

## III-184 - AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA E PERFIL CINÉTICO DE BIODEGRADAÇÃO DE SISTEMA BIOLÓGICO NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

### **Gullit Diego Cardoso dos Anjos<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Químico pela Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro. Doutorando em Tecnologia em Processos Químicos e Bioquímicos (TPQB) na Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (EQ/UFRJ).

### **Rafael dos Santos Chalegre**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro.

### **Alyne Moraes Costa**

Bióloga pela Universidade Gama Filho. Mestre pelo TPQB (EQ/UFRJ). Doutoranda em Tecnologia em Processos Químicos e Bioquímicos (TPQB) na Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro (EQ/UFRJ).

### **Juacyara Carbonelli Campos**

D.Sc. em Engenharia Química - Tecnologia Ambiental - PEQ/COPPE/UFRJ. Engenharia Química/UFRJ. Professora Associada do Departamento de Processos Inorgânicos da Escola de Química /UFRJ

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Avenida Athos da Silveira Ramos, 149 – Bloco I Sala I-124 – Ilha do Fundão – Rio de Janeiro/RJ - CEP: 21941-909 - Brasil - Tel: (21) 3797-1650 - e-mail: g.diego@yahoo.com.br

### **RESUMO**

À medida que a produção mundial de bens aumenta, impulsionada pelas novas tecnologias e processos de produção, o consumo global tem se modificado. Observa-se um desequilíbrio da cadeia produtiva, devido à grande oferta de produtos, que ocorre em decorrência não só da quantidade disponível, mas também da acessibilidade ao consumidor e da ampla variedade. A principal implicação desse fato é que o ritmo de consumo acaba sendo superior a poucas soluções existentes para a absorção dos resíduos gerados, que na maioria das vezes são destinados de forma inadequada. Atualmente, a disposição e o gerenciamento de resíduos urbanos e industriais constituem um dos grandes desafios do gerenciamento ambiental no Brasil. O aterro sanitário embora seja considerado uma solução segura para o tratamento de resíduos, gera subprodutos que causam impactos ambientais significativos, tais como o lixiviado. Uma alternativa para tratamento deste lixiviado são os processos biológicos, como o de lodos ativados. Com a aplicação do processo biológico proposto, a conclusão que se pode fazer é que somente este processo não é capaz de respeitar a legislação ambiental vigente, havendo a necessidade de combiná-lo com outras tecnologias para maximizar a eficiência de remoção dos parâmetros estudados (DQO, N-NH<sub>3</sub>, Turbidez e absorvância em 254 nm). Entretanto, foi visto que as remoções de DQO e N- NH<sub>3</sub> são bastante eficientes pelo processo biológico estudado, chegando a remoções de 41% e 84%, respectivamente. O aspecto do lodo ativado utilizado apresentou-se de maneira ideal, apresentando flocos densos, equilíbrio entre as bactérias formadoras de flocos e as bactérias filamentosas e não foi verificado o excesso de filamentos, que poderia levar ao fenômeno de intumescimento do lodo. Com o tratamento biológico verificou-se também uma grande eficiência na redução da toxicidade aguda do lixiviado, uma vez que a toxicidade do lixiviado biotratado foi mais de quinze vezes menor do que a do lixiviado bruto (125 UT no lixiviado bruto para 8 UT no lixiviado biotratado).

**PALAVRAS-CHAVE:** Lixiviado, Aterro Sanitário, Tratamento Biológico, Cinética Microbiana, Lodo Ativado.

### **INTRODUÇÃO**

Com o desenvolvimento da sociedade houve uma perpetuação do modelo de acumulação capitalista, onde a produção e o consumo tendem a apresentar crescimento indiscriminado. Devido a este fato, as indústrias precisam, além de aumentar sua competitividade, desenvolver novos processos e tecnologias que consigam atender a esta crescente demanda sem causar maiores danos ao meio ambiente.

Entretanto, à medida que a produção mundial de bens aumenta, impulsionada pelas novas tecnologias e processos de produção, o consumo global tem se modificado. Observa-se um desequilíbrio da cadeia produtiva, devido à grande oferta de produtos, que ocorre em decorrência não só da quantidade disponível, mas também da acessibilidade ao consumidor e da ampla variedade. A principal implicação desse fato é que o ritmo de consumo acaba sendo superior a poucas soluções existentes para a absorção dos resíduos gerados, que na maioria das vezes são destinados de forma inadequada.

Atualmente, a disposição e o gerenciamento de resíduos urbanos e industriais constituem um dos grandes desafios do gerenciamento ambiental no Brasil. Em 2014, a produção per capita de resíduos sólidos domiciliares no Brasil foi de 1,062 kg/hab.dia, estimando-se uma produção média diária de 215.297 toneladas (ABRELPE, 2015).

Segundo um estudo realizado pela Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE), a classificação da destinação dos resíduos sólidos domiciliares, públicos e comerciais, em 2014, é 17,4% em vazadouros a céu aberto, 24,2% em aterros controlados e 58,4% em aterros sanitários. Essa pesquisa demonstrou que, naquele ano, somente 58,4% dos resíduos sólidos coletados são destinados a aterros sanitários. Portanto, uma grande parte dos resíduos ainda é direcionada para aterros controlados e lixões, que são áreas de grande potencial de poluição e contaminação do meio ambiente.

O aterro sanitário embora seja considerado uma solução segura para o tratamento de resíduos, gera subprodutos que causam impactos ambientais significativos, tais como o lixiviado e o biogás, os quais necessitam ser drenados, coletados, conduzidos e tratados de forma adequada (JUCÁ *et al.*, 2002).

Sendo assim, o principal inconveniente dos locais clandestinos para disposição dos resíduos sólidos urbanos (RSU) é a geração destes contaminantes e o seu não tratamento para lançamento no meio ambiente, pois a gestão inadequada destes resíduos e de seus efluentes pode provocar a proliferação de vetores e agentes patogênicos, poluição do solo, do ar e de recursos hídricos.

Devido a esta problemática, uma tendência mundial é o desenvolvimento de processos que tratem e reduzam os danos causados por esses subprodutos no meio ambiente, mais precisamente o lixiviado. Além do que, a busca por uma nova alternativa para tratamento é incentivada pelo constante aumento nas restrições dos padrões de lançamento para efluentes, estes impostos pelos órgãos ambientais.

Diante disso, este documento apresenta como proposta estudar a eficiência do sistema biológico no tratamento de lixiviados de aterros de resíduos urbanos.

## OBJETIVO

O presente trabalho apresenta como objetivo principal a avaliação da eficiência do sistema biológico no tratamento do lixiviado do Aterro de Seropédica/Rio de Janeiro.

## MATERIAIS E MÉTODOS

O trabalho tem como etapas a caracterização físico-química e toxicológica do lixiviado, os ensaios em batelada para degradação biológica, a determinação do perfil cinético de decaimento dos contaminantes na presença de microrganismos e a caracterização do consórcio microbiano utilizado.

Os testes foram realizados com o lixiviado proveniente do Centro de Tratamento de Resíduos Santa Rosa (CTR Santa Rosa), localizado no município de Seropédica no Estado do Rio de Janeiro. O CTR Santa Rosa entrou em operação em 20 de abril de 2011, com função de substituir o Aterro Controlado de Gramacho e recebe, diariamente, os resíduos provenientes dos municípios de Rio de Janeiro, Seropédica e Itaguaí (INOCÊNCIO *et al.*, 2013).

As amostras de lixiviado, para os testes, foram coletadas e armazenadas em bombonas de 20 litros, mantidas em temperatura ambiente até sua utilização. Todas as análises e experimentos descritos a seguir foram realizados no Laboratório de Tratamento de Águas e Reúso de Efluentes – Labtare (EQ/UFRJ).

A caracterização físico-química do lixiviado foi realizada com base nos seguintes parâmetros (APHA, 2005): Nitrogênio Amoniacal, Demanda Química de Oxigênio (DQO), pH, Alcalinidade, Cloreto, Turbidez, Condutividade e Absorvância em 254nm, essa última fornece uma indicação do conteúdo de matéria orgânica aromática.

Nos ensaios em batelada para degradação biológica, os ensaios foram realizados em provetas munidas de aeração por meio de compressores de aquário. 20% do volume da proveta foi preenchido com lodo biológico e o restante com lixiviado bruto. O pH foi mantido na faixa entre 7,0 e 8,0 e foi adicionado fósforo para complementar os nutrientes necessários para os microrganismos. Foram realizados 12 experimentos, sendo que a cada drenagem do efluente, eram coletadas amostras para realização de ensaios como: nitrogênio amoniacal, DQO, turbidez e absorvância em 254 nm. Inicialmente os testes foram iniciados com tempo de exposição de 24 horas que foi aumentado para 72 horas. Ressalta-se que durante todo o período experimental não foi repostado o lodo, anotando-se o volume de lodo a cada troca de lixiviado.

Para determinação do perfil cinético da remoção biológica de contaminantes foram utilizadas duas provetas de 500 mL com aeração. Cada proveta foi preenchida com 20% do seu volume com lodo e o restante com lixiviado bruto. O pH dos lixiviados foi ajustado para a faixa entre 7 e 8 e adicionou-se solução contendo fósforo na proveta com lodo. Os tempos analisados foram 0, 2, 6, 24, 48 e 72 horas.

Na caracterização do lodo microbiano utilizado foi empregada uma metodologia que consiste na retirada da amostra da proveta onde ocorria a aeração, sendo esta acondicionada em um béquer, deixando um espaço sem amostra para suprimento de oxigênio aos microrganismos. Para a análise no microscópio, colocou-se uma gota de lodo em uma lâmina. A amostra foi coberta com uma lamínula de 10x10 mm, sem incluir bolhas de ar. Em seguida, a lâmina foi colocada sob o microscópio óptico para o exame. Foram avaliadas a abundância de organismos filamentosos e a identificação e contagem dos microrganismos. Contou-se 3 lâminas de área de 10x10mm.

Os ensaios de toxicidade aguda CL50 ao organismo *Danio rerio* no lixiviado bruto e nos distintos efluentes tratados foram realizados com tempo de exposição de 48 horas e a resposta do ensaio foi o efeito sobre a sobrevivência e seguiu as metodologias padronizadas e descritas na ABNT 15088 (2011), prevendo a exposição dos organismos a diferentes diluições da amostra, num sistema estático por um período de 48 horas, com preparo das soluções-teste 0,80%; 3,10%; 6,20%; 12,5%; 25%; 50% e 100%. O controle foi realizado pela exposição do mesmo número de indivíduos à água de diluição nas mesmas condições de ensaio da amostra controlada.

## RESULTADOS

### - Caracterização Físico-Química do Lixiviado

A Tabela 1 apresenta os resultados da caracterização do lixiviado.

Tabela 1: Caracterização Físico-Química do Lixiviado em Estudo.

Parâmetros	Lixiviado Bruto
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> )	12994
Turbidez (NTU)	14
Cloreto	3137
N-NH <sub>3</sub> (mg/L)	974-1150
Condutividade (mS/cm)	29
DQO (mg/L)	4933
Absorvância (254 nm)	38
pH	8,2

### - Ensaios Biológicos em Batelada

A Tabela 2 apresenta os resultados dos ensaios em batelada para degradação biológica.

**Tabela 2: Resultados dos Ensaio em Batelada para Degradação Biológica do Lixivado (n=3)**

Experimentos		Volume de Lodo (mL)		Saída dos Reatores (valores médios)			
No.	Tempo de aeração da batelada (h)	Proveta A	Proveta B	DQO (mg/L)	Nitrogênio amoniacal (mg/L)	Turbidez (NTU)	Absorvância 254 nm
1	24	75	75	3670	1144,2	9,4	9,3
2	24	100	100	4608,	1078,3	9,44	11,5
3	24	101	102	4112	1040,2	9,73	12,4
4	24	101	98	4317	1161	9,77	12,4
5	72	97	94	4130	189,6	5,46	12,2
6	72	105	103	3908	180	4,46	25,52
7	72	102	105	3708	172,5	6,55	25,21
8	72	107	105	2970	186,5	6,52	22,26
9	72	110	108	3558	181,5	4,94	24
10	72	108	105	4108	189	3,47	24,52
11	72	107	106	1609	157	5,06	22,61
12	72	106	105	1247	149,5	2,09	21,45

#### - Perfil Cinético de Degradação Biológica

Os resultados dos ensaios para determinação do perfil cinético de degradação biológica do lixiviado é apresentado na Tabela 3.

**Tabela 3: Estudo cinético para a remoção de contaminantes por microrganismos.**

Experimentos		Média das Provetas				Remoção (%)			
		DQO (mg/L)	N- amoniacal (mg/L)	Turbidez (NTU)	Absorvância a 254 nm	DQO	N- amoniacal	Turbidez	Absorvância a 254 nm
1	0h	4940	1147,3	10,1	31,3	-	-	-	-
2	2h	4997	718,2	8,0	30,9	0,0	37,4	21,5	1,3
2B	2h	4633	1105,0	9,6	31,6	6,2	3,7	4,6	0,0
3	6h	4458	702,0	7,9	30,8	9,8	38,8	21,7	1,5
3B	6h	4770	1089,0	9,7	31,7	0,0	1,4	0,0	0,0
4	24h	3827	667,8	7,2	28,1	22,5	41,8	29,1	10,3
4B	24h	4805	1049,0	9,5	32,1	0,0	3,7	2	0
5	48h	3263	514,9	7,0	25,2	33,9	55,1	30,8	19,4
5B	48h	4573	1085,0	9,6	32,0	4,8	0,0	0,0	0,3
6	72h	2928	183,0	6,1	19,2	40,7	84,1	40,3	38,7
6B	72h	4758	1007,0	7,3	31,7	0,0	7,2	24,8	0,9

Itens destacados com o código B são os ensaios em branco, ou seja, sem a presença de microrganismos.

#### - Caracterização do Lodo Biológico

As Figuras 1 e 2 mostram as imagens geradas pela microscopia do lodo biológico utilizado nas etapas de biotratamento nas provetas.

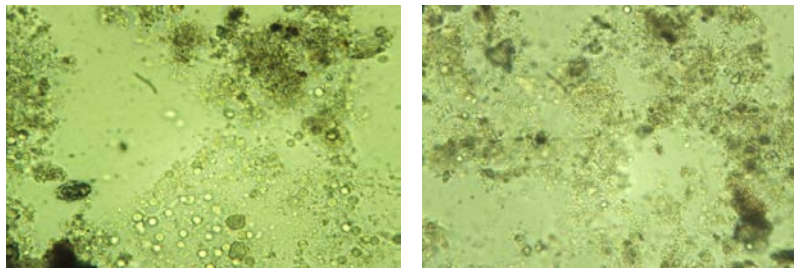


Figura 1: Microscopia óptica do lodo biológico (aumento 100x).

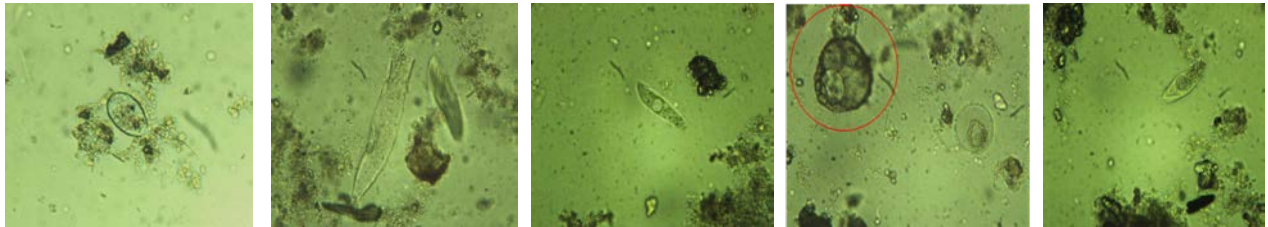


Figura 2: Microscopia óptica do lodo biológico: (a) Protozoário *Euglypha sp.* (aumento 200x); (b) Protozoário *Thuricola*. (aumento 200x); (c) *Paramecium sp.* (100x); (d) *Difflugia sp.* aumento 200x); (e) *Paramecium sp.* (100x).

#### - Toxicidade

Os resultados de toxicidade com *Danio rerio* mostrou que o lixiviado bruto apresentou 125 UT e o biotrado, 8 UT.

### ANÁLISE DOS RESULTADOS

#### - Caracterização Físico-Química do Lixiviado

O pH encontra-se levemente alcalino, dentro da faixa mais provável de lixiviados gerados em aterros brasileiros. Esse valor de pH sugere que o lixiviado está na fase metanogênica, onde ácidos intermediários são consumidos pelas arqueas metanogênicas, elevando o pH e a temperatura do meio, sendo convertidos a  $CH_4$  e  $CO_2$ , apesar do aterro possuir apenas 4 anos de operação.

A turbidez apresenta valores elevados, demonstrando a presença de grande quantidade de material suspenso e dissolvido. A coloração marrom-escura observada no lixiviado indica, segundo Segato e Silva (2000), a formação de substâncias húmicas e fase metanogênica.

A condutividade elétrica apresenta valor elevado (29000  $\mu S/cm$ ). Esse resultado indica a forte presença de íons dissolvidos e alto índice de poluição, já que quanto menor a condutividade elétrica, mais pura é a solução.

Souto (2009) apresenta valores de DQO variando de 20 mg/L a 35000 mg/L para lixiviados na fase metanogênica. Nesta fase, o lixiviado encontra-se mais estabilizado e, portanto, o valor da DQO observada é reduzido. Já para Tchobanoglous (1993) a concentração de DQO varia de 3.000 a 60.000 mg/L para aterros jovens e de 100 a 500 mg/L para aterros antigos. O valor encontrado para a DQO do lixiviado-teste ficou próximo à faixa para aterros jovens (com menos de dois anos). O valor para nitrogênio amoniacal também se manteve próxima à faixa de aterros novos (10-800 mg/L), segundo classificação de Tchobanoglous (1993).

Nascentes (2016) encontrou valores de pH na faixa de 8,13, condutividade elétrica de 40,1 mS/cm, Turbidez de 168 uT e DQO de 7997 mg/L. Em relação aos parâmetros estudados do mesmo lixiviado no presente estudo observou-se grande semelhança nos resultados obtidos, a não ser pelo valor de turbidez que aumentou de forma significativa. Este fato pode ser justificado devido a composição dos lixiviados variar de uma célula

para outra dentro do mesmo aterro, como também entre épocas do ano, fazendo com que essas variações apresentem níveis de tratabilidade diferentes de aterro para aterro (CASTILHOS Jr et al., 2006).

### - Ensaio Biológicos em Batelada

Os resultados de eficiência de tratamento para os ensaios em batelada, em geral, foram discretos para o tempo de 24 horas, provavelmente devido às condições operacionais do processo e/ou toxicidade do lixiviado. Aumentando o tempo de retenção do lixiviado dentro do reator, foi verificado, após alguns dias de experimento, a redução dos contaminantes presentes, como foi o caso da DQO, nitrogênio amoniacal e turbidez. Isso pode ter ocorrido devido ao maior tempo para aclimação do lodo nas condições do lixiviado bruto, o que otimizou a ação dos microrganismos.

### - Perfil Cinético de Degradação Biológica

Pode-se verificar, através da análise da Tabela 3, que houve uma remoção significativa de todos os quatro parâmetros estudados. Mostrou que mais de 40% da matéria orgânica presente no lixiviado é biodegradável e pode ser removida por meio de processos biológicos. Os ensaios em branco, sem a presença de microrganismos, se fizeram necessários para quantificar a real ação biológica sobre o lixiviado. Através da análise dos ensaios em branco, pode-se verificar que a grande remoção de nitrogênio amoniacal não foi realizada somente por perdas por volatilização devido ao sistema de aeração, mas também pela ação dos microrganismos.

### - Caracterização do Lodo Biológico

O aspecto do lodo ativado apresentou-se de maneira ideal, de acordo com Jenkins, Richard e Daigger (1993). Apresentando flocos densos, equilíbrio entre as bactérias formadoras de flocos e as bactérias filamentosas e não foi verificado o excesso de filamentos, que poderia levar ao fenômeno de intumescimento do lodo.

Com o intuito de identificar os microrganismos existentes no lodo foram geradas mais microscopias ópticas do lodo biológico, representadas pela Figura 2.

Com a análise da Figura 2 pode-se estimar a abundância dos microrganismos presentes no lodo biológico. A Tabela 6 ilustra os resultados obtidos por esta análise.

**Tabela 6: Abundância dos microrganismos no lodo biológico.**

Microrganismos	Abundância					
	0	1	2	3	4	5
Bactérias Livres			x			
Bactérias Filamentosas		x				
Protozoários Ameboides				x		
Protozoários Ciliados Livres				x		
Protozoários Ciliados Fixos		x				
Fungos		x				
Metazoários	x					
Algas	x					

Legenda: (0) ausente, (1) poucos, (2) comuns, (3) muito comuns, (4) abundantes, (5) excessivos.

### - Toxicidade

Com a análise dos resultados, observou-se que a CL50 do lixiviado bruto, concentração letal para 50% dos indivíduos expostos, é de 1,13% (125 UT), o que mostra a alta carga poluidora do lixiviado estudado e que é

necessário o desenvolvimento de processos que melhorem sua qualidade. O aspecto do lodo ativado utilizado apresentou-se de maneira ideal, apresentando flocos densos, equilíbrio entre as bactérias formadoras de flocos e as bactérias filamentosas e não foi verificado o excesso de filamentos, que poderia levar ao fenômeno de intumescimento do lodo, o que comprova a perfeita aclimação do lodo na presença do lixiviado.

Com o tratamento biológico estudado a toxicidade reduziu de forma significativa, pois a CL50 para o lixiviado biotratado foi de 17,68%. Com o tratamento biológico verificou-se uma grande eficiência na redução da toxicidade aguda do lixiviado, uma vez que a toxicidade do lixiviado biotratado foi mais de quinze vezes menor do que a do lixiviado bruto (125 UT no lixiviado bruto para 8 UT no lixiviado biotratado).

## **CONCLUSÕES**

Inicialmente, a conclusão que se pode fazer é que somente o processo biológico não é capaz de respeitar a legislação ambiental vigente, havendo a necessidade de combiná-lo com outras tecnologias para maximizar a eficiência de remoção dos parâmetros estudados (DQO, N-NH<sub>3</sub>, Turbidez e absorvância em 254 nm). Entretanto, foi visto que as remoções de DQO e N- NH<sub>3</sub> são bastante eficientes pelo processo biológico estudado, chegando a remoções de 41% e 84%, respectivamente. Modelos cinéticos e avaliação microbiológica do lodo serão aprofundadas na continuidade do trabalho.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. ABRELPE, Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2014, disponível em: <http://www.abrelpe.org.br/Panorama/panorama2014.pdf>, 2015.
2. APHA / AWWA / WEF: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 21th. Ed. USA, APHA, 2005.
3. SEGATO, L. M. & SILVA, C. L. Caracterização do percolado do Aterro Sanitário de Bauru. Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, 27. Porto Alegre, Porto Alegre, 2000.
4. SOUTO, G.A. B.. Lixiviado de Aterros Sanitários Brasileiros – estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (“stripping”). 371 p. – Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.
5. TCHOBANOGLIOUS, G.; THEISEN, H.; VIGIL, S.A. Integrated solid waste management: Engineering principles and management issues. McGraw Hill, 1993.
6. CASTILHOS JR. Sólidos urbanos com ênfase na proteção de corpos d’água: prevenção, geração e tratamento de lixiviados de aterro sanitário Rio de Janeiro: ABES, 2006.
7. NASCENTES, A. L.; CARVALHO, J. X.; MIRANDA, T. M.; SILVA, L. D.B.; Caracterização do Lixiviado Bruto da CTR Santa Rosa, Seropédica-RJ; Anais da IV Reunião de iniciação Científica da UFRRJ, Seropédica/RJ, 2016.
8. Jenkins, D., Richard, M.G., and Daigger, G.T., Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming, 2nd ed., Lewis Publishers, Chelsea, 1993.
9. JUCÁ, J. F. T. Destinação final dos resíduos sólidos no Brasil: situação atual e perspectivas. 10º SILUBESA - Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Braga, Portugal – 16 a 19 de Setembro de 2002.