indicar em que estágio de degradação os resíduos se encontram.

CONCLUSÕES

De acordo com os parâmetros físico-químicos analisados, pode-se concluir que a biodegradação dos RSU depositados no biorreator se desenvolveu de acordo com o tempo de degradação para o período monitorado e que a matéria orgânica encontra-se em estágio avançado de decomposição.

Os resultados da caracterização inicial dos RSU, coletados na cidade de Campina Grande, apresentaram propriedades ligeiramente ácidas e elevado teor de SV compatíveis com o teor de matéria orgânica encontrado na composição dos resíduos.

O acompanhamento dos valores de teor de umidade dos resíduos ao longo do tempo foi propício à degradação dos RSU depositados no biorreator.

Em relação à evolução da concentração de cloretos, pôde-se observar que os níveis de contaminantes estão mais concentrados na parte inferior do biorreator, devido, principalmente, aos processos de lixiviação.

O monitoramento do biorreator piloto sugere que o processo degradativo dos RSU está na fase metanogênica devido às características dos parâmetros verificados ao longo do tempo.

REFERÊNCIAS

- ALCÂNTARA, P.B. (2007) *Avaliação da Influência da Composição de Resíduos Sólidos Urbanos no Comportamento de Aterros Simulados*. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- ALVES, I.R.F.S. (2008) *Análise Experimental do Potencial de Geração de Biogás em Resíduos Sólidos Urbanos*. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- APHA; AWWA; WEF. (2012) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22th ed. Washington: APHA. 1203p.
- ARAÚJO, E.P. (2011) *Estudo do comportamento das bactérias aeróbias e anaeróbias na biodegradabilidade dos resíduos sólidos urbanos na cidade de Campina Grande - PB*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1986a) *NBR 6457: amostras de solo: preparação para ensaios de compactação e ensaios de caracterização*. Rio de Janeiro. 9p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (1986b) *NBR 7182: solo - ensaio de compactação - método de ensaio*. Rio de Janeiro. 10p.
- ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004c) *NBR 10007: Resíduos sólidos - amostragem de resíduos*. Rio de Janeiro. 21p.
- BARLAZ, M.A.; SCHAEFER, D.M.; HAM, R.K. (1989) Bacterial population development and chemical characteristics of refuse decomposition in a simulated sanitary landfill. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 55, p. 55-56.
- BIDONE, F.R.A. & POVINELLI, J. (1999) *Conceitos básicos de resíduos sólidos*. São Carlos: EESC-USP. v. 1.
- BORGLIN, S.E.; HAZEN, T.C.; OLDENBURG, C.M.; ZAWISLANSKI, P.T. (2004) Comparison of Aerobic and Anaerobic Biotreatment of Municipal Solid Waste. *Journal of the Air & Waste Management Association*, v. 54.
- CASTILHOS JUNIOR, A.B. (Coord.). (2003) *Resíduos sólidos urbanos: Aterro sustentável para municípios de pequeno porte*. Rio de Janeiro: Projeto PROSAB - RIMA, ABES.
- CATAPRETA, C.A.A. & SIMÕES, G.F. (2008) Evaluation of the Relation Between Precipitation and Leachate Flow in an Experimental Sanitary Landfill. *In: Congresso Interamericano Aidis, 21. Anais...* Santiago - Chile. Centro de Eventos Casa Piedra, 12-15 Octubre de 2008.
- COELHO, H.M.G.; LANGE, L.C.; SIMÕES, G.F.; FERREIRA, C.F.A.; VIANA, D.F. (2005) Avaliação do desempenho de camadas de cobertura intermediárias e finais em células experimentais de disposição de resíduos sólidos urbanos. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 23. Anais...* Campo Grande. Rio de Janeiro: ABES.
- CONTRERA, R.C.; DA CRUZ S.K.C.; MORITA, D.M.; DOMINGUES R.J.A.; ZAIAT, M.; SCHALCH, V. (2014) First-order kinetics of landfill leachate treatment in a pilot-scale anaerobic sequence batch biofilm reactor. *Journal of Environmental Management*, v. 145, p. 385-393.

