



Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal

of Applied Science

ISSN: 1980-993X

ambi-agua@agro.unitau.br

Universidade de Taubaté

Brasil

Freire de Sá, Lidiane; Thomé Jucá, José Fernando; da Motta Sobrinho, Maurício A.

Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar

Ambiente & Água - An Interdisciplinary Journal of Applied Science, vol. 7, núm. 1, 2012, pp. 204-217

Universidade de Taubaté

Taubaté, Brasil

Disponível em: <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=92823615016>

- ▶ Como citar este artigo
- ▶ Número completo
- ▶ Mais artigos
- ▶ Home da revista no Redalyc

redalyc.org

Sistema de Informação Científica

Rede de Revistas Científicas da América Latina, Caribe, Espanha e Portugal  
Projeto acadêmico sem fins lucrativos desenvolvido no âmbito da iniciativa Acesso Aberto



ISSN = 1980-993X – doi:10.4136/1980-993X

[www.ambi-agua.net](http://www.ambi-agua.net)

E-mail: [ambi-agua@agro.unitau.br](mailto:ambi-agua@agro.unitau.br)

Tel.: (12) 3625-4212



## Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar

(<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.815>)

**Lidiane Freire de Sá; José Fernando Thomé Jucá;  
Maurício A. da Motta Sobrinho**

Universidade Federal de Pernambuco,  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Recife – PE  
e-mails: lidifs@hotmail.com; jucah@ufpe.br; mottas@ufpe.br

### RESUMO

Com o intuito de prover uma solução alternativa para o tratamento de lixiviados de aterros de pequeno porte, este trabalho apresenta os resultados do desenvolvimento, avaliação e otimização de um sistema de tratamento, baseado na evaporação natural. Para a avaliação foram monitorados parâmetros físico-químicos e microbiológicos, tais como a DQO, DBO, cor, turbidez, condutividade, sólidos totais e coliformes. Estudou-se também a influência da radiação solar, assim como a pluviometria/evaporação. Foi constatada uma redução de aproximadamente 100% na turbidez, cor e sólidos totais. Foi ainda observado que os resultados da DBO e DQO, assim como dos coliformes totais e fecais do destilado estiveram dentro dos padrões de lançamento do CONAMA 357/2005. Concluiu-se assim que este sistema é eficiente e viável para aterros de pequeno porte.

**Palavras-chave:** Destilador solar; Lixiviado; Evaporação.

### Treatment of landfill leachate using a solar destillar

### ABSTRACT

The subject of this research was to build, develop, evaluate and optimize a system of natural evaporation of leachate, to reduce the organic loads. Physical and chemical microbiological parameters were monitored during the experiment to evaluate the system performance. The solar radiation and rainfall influence on the evaporator was investigated. The results showed 100% reduction of the turbidity, color and total solids. The values of BOD, COD, thermotolerants and total coliforms in the treated effluent had concentrations that meet the Brazilian Federal Environmental Council (CONAMA) standards. Based on the results, it was concluded that the natural solar system was adequate for small landfills.

**Keywords:** Solar distillation; Leachate; Evaporation.

### 1. INTRODUÇÃO

Com o crescimento populacional nas cidades e aumento do consumo, está ocorrendo uma produção exacerbada de resíduos sólidos em todo mundo. Mesmo com avanços tecnológicos, o processamento do lixo não é eficiente, havendo um insignificante reaproveitamento e reciclagem do material, e uma grande quantidade de resíduos sendo lançados sem um tratamento adequado na natureza, formando os lixões.

As consequências adversas da disposição de resíduos sólidos é um importante problema da atualidade que envolve a análise de migração de contaminantes a partir dos locais onde esses resíduos são dispostos, bem como garantia de estabilidade e impermeabilização dos locais usados para disposição dos mesmos. Dentre os contaminantes ou poluentes destes resíduos destacam-se os: cloretos, nitratos, metais pesados e compostos orgânicos de difícil degradabilidade (Oliveira, 1999).

No Brasil são produzidas aproximadamente 260 mil toneladas de Resíduos Sólidos Urbanos por dia, os quais representam um dos mais graves problemas de saneamento ambiental uma vez que apenas 27,7% são destinados a aterros sanitários e 50,8% vão para vazadouros a céu aberto (IBGE, 2008). Estima-se que, em média, 55% (em peso) dos Resíduos Sólidos Urbanos produzidos são constituídos de matéria orgânica putrescível, sendo imprescindível a busca de alternativas tecnológicas adequadas para o tratamento dos resíduos sólidos, líquidos e gasosos gerados na sua decomposição.

O resíduo líquido gerado da decomposição do material putrescível presente no lixo é denominado chorume, sendo também conhecido por lixiviado ou percolado. O chorume é somente o líquido proveniente da decomposição da matéria orgânica, e os lixiviados e/ou percolados são a solução do chorume e água, de origem superficial (chuva ou escoamento) ou subterrânea (infiltração), carreando materiais dissolvidos ou suspensos, proveniente da digestão anaeróbia da matéria orgânica por ação das exoenzimas produzidas pelas bactérias. Este líquido flui pela massa de lixo após atingir sua capacidade de campo ou de retenção (Rocha, 2005).

O Lixiviado ou percolado de aterros sanitários é originário de quatro diferentes fontes:  
Da umidade natural do lixo, aumentando no período chuvoso;  
Do líquido de constituição da matéria orgânica, que se origina durante o processo de decomposição;  
Das bactérias existentes no lixo, que expelem enzimas e as mesmas dissolvem a matéria orgânica com formação de líquido;  
De fontes de águas naturais existentes na área de disposição dos resíduos.

Os resíduos líquidos percolados representam a principal fonte de poluição em aterros sanitários, sendo os mesmos gerados pela infiltração de água das chuvas que percolam através da massa de resíduos, carreando os produtos da decomposição biológica e os elementos minerais em dissolução. Estes efluentes representam um problema de poluição potencial para as águas superficiais e principalmente, para as águas subterrâneas (Souza, 2005).

O impacto produzido pelo lixiviado sobre o meio ambiente está diretamente relacionado com a sua fase de decomposição. O lixiviado de aterro novo, quando recebe boa quantidade de água pluvial é caracterizado por pH ácido, altas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO<sub>5</sub>) e de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e diversos compostos potencialmente tóxicos, além de microorganismos patogênicos. Com o passar dos anos há uma redução significativa da biodegradabilidade devido à conversão em gás metano e CO<sub>2</sub> de parte dos componentes biodegradáveis.

Pessin et al. (2000) relatam que o desenvolvimento da atividade microbiana no interior das células de aterramento, associado aos fatores ambientais, é capaz de promover a percolação de quantidades significativas do lixiviado. Em função da elevada concentração de matéria orgânica e de metais, o lixiviado constitui-se como um poluente extremamente agressivo ao ambiente, necessitando de tratamento anterior ao seu lançamento no corpo receptor.

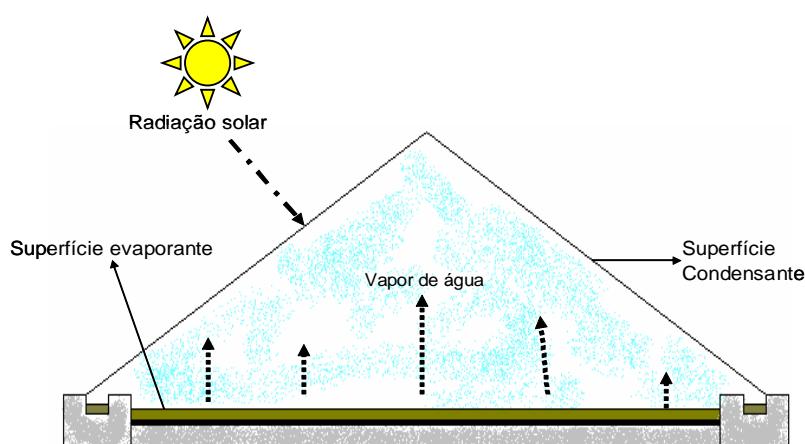
Os processos de tratamento de efluentes se dividem em dois grandes grupos. Os que concentram o poluente (processos de separação e adsorção) e os que destroem os poluentes (basicamente os processos oxidativos químicos ou biológicos e pirolíticos). Como exemplos

de processos que concentram o poluente têm-se a adsorção, filtração, processos com membrana (ultrafiltração, osmose inversa, etc.), decantação e evaporação, dentre outros.

A fim de obter um lixiviado de baixas concentrações, reduzindo principalmente amônia e DQO, o tratamento de lixiviado por evaporação se apresenta como uma nova tecnologia de baixo custo (Etalla, 1998). A Global Methane (Global Methane, 2010), cita na palestra intitulada “Controle de Lixiviado (Chorume) & Tecnologias de Controle o sistema de lagoas de evaporação como uma unidade de tratamento para o lixiviado em grande escala.

A destilação solar utiliza a radiação solar (direta e difusa) para promover o aquecimento e mudança de fase do líquido, em um sistema extremamente simples, permitindo assim a remoção de contaminantes. O processo natural de purificação do líquido, por meio de evaporação, condensação e precipitação, é reproduzido em pequena escala. Esse equipamento, chamado de destilador solar, consiste basicamente em um tanque raso com um tampo de vidro transparente, formando um sistema estanque.

O processo se realiza da seguinte forma: a radiação solar atravessa o vidro e aquece o líquido, promovendo a sua evaporação. O vapor sobe e condensa ao entrar em contato com o vidro mais frio. O líquido condensado escorre pela superfície interna do vidro até ser coletado nas canaletas, deixando para trás os sais, outros minerais e a maioria das impurezas, incluindo microorganismos nocivos à saúde (Figura 1).



**Figura 1.** Esquema de um destilador solar.

Uma unidade piloto experimental foi montada com o objetivo de avaliar o processo de evaporação como uma nova alternativa para eliminar os impactos ambientais causados pelo lixiviado, concentrando as substâncias contidas no lixiviado como um resíduo sólido e eliminando os voláteis, como a amônia, por “stripping”, diluindo-a no ar atmosférico. Desta forma, este estudo visa assim avaliar o processo de evaporação natural para tratar o lixiviado oriundo de um aterro sanitário. Essa tecnologia foi escolhida pela localização da região na qual foi realizado o experimento, ou seja, uma área que apresenta altas taxas de insolação, mas também apresentam médios a altos níveis de precipitação pluviométrica.

Existem ainda unidades de tratamento de lixiviados que utilizam o gás gerado nos aterros para promoverem a evaporação do lixiviado (Catanhede et al., 2009; Silva e Segato, 2002). O Sistema desenvolvido no aterro de Bauru, prevê uma evaporação de cerca de 5500 kg/h de lixiviado considerando-se uma captação de 90% do metano gerado no aterro (Silva e Segato, 2002). Vários sistemas de tratamento de lixiviado por evaporação são apresentados por Birchler et al. (1994), mostrando inclusive sistemas de múltiplo estágio. Sistemas como estes, que utilizam o metano gerado no aterro, são aplicável para aterros de grande porte, que não são o foco deste trabalho.

## 2. MATERIAIS E MÉTODO

### 2.1. Amostragem

O lixiviado utilizado para a realização dos experimentos provém do Aterro da Muribeca, o qual recebe diariamente em média, 3.000 t/dia de resíduos dos municípios de Jaboatão dos Guararapes e Recife, sendo o maior do Estado de Pernambuco. Ele ocupa uma área de 60 hectares e localiza-se na zona rural do município de Jaboatão dos Guararapes (PE), à uma distância de 16 Km do centro do Recife. O lixo que chega ao aterro é composto por 60% de matéria orgânica, 15% de papel, 8% de plástico, 2% de metais e 13% de outros materiais (Lins, 2003).

O aterro da Muribeca produz, diariamente  $3 \pm 2$  L/s de líquidos lixiviados, dependendo da precipitação pluviométrica diária. Esse lixiviado é drenado e encaminhado para Estação de Tratamento do Lixiviado (ETC), que utiliza o processo de Sistema de Lagoas de Estabilização que, neste caso, é constituído por uma lagoa de decantação, uma lagoa anaeróbia e três lagoas facultativas.

Estudos realizados nesta estação (Rocha, 2005) mostraram que a concentração média de matéria orgânica (DQO) foi de 7.863 mgO<sub>2</sub>/L e de matéria orgânica biodegradável (DBO) de 3.655 mgO<sub>2</sub>/L. Estes valores são altos comparados a um efluente doméstico, sobretudo quando se sabe que a vazão média situa-se em torno de 400 m<sup>3</sup>/dia, o que dá uma carga orgânica de 1.462 kg DBO<sub>5</sub>/dia. Por outro lado, o sistema de lagoas, utilizado na ETC da Muribeca, não vem sendo eficiente na remoção da poluição, apresentando baixas eficiências de remoção e descarte fora dos limites estabelecidos pela resolução CONAMA 357/2005 (Brasil, 2005).

### 2.2. A Unidade Piloto (Evaporador solar)

O evaporador que funciona como um destilador solar (Figura 2) foi construído com as seguintes características: o tanque raso que é a base do destilador foi confeccionado em aço galvanizado, onde possui uma cobertura de vidro, que é inclinada do centro até as bordas para que o líquido se condense na superfície interior e escoe por gravidade até a calha. Para vedação entre os cantos do vidro e o tanque, foi utilizado silicone. As dimensões da unidade piloto são as seguintes: caixa de base: 1,00 m de largura x 1,50 m de comprimento x 0,30 m de altura; altura da base para o solo: 0,90 m; calhas: 0,15 m de largura x 1,5 m de comprimento; vidro: 1,30 m de largura x 1,5 m de comprimento; inclinação da placa de vidro: 45°. A Figura 2 mostra uma foto do evaporador solar. As dimensões desta unidade foram baseadas no trabalho de Bezerra (2004) e nas discussões informais com o Grupo Fontes Alternativas de Energia (FAE) da UFPE. O aumento na escala do referido sistema implica na utilização de vários sistemas em paralelo, assim como ocorre para a produção de água potável por destilação solar. O aumento no porte de cada unidade está limitada por esforços mecânicos e resistência dos materiais, sobretudo do vidro de cobertura



**Figura 2.** Foto da unidade piloto de tratamento do Lixiviado por evaporação.

### 2.3. Local de Estudo

O Evaporador solar foi instalado na área de testes do grupo Fontes Alternativas de Energia (FAE) do Departamento de Energia Nuclear (DEN) na UFPE, no sentido norte-sul, com uma das faces voltadas ao nascente e a outra ao poente, de modo melhor aproveitar a incidência dos raios solares. O Grupo FAE forneceu dados de radiação solar, de modo estudar a influência da radiação solar na produção de efluente tratado. Além disso, a facilidade de acesso ao experimento, uma vez que o mesmo, sendo realizado dentro do campus, viabilizou a coleta de uma maior variedade de dados e um monitoramento mais intenso do experimento.

### 2.4. Pontos de Amostragem e Procedimento de Coleta

O preenchimento do evaporador foi realizado com o lixiviado coletado na saída da lagoa de decantação do sistema de tratamento da Muribeca (Jaboatão doa Guararapes/PE). Para avaliar a eficiência do sistema, em função da qualidade do efluente tratado, foram coletadas amostras do efluente tratado na calha que recebe o líquido evaporado que foi condensada na cobertura de vidro (Figura 3).



**Figura 3.** Coleta do lixiviado na lagoa de decantação e coleta do destilado.

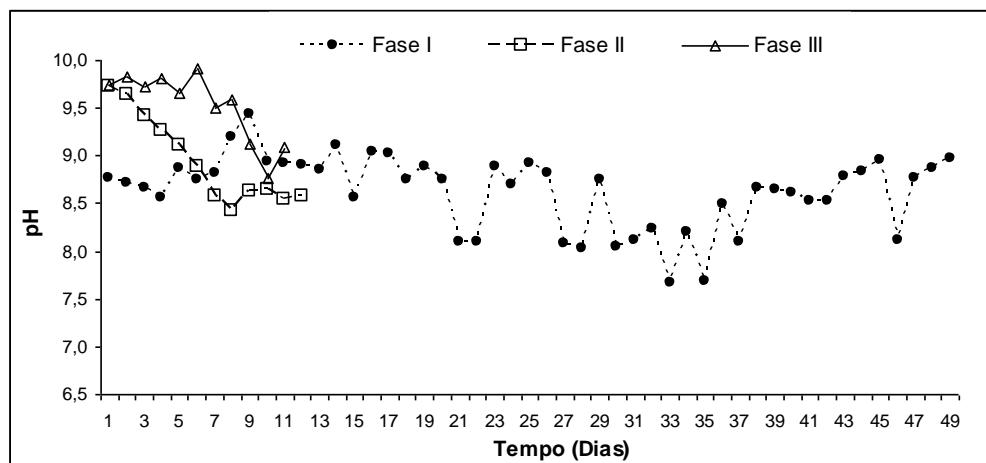
### 2.5. Coletas dos dados

O monitoramento da operação do destilador para determinação de sua eficiência na remoção de contaminantes foi realizado de 04 de julho a 14 de novembro de 2007, divididos em três Fases. A Fase I foi realizada de 04 de julho a 12 de setembro de 2007, perfazendo um total de 70 dias. Fase II iniciou dia 13 de setembro sendo finalizada 02 de outubro tendo uma duração de vinte dias, já a Fase III teve duração de quatorze dias iniciando-se 01 de novembro e finalizando no dia 14 de novembro. As análises Físico - Químicas foram realizadas segundo o Standart Methods (APHA et al., 1995). Também foi monitorada a radiação solar e os dados pluviométricos foram fornecidos pelo ITEP (Instituto de Tecnologia de Pernambuco). Estes dados são fundamentais para se estimar o rendimento da evaporação do lixiviado, ou seja, o quanto de efluente tratado foi produzido a cada dia.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

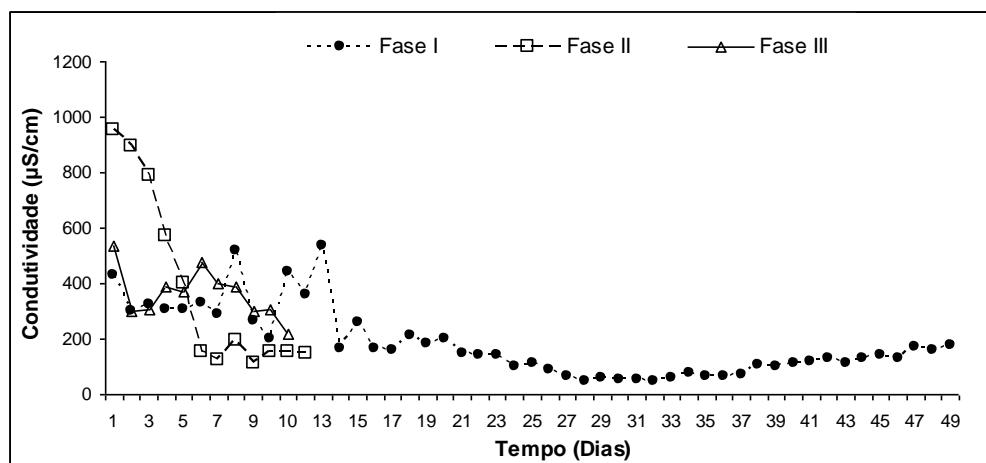
### 3.1. Análise do Destilado

A Figura 4 apresenta os valores de pH do efluente tratado. Pode-se observar que os valores variaram entre 8,5 e 9,7, indicando assim um pH levemente alcalino. O valor do pH do lixiviado nas três fases (respectivamente 8,14, 8,52 e 8,63) manteve-se praticamente constante. O fato do pH ser levemente alcalino, está associado à presença principalmente da amônia, que é transferida por stripping do lixiviado bruto para o efluente tratado.



**Figura 4.** Variação do pH do efluente tratado.

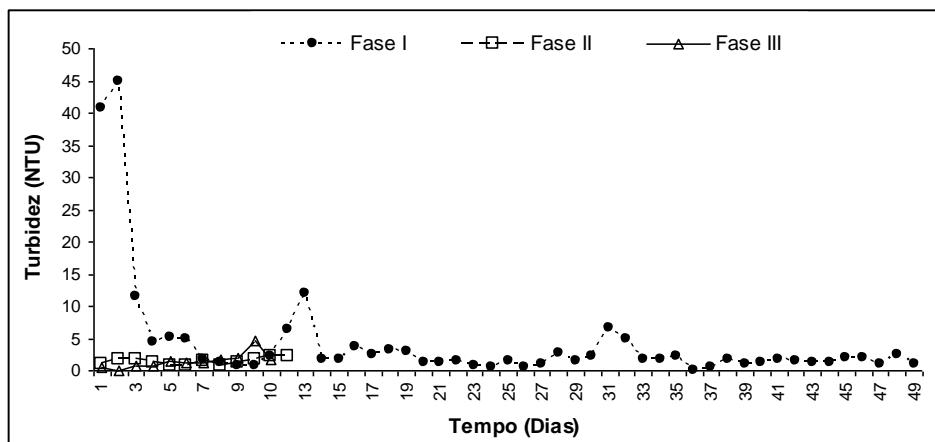
Na Figura 5 encontram-se os resultados para condutividade, através dos quais pode-se observar a redução de condutividade no destilado, haja vista que a destilação solar fornece um condensado (efluente tratado) quase isento de sais, que conferem condutividade à mesma.



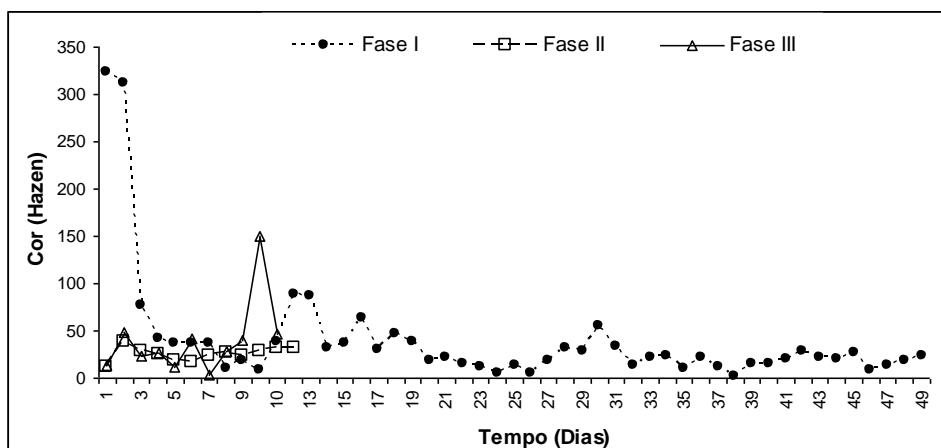
**Figura 5.** Variação da Condutividade Elétrica do efluente tratado.

As Figuras 6, 7 e 8 apresentam os resultados para as determinações da turbidez, cor e sólidos totais, respectivamente, do efluente tratado. Observa-se que a turbidez, cor e sólidos totais no Lixiviado nas Fases I, II e III são de 288, 613 e 170,4 UNT, 6115, 7180 e 11160 Hazen e 7760, 7702 e 11456 mg/L respectivamente. Essa redução ocorre porque o efluente tratado (de qualidade próxima à uma água destilada) é obtido por evaporação condensação e, portanto, livre de material em suspensão (principal causador da turbidez e cor). O acréscimo nos valores da turbidez, cor, e sólidos totais, no efluente tratado no início dos experimentos deve-se principalmente ao arraste de pequenas partículas em suspensão e de substâncias voláteis.

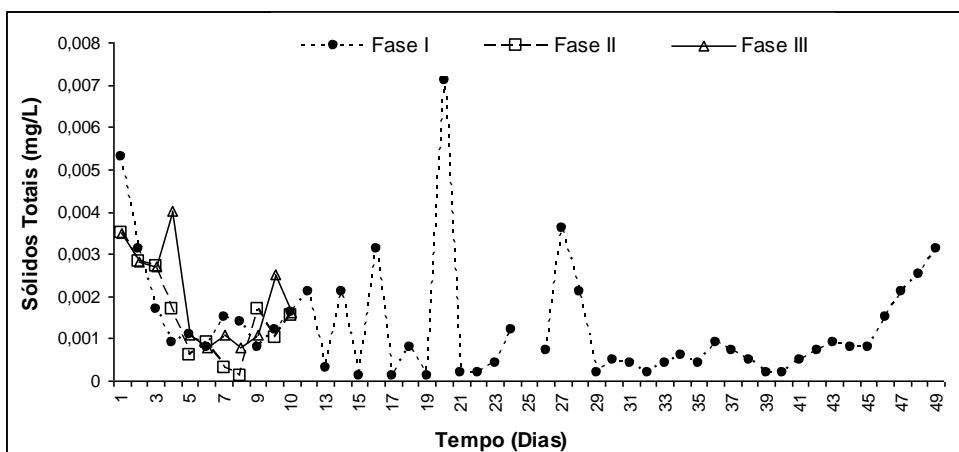
Pode-se observar que ocorreram aumentos nos valores de cor e turbidez e principalmente nos de sólidos totais. Esse fato sugere duas hipóteses: os recipientes para a coleta não estavam devidamente lavados, ou ocorreu infiltração de partículas pela vedação dos vidros durante as chuvas.



