

II-076 - AVALIAÇÃO DA PARTIDA DE UM BIORREATOR COM MEMBRANAS INOCULADO COM BIOMASSA DA LEVEDURA *SACCHAROMYCES CEREVISIAE* NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Gabriela Cristina Barbosa Brito⁽¹⁾

Bacharel em Biologia e Pós-graduada em Gestão Ambiental pelo Centro Universitário UNA. Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Analista Ambiental da Secretaria de Estado de Meio Ambiente e Desenvolvimento de Minas Gerais (SEMAD- MG).

Míriam Cristina Santos Amaral⁽²⁾

Engenheira Química, Doutora em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos pela Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Profª. do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em Belo Horizonte, MG, Brasil.

Liséte Celina Lange⁽³⁾

Química, Doutora em Tecnologia Ambiental pela Universidade de Londres - Inglaterra. Profª. do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em Belo Horizonte, MG, Brasil.

Rafael Campos Ávila⁽⁴⁾

Graduando em Engenharia Ambiental, Bolsista no Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, MG, Brasil.

Vera Lúcia dos Santos⁽⁵⁾

Agrônoma, Mestre em Microbiologia Agrícola e Doutora em Genética e Melhoramento pela Universidade Federal de Viçosa. Profª. do Departamento de Microbiologia do Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG) em Belo Horizonte, MG, Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Rua Delegado Paulo Olegário, 21 - Ipê - Belo Horizonte - MG - CEP: 31930-055 - Brasil - Tel: (31) 91585857 - e-mail: gabrielacbrito@gmail.com

RESUMO

A variação espacial e temporal do lixiviado dificulta o seu processo de tratamento. Os biorreatores com membranas (BRM) têm sido considerados um dos métodos mais promissores para o tratamento de efluentes. A biomassa dos biorreatores normalmente consiste de microrganismos bacterianos, entretanto este grupo pode apresentar limitações para a degradação de compostos orgânicos refratários do lixiviado. O objetivo deste trabalho foi desenvolver um procedimento de partida de um BRM inoculado com biomassa da levedura *Saccharomyces cerevisiae* (levedura da cerveja) no tratamento de lixiviado de aterro sanitário. Foi utilizado o lixiviado após remoção de amônia por *air stripping* de um aterro sanitário em operação desde 2007. O BRM utilizado possui um módulo submerso de microfiltração, composto por membranas de fibra oca de poli(éter-imida). O sistema foi mantido sob aeração ($1,0 \text{ Nm}^3/\text{h}$) e com pH de 3,5. A vazão e o fluxo de permeado foram $0,2 \text{ L/h}$ e 5 L/h.m^2 respectivamente, suficiente para manter um TRH de 48 h. A adaptação da *S. cerevisiae* aos compostos recalcitrantes e às condições inóspitas características do lixiviado de aterro ocorreu de forma gradual. O sistema proposto permitiu alta eficiência de remoção de cor, DQO e substâncias húmicas, considerando que o lixiviado utilizado possui cerca de 40% de DQO inerte para o lodo comum (bacteriano), No entanto, para ocorrência destas elevadas eficiências, é necessária uma etapa prévia de aclimação do lodo aos compostos do lixiviado.

PALAVRAS-CHAVE: Biorreator com membranas, Partida, Lixiviado, Leveduras.

INTRODUÇÃO

O lixiviado de aterro sanitário apresenta grande complexidade e alto potencial poluidor. A composição dos lixiviados de aterros sanitários depende principalmente das características dos resíduos depositados, das condições hidroclimatológicas da área e principalmente da idade do aterro. Em geral, apresenta alta carga orgânica, elevada concentração de amônia e pode conter diversos compostos tóxicos, como metais pesados e hidrocarbonetos aromáticos. A variação espacial e temporal deste efluente dificulta o processo de tratamento.