- EL FADEL, M.; DOUSEID, E.; CHAHINE, W.; ALAYLIC, B. (2002) Factors influencing solid waste generation and management. *Waste Management*, v. 22, p. 269-276.
- GARCEZ, L.R. (2009) Estudo dos componentes tóxicos em um biorreator de resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande - PB. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- JUCÁ, J.F.T.; MARIANO, M.O.H.; ALVES, M.C.M.; MACIEL, F.J.; BRITO, A. (2005) Disponibilidade do biogás em uma célula do aterro de resíduos sólidos da muribeca. *In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 23. *Anais...* Campo Grande, Mato Grosso do Sul.
- KELLY, R.J. (2002) *Solid waste biodegradation enhancements and the evaluation of analytical methods used to predict waste stability*. Thesis (Environmental Science and Engineering) - Faculty of Virginia Polytechnic Institute and State University, Blacksburg, Virginia.
- LEITE, H.E.A.S. (2008) *Estudo do comportamento de aterros de RSU em um biorreator em escala experimental na cidade de Campina Grande - PB*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- MANASSERO, M.; VAN IMPE, W.F.; BOUAZZA, A. (1996) *Waste disposal and containment*. *In: International Congress on Environmental Geotechnics*, 2. *Anais...* Osaka, Japão: Balkema. p. 1425-1474.
- MEIRA, R.C. (2009) *Estudo biodegradativo dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande - PB em escala experimental*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- MELO, M.C. (2011) Influência da Matéria Orgânica nos Recalques de Resíduos Sólidos Urbanos Aterrados. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais), Centro de Ciências e Tecnologia - Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande.
- MELO, M.C.; AIRES, K.O.; ALMEIDA, M.V.A.; MONTEIRO, V.E.D. (2014) Microbiologia de resíduos sólidos urbanos e sua relação com a deformação vertical da massa aterrada. *Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 223-230.
- PALMA, J.H.G.; VALENZUELA, P.I.T.; ESPINACE, R.H.A. (2000) Reducción de los Tiempos de Estabilización en Rellenos Sanitarios Operados con Recirculación de Lixiviados Tratados. *In: Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 27. *Anais...* Porto Alegre
- PALMISANO, A.C. & BARLAZ, M.A. (1996) *Microbiology of Solid Waste*. New York: CRC Press. p. 1-224.
- PEREIRA, F.T.G.; MELO, A.B.; MEIRA, R.C.; ARAUJO, E.P.; FRANÇA, L.R.C.; ARAUJO, M.V.; MONTEIRO, V.E.D. (2010) Análise e Monitoramento dos Coliformes Totais e Termotolerantes de uma Célula Experimental de RSU. *In: SINRES - Simpósio Nordestino de Resíduos Sólidos*. *Anais...* Campina Grande.
- SEGATO, L.M. & SILVA, C.L. (2000) Caracterização do Lixiviado do Aterro Sanitário de Bauru. *In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL*. *Anais...* Porto Alegre. 521p.
- SOUTO, G.A.B. (2009) *Lixiviado de aterro sanitário - Estudo da remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar ("stripping")*. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S.A. (1993) *Integrated solid waste: Management - Engineering Principles and Management Issues*. New York: McGraw-Hill International Editions.
- YOUCAI, Z.; WANG, L.W.; HUA, R.H.; DIMIN, X.; GUOWEI, G. (2002) A comparison of refuse attenuation in laboratory and field scale lysimeters. *Waste Management*, v. 22, p. 29-35.
- WORLD HEALTH ORGANIZATION - WHO. International Reference Center for Wastes Disposal. (1979) *Methods of analysis of sewage sludge solid wastes and compost*. Switzerland: WHO.