**Figura 6.** Variação da turbidez do efluente tratado.

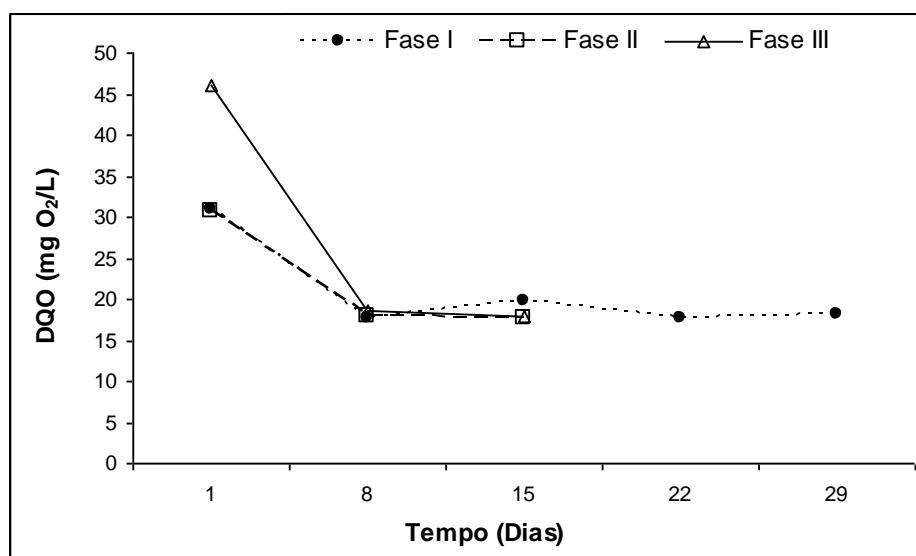


**Figura 7.** Variação da cor do efluente tratado.



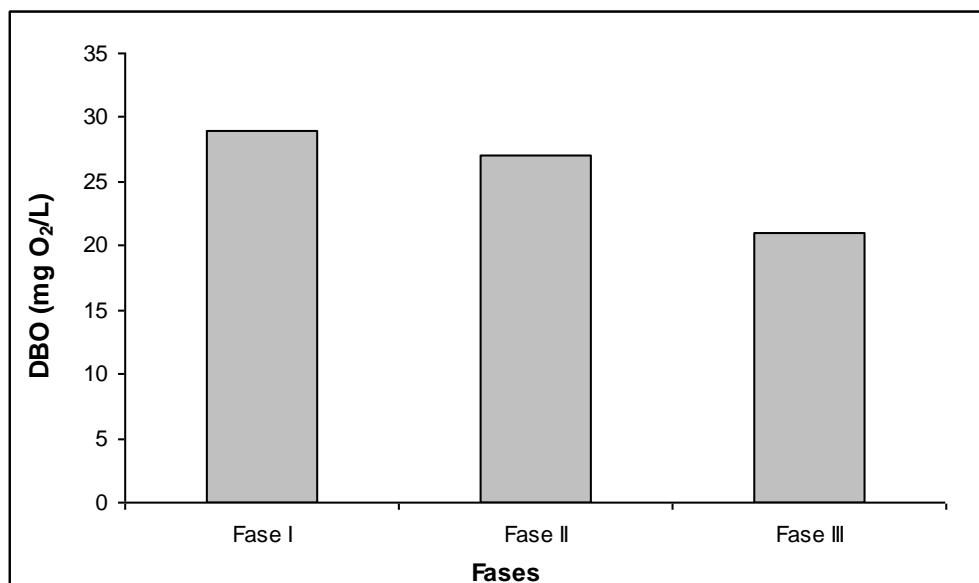
**Figura 8.** Variação dos Sólidos Totais do efluente tratado.

Na Figura 9 são apresentados os resultados das análises da DQO. Observa-se que nas três fases estudadas, no primeiro dia sempre ocorrem os maiores valores. Pode ocorrer que no início, os orgânicos voláteis sejam transferidos inicialmente da fase líquida (lixiviado) para o vapor e em seguida para a líquida (efluente tratado).



**Figura 9.** Variação do DQO do efluente tratado.

O fato acima pode também explicar os elevados valores obtidos para a DBO, que foram de 29, 27, e 21mg O<sub>2</sub>/L para as Fases I, II e III, respectivamente. Comparando estes, com os valores de DBO do lixiviado, 2164, 3644 e 4308 mg O<sub>2</sub>/L, observam-se reduções acima de 98%. A Figura 10 mostra que não ocorre muita variação da DBO, entre os experimentos, ao final da primeira semana. Desta forma fica claro que o Evaporador Solar cumpre a função de tratar o lixiviado, ou seja, obter um efluente tratado. Todavia o valor obtido da DBO para este efluente tratado está acima do permitido pela resolução 357/05 do CONAMA. Vale frisar que assim como a concentração da DQO foi reduzida ao longo do experimento, o mesmo deve ter acontecido para a DBO, de forma que se assumirmos a relação DBO/DQO como constante e adotarmos os valores da Fase III, temos uma relação DBO/DQO de 0,46 e como a partir da segunda semana a DQO que está um pouco abaixo de 20 mgO<sub>2</sub>/L, logo a DBO estar abaixo de 10 mgO<sub>2</sub>/L, respeitando assim a legislação.



**Figura 10.** DBO do efluente tratado nas fases I, II e III, após a 1º semana do experimento.

Os valores de coliformes totais e termotolerantes determinados foram de  $1,6 \times 10^6$  e  $9,0 \times 10^4$  respectivamente, para Fase I, nota-se que seus valores apresentaram elevação quando comparados com a Fase II e III, apresentados na Tabela 1. O motivo desse aumento para as análises de coliforme pode ter sido contaminação durante a coleta.

Para as Fases II e III, o resultado de coliformes totais e termotolerantes foi de ausência. Com base nos resultados obtidos nos experimentos, foi possível observar que o evaporador solar tem capacidade para reduzir a contaminação fecal a níveis compatíveis com o padrão de qualidade sanitária recomendado para lançamento de efluentes em corpos receptores naturais. Brandão (2000 apud PROSAB, 2001) afirma que para um elevado grau de contaminação, a eliminação total de coliformes pode ser conseguida com um tempo de exposição de duas horas a uma temperatura do líquido de 50° C. As temperaturas observadas no interior do equipamento (no ar) foram iguais ou superiores a este valor, indicando que o líquido estava a uma temperatura acima desta, garantindo assim a eliminação dos coliformes.

A Tabela 1 apresenta os resultados obtidos através da destilação solar, sendo que esses valores são valores médios. Através da observação da Tabela verifica-se que todos os parâmetros apresentaram índices de remoção.

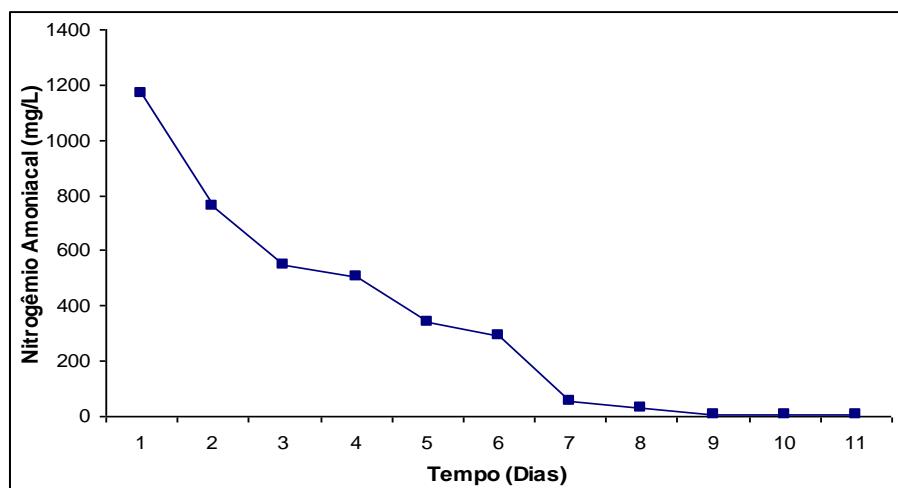
**Tabela 1.** Resumo dos resultados das análises estudadas e suas remoções.

PARÂMETROS	FASE I			FASE II			FASE III		
	LIX	DES	%	LIX	DES	%	LIX	DES	%
<b>Cor (Hazen)</b>	6115	39,39	99,35	7180	25,08	99,65	11160	39,45	99,64
<b>Turbidez (UNT)</b>	288,1	4,10	98,57	613	1,37	99,77	170,4	1,46	99,14
<b>Condutividade (<math>\mu</math> S/cm)</b>	12800	135,77	98,93	14945	345,1	97,69	22310	363,2	98,37
<b>Sólidos Totais (mg/L)</b>	7760	0,0012	99,99	7702	0,01	99,99	11456	0,0017	99,99
<b>DBO (mg/L)</b>	2164	29	98,65	3644	27	99,25	2430	21	99,13
<b>DQO (mg/L)</b>	4308	31	99,28	4380	30,72	99,29	3967,3	46	98,84
<b>Coliformes Termotolerante (NPJM/100ml)</b>	$3 \times 10^6$	$9 \times 10^4$	97	$5 \times 10^5$	0	100	$5 \times 10^5$	0	100
<b>Coliformes Totais (NPJM/100ml)</b>	$3 \times 10^6$	$16 \times 10^4$	94	$9 \times 10^5$	0	100	$13 \times 10^5$	0	100

em que: LIX – Lixiviado, DES- Destilado, % - Remoção.

A comprovação da eficiência da remoção da contaminação microbiológica pode ser feita ao se observar os valores obtidos para os coliformes totais e termotolerante, que apresentam uma redução de aproximadamente 100%. Para análises- físico-químicas houve um decréscimo dos valores de condutividade, turbidez, cor e sólidos totais. Estes valores estão dentro de padrões estabilizados pela norma CONAMA 357/2005. Como se pode perceber, a destilação solar apresenta-se como uma alternativa viável para tratamento do lixiviado.

A análise de amônia só foi realizada na Fase III. O efluente tratado apresenta um forte odor de amônia, no início do experimento, devido ao “stripping” da amônia. A amônia é transferida do lixiviado para o destilado (absorção da amônia no líquido). A Figura 11 mostra a diminuição do nitrogênio amoniacal, com o decorrer dos dias, no efluente tratado. Com o passar do tempo o nitrogênio amoniacal do lixiviado foi sendo eliminado gradativamente através do efluente tratado.



**Figura 11.** Variação dos valores do nitrogênio amoniacal da Fase III.

### 3.2. Análise da Radiação solar e da precipitação

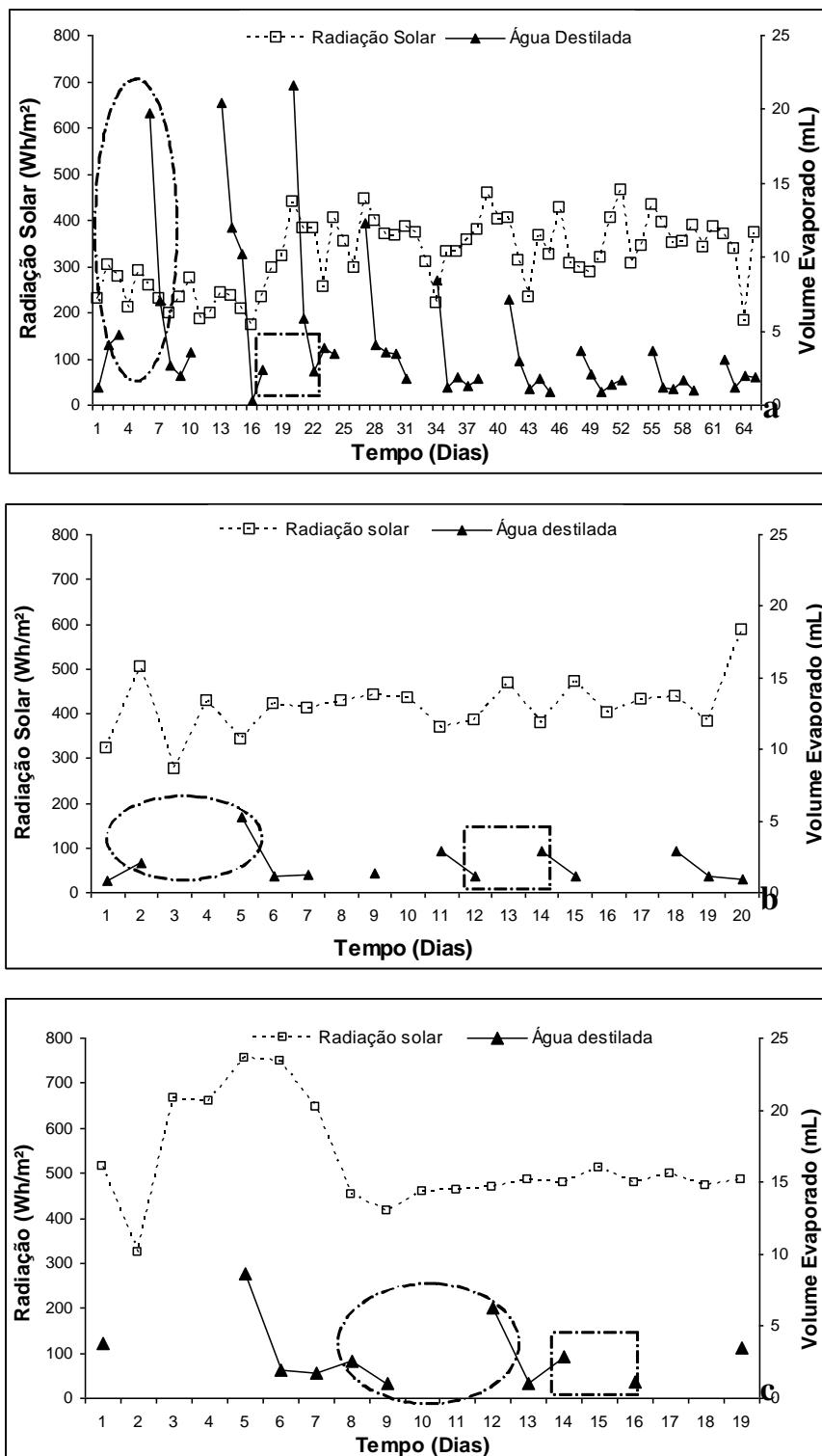
Nessa parte do trabalho buscou-se estudar o comportamento da radiação solar e os dados pluviométricos, de forma que se possa avaliar o rendimento da evaporação do lixiviado, ou seja, o quanto de efluente tratado foi gerado a cada dia.

A evaporação dentro do evaporador solar é muito rápida e após cinco minutos de operação já pode ser visualizado o vapor devido à radiação solar. Entretanto a condensação só começa a ser percebida aproximadamente uma hora depois de iniciado o experimento. A Figura 12 apresenta os dados de radiação solar total e de efluente produzido (volume evaporado) em função do tempo nas três Fases estudadas. Pode-se assim observar a influência da radiação solar na evaporação do lixiviado e, por conseguinte, na produção de efluente tratado (observar elipses na Figura 12). Pode-se constatar que a cada queda da radiação solar, ocorre também uma redução no volume do efluente tratado. Também pode se perceber que no decorrer dos dias existem picos que chegam acima de 20mL. Contudo estes valores correspondem ao volume evaporado durante todo o fim de semana (que não se tem acesso ao sistema – destaque quadrado na Figura12). Desta forma este pico deve ser dividido por três pra se ter uma idéia mais realista.

Também pode se observar na Figura 12, que na Fase I a radiação apresentou valores mais baixos. A razão é que essa época do ano é mais chuvosa. Devido a isso, esta fase teve uma duração maior. Já nas Fases II e III houve um aumento no valor da radiação solar, ou seja, é nos meses de setembro a fevereiro que são observados os maiores índice de insolação.

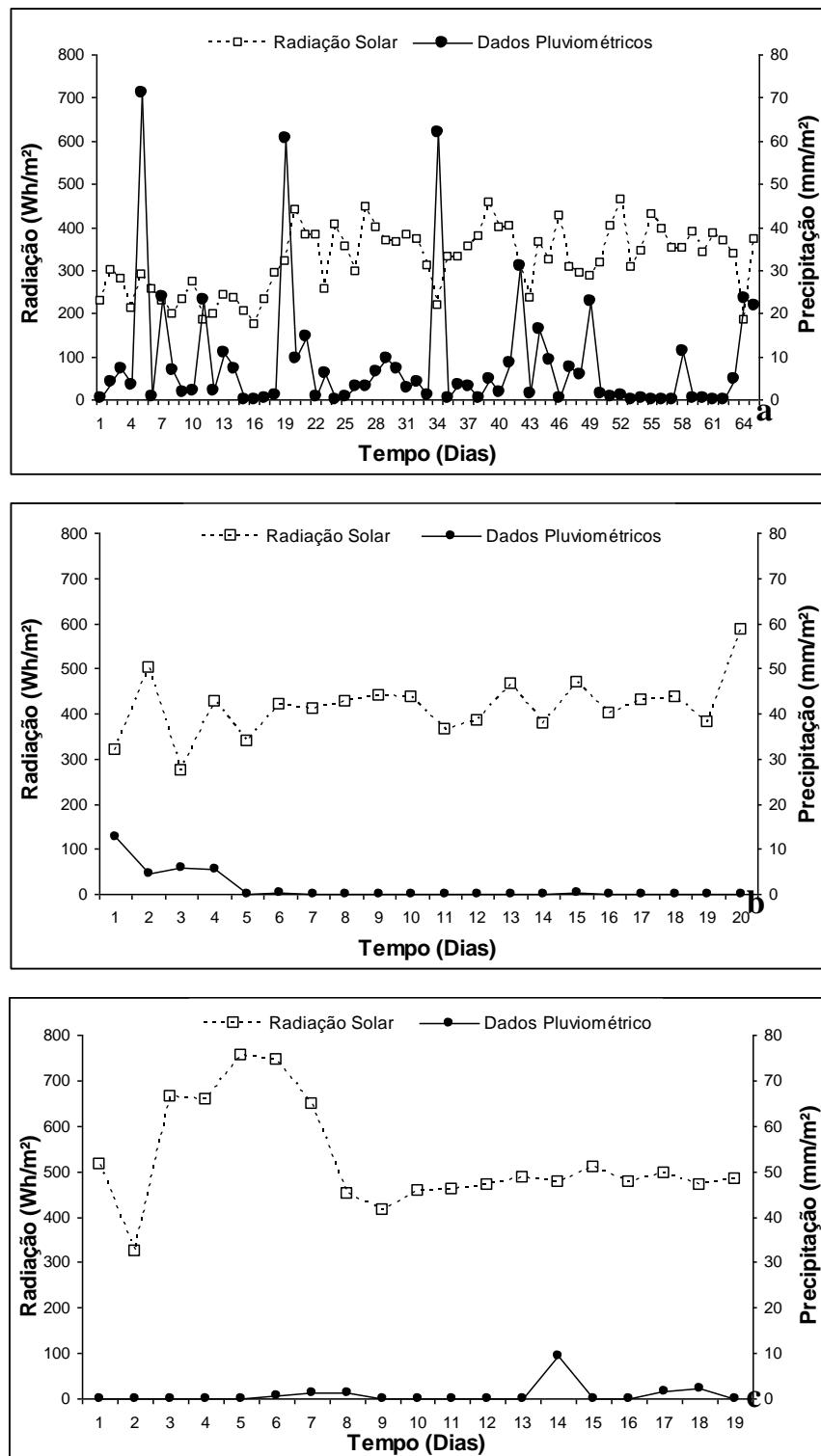
Marcelo (1996 apud Bezerra, 2004) comenta que as perdas de energia dependem das condições meteorológicas, com irradiação, temperatura do ar, velocidade dos ventos e do projeto evaporador. Incluindo nesse item tipo de material, forma e orientação do evaporador e profundidade da camada a evaporar, que afeta a variação diária da temperatura do líquido, o que tem influência decisiva nas perdas. Estes aspectos podem ser claramente observados ao se comparar a Fase I com a II e III. Ressalta-se ainda que a temperatura muito elevada não favorece a destilação solar, uma vez que o vidro também fica quente e não favorece assim a

condensação. Por esta razão, as maiores eficiências do destilador solar estão no início da manhã e do meio para o fim da tarde.



**Figura 12.** Comportamento da radiação solar e do volume evaporado:  
a) Fase I; b) Fase II ; c) Fase III.

Na Figura 13 é apresentado o comportamento da radiação solar e da precipitação função do tempo.



**Figura 13.** Comportamento da radiação solar e Precipitação:  
a) Fase I; b) Fase II; c) Fase III.

Percebe-se que nos dias que houve uma grande precipitação, ocorreu, na maioria das vezes uma queda na radiação solar, porém isso não é regra. Há dias em que ocorreu precipitação e a radiação solar foi alta. Isso pode ser explicado pelo fato de que a precipitação ocorreu no período noturno. Percebe-se que nas Fases II e III o volume de precipitação diminui conforme fora explicado para a radiação solar.

Para os dias com altas nebulosidades, a radiação solar diminui. Isto é justificável pelo fato de que as nuvens são responsáveis por 25 a 30 % (em média) da reflexão da radiação solar que chega ao planeta. As nuvens variam continuamente de forma e tamanho e são grandes moduladoras da energia solar que chega a superfície (INPE, 2003)

#### **4. CONCLUSÃO**

O sistema conseguiu tratar o lixiviado, produzindo água que pode ser empregada em sistemas de irrigação, apesar de ter uma baixa taxa de evaporação devido ao sistema estar fechado. Dessa forma, pode-se aproveitar o efluente tratado para um reuso. Desta forma pode-se constatar que este trabalho vai além de um simples tratamento, fornece também efluente de boa qualidade para possível aplicação na agricultura. Mostra-se assim a contribuição de um destilador solar, relativamente simples, para tratamento de lixiviados oriundos de aterros sanitários. Tendo em vista os volumes gerados, prevê-se sua aplicação para aterros de pequeno porte.

#### **5. AGRADECIMENTOS**

Os autores agradecem ao edital PROSAB-5 FINEP/MCT/CT-HIDRO pelo apoio financeiro e aos revisores deste artigo.

#### **6. REFERÊNCIAS**

American Public Health Association; American Water Works Association; Water Environment Federation - APHA – AWWA - WEF. **Standard methods for the examinations of water and wastewater**. 19th ed. Washington, 1995.

BEZERRA, M. A. S. **Desenvolvimento de um destilador solar para tratamento de águas de produção de petróleo com vistas a sua utilização na agricultura e geração de vapor**. 2004. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

BIRCHLER, D. R.; MILKE, M. W.; MARKS, A. L.; LUTHY, R. G. Landfill leachate treatment by evaporation. **Journal of Environmental Engineering**, New York, v. 120, n. 5, p. 1109-1131, 1994.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Resolução nº 357 de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Disponível em: <[http://www.cetesb.sp.gov.br/Aqua/praias/res\\_conama\\_357\\_05.pdf](http://www.cetesb.sp.gov.br/Aqua/praias/res_conama_357_05.pdf)>. Acesso em: 07 mar. 2012.

CATANHEDE, A.; JUCÁ, J. F. T.; FIGUEIREDO, I. C.; SILVA, F. M. S.; MOTTA SOBRINHO, M.; SÁ, L. F. et al. Tratamento de lixiviados por evaporação. In: PROSAB. **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. p. 332-358.

SÁ, L. F.; JUCÁ, J. F. T.; MOTTA SOBRINHO, M. A. Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 204-217, 2012. (<http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.815>)

---

ETTALA, M. Full-scale leachate treatment using new evaporation technology. **Practice Periodical of Hazardous, Toxic, and Radioactive Waste Management**, Reston, v. 2, n. 2, p. 86-87, 1998. [http://dx.doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-025X\(1998\)2:2\(86\)](http://dx.doi.org/10.1061/(ASCE)1090-025X(1998)2:2(86))

GLOBAL METHANE. Controle de Lixiviado (Chorume) & Tecnologias de Controle. In: **\_\_\_\_\_Methane to markets**. 2010. Disponível em: <[www.globalmethane.org/documents/events\\_land\\_20091027\\_wietting3.pdf](http://www.globalmethane.org/documents/events_land_20091027_wietting3.pdf)>. Acesso em: 05 abr. 2011.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. **Pesquisa nacional de saneamento**: 2008. Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <[http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia\\_visualiza.php?id\\_noticia=1691&id\\_pagina=1](http://www.ibge.gov.br/home/presidencia/noticias/noticia_visualiza.php?id_noticia=1691&id_pagina=1)>. Acesso em: 20 dez. 2008.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Radiação solar e terrestre**. 2003. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/radiacao/#/>>. Acesso em: 17 fev. 2008.

LINS, E. A. M. **A utilização da capacidade de campo na estimativa do percolado gerado no aterro da Muribeca**. 2003. 142f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2003.

OLIVEIRA, R.; SILVA, J. B. P.; ATHAYDE JR., G. B. et al, Velocidade de remoção de coliformes fecais em um reservatório de estabilização alimentado com esgoto doméstico bruto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 15-20 set. 1999, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 1999. 1 CD-ROM

PESSIN, N.; BRUSTOLIN, I.; FINKLER, R. Determinação da eficiência de tratabilidade de reatores biológicos para atenuação de carga orgânica presente no chorume proveniente de aterros sanitários. In: SIMPÓSIO LUSO-BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 9., 9-14 abr. 2000, Porto Seguro. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2000. 1 CD ROM.

PROGRAMA DE PESQUISAS EM SANEAMENTO BÁSICO - PROSAB. **Processo de desinfecção e desinfetantes alternativos na produção de água potável**. São Carlos: ABES, 2001. 149p.

ROCHA, E. M. R. **Desempenho de um sistema de lagoas de estabilização na redução da carga orgânica do percolado gerado no aterro da Muribeca – PE**. 2005. 151f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2005.

SILVA, C. L.; SEGATO, L. M. Tratamento de líquidos percolados por evaporação através do aproveitamento de gás de aterros sanitários. In: CONGRESO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITÁRIA Y AMBIENTAL, 28., 27-31 de out. 2002, Cancún. **Anais...** Cancún: [s.n.], 2002.

SOUZA, G. **Monitoramento de parâmetros qualitativos e quantitativos de líquidos percolados de aterros sanitários**: estudo em piloto experimental. 2005. 86f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.