Lixiviados de aterros sanitários antigos apresentam alto teor de matéria orgânica recalcitrante, resultando em uma baixa relação DBO₅/DQO. Apesar do uso intenso dos tratamentos biológicos convencionais para os lixiviados de aterros, geralmente este tipo de tratamento, utilizado de forma isolada, é insuficiente para adequar este efluente aos padrões da legislação.

Os biorreatores com membranas (BRM), que consistem da associação de reatores biológicos com os processos de separação por membranas (micro ou ultrafiltração), têm sido considerados um dos métodos mais promissores para o tratamento de efluentes. São sistemas compactos e modulares que podem operar com elevada concentração de biomassa e idade do lodo, uma vez que a membrana proporciona a retenção total do lodo no biorreator, resultando em um sistema de degradação biológica mais eficaz. Desta forma, os BRM proporcionam um efluente final de melhor qualidade, comparado aos reatores biológicos convencionais (JUDD, 2006). Além disso, estes sistemas, comparados aos processos de tratamento físico-químicos, apresentam menores custos operacionais, uma vez que não há gastos com produtos químicos.

Segundo Ahmed e Lan (2012) os biorreatores com membranas são particularmente vantajosos no tratamento de lixiviados de aterros, uma vez que podem aumentar a biodegradabilidade de compostos refratários e micropoluentes, já que permite um elevado tempo de retenção de sólidos. No entanto, de acordo com um levantamento bibliográfico, os autores demonstraram que a remoção de DQO variou de 23 a 90%, devido principalmente à idade do lixiviado, e às condições operacionais empregadas.

A biomassa dos biorreatores normalmente consiste de microrganismos bacterianos, entretanto este grupo pode apresentar limitações para a degradação de compostos orgânicos refratários do lixiviado. Em contrapartida, os fungos e leveduras apresentam alta capacidade de quebra e assimilação de poluentes de difícil degradação. Vários gêneros de leveduras (*Candida*, *Rhodotorula*, *Yarrowia*, *Hansenula*, *Saccharomyces*) têm sido descritos como capazes de degradar compostos orgânicos complexos (HARMS *et al.*, 2011). A aplicação do uso deste grupo microbiano no tratamento de efluentes vem sendo testada nas últimas décadas, onde elevadas eficiências dos processos de tratamento foram observadas (DAN *et al.*, 2002).

Deste modo, a utilização de BRM inoculados com uma biomassa leveduriforme, pode ser eficaz no tratamento de lixiviados de aterros sanitários, com alta concentração de substâncias recalcitrantes. No entanto, é necessária uma etapa de aclimação da levedura ao lixiviado, para que este grupo microbiano seja capaz de degradar os compostos mais refratários e se adaptar a presença de substâncias xenobióticas.

O objetivo deste trabalho foi desenvolver um procedimento de partida de um BRM inoculado com biomassa da levedura *Saccharomyces cerevisiae* (levedura da cerveja) no tratamento de lixiviado de aterro sanitário.

MATERIAIS E MÉTODOS

AMOSTRAGEM

As amostras de lixiviado utilizadas para a realização dos estudos foram coletadas do reservatório de lixiviado de um Aterro Sanitário em operação desde 2007, localizado em um município vizinho de Belo Horizonte – MG. As amostras foram submetidas ao tratamento de remoção de amônia por *air stripping* realizado no laboratório de tratamento de resíduos sólidos do departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental - Escola de Engenharia/ UFMG. Atualmente, o aterro recebe cerca de 3.580 t por dia de resíduos sólidos urbanos (SLU/PBH, 2012), gerados por uma população de aproximadamente 2,3 milhões de habitantes (IBGE, 2010). As características do lixiviado podem ser observadas na tabela 1.

Tabela 1: Caracterização do lixiviado do Aterro Sanitário Macaúbas

Parâmetros	Valores médios	
	Lixiviado Bruto	Lixiviado pós-stripping de amônia
DQO (mg/L)	3605	4210
DBO ₅ (mg/L)	386	-
DBO ₅ /DQO	0,09	-
Cor (uH)	1804	2086
pH	8,51	7,78
Subst. húmicas (mg/L)	2078	-
Nitrogênio total (mg/L)	1810	-
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	1311	569
Cloretos (mg/L)	2463	-
Sólidos totais (g/L)	8,5	-
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	67	-

OPERAÇÃO DO BRM

O BRM utilizado é constituído de três tanques de acrílico, um tanque de armazenamento de alimentação, um tanque biológico aeróbio com módulo de membrana submersa e um tanque para armazenamento de permeado. O módulo submerso de microfiltração, composto por membranas de fibra oca de poli(éter-imida) com camada seletiva externa, possui área de 0,04 m² e tamanho máximo dos poros de 0,5 µm. Além das fibras permeantes, o módulo possui também fibras aeradoras, para minimização do fenômeno de incrustação. A permeabilidade hidráulica da membrana, medida com água microfiltrada foi 298 L/h.m².bar.

A adaptação da *S. cerevisiae* aos compostos recalcitrantes e às condições inóspitas características do lixiviado de aterro ocorreu de forma gradual. Inicialmente, a alimentação do sistema era o lixiviado diluído em água em uma concentração de 20% adicionado com 3g/L de caldo Sabouraud (10g/L de peptona especial e 20 g/L de dextrose). Posteriormente, a concentração do lixiviado foi aumentando gradativamente (40, 60, 80 e 100%) seguida pela redução da concentração de caldo Sabouraud (2,0, 1,0 e 0 g/L).

A concentração inicial da *S. cerevisiae* (fermento liofilizado) no BRM foi 10000 mg/L. O sistema foi mantido sob aeração (1,0 Nm³/h), com pH de 3,5 e temperatura entre 25 e 30 °C. A vazão e o fluxo de permeado foram 0,2 L/h e 5 L/h.m² respectivamente, suficiente para manter um TRH de 48 h, considerando um volume útil do tanque biológico de 9,60 L. Foi empregada retrolavagem, com uma vazão de 0,5 L/h, a cada 15 min com duração de 15s. A aeração do módulo foi mantida a uma vazão de 0,5 Nm³/h, correspondendo a uma taxa de aeração de 12,5 Nm³/h.m². As condições de operação do BRM foram sintetizadas na tabela 2.

Tabela 2: Condições de operação do BRM

Parâmetros	Valores
pH	3,5
Temperatura	25 a 30 °C
Vazão de permeado	0,2 L/h
Fluxo de permeado	5 L/h.m ²
TRH	48 h
Vazão de aeração do tanque biológico	1,0 Nm ³ /h
Vazão de aeração do módulo	0,5 Nm ³ /h
Vazão de retrolavagem	0,5 L/h (a cada 15min durante 15s)

Diariamente, foram realizadas a medição e o ajuste de pH do sistema com H_2SO_4 , bem como foram coletadas alíquotas do permeado e da alimentação para análise da concentração de DQO, cor e medição de turbidez. Semanalmente, também foram coletadas alíquotas do permeado e da alimentação para análise da concentração de substâncias húmicas. Três vezes por semana foi coletada alíquota do líquido reacional para análise de sólidos em suspensão voláteis (SSV). Para monitorar o desenvolvimento da biomassa da *S. Cerevisiae* e de outros grupos microbianos que se desenvolveram no reator biológico, a cada mudança da concentração de lixiviado, uma alíquota do líquido reacional também foi coletada para plaqueamento em ágar Sabouraud e contagem de UFC (unidades formadoras de colônia)/mL.

As análises de DQO e SSV foram realizadas em conformidade com as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2005) – métodos 5220 e 2540, respectivamente. Os parâmetros cor e turbidez foram analisados através dos equipamentos Espectrofotômetro Hach DR 2800 e Turbidímetro Hach 2100AN. A concentração de substâncias húmicas foi analisada por meio da metodologia de Lowry *et al.* (1951) modificada (FROLUND *et al.*, 1995). E a contagem de UFC/mL foi pelo método de plaqueamento com diluição seriada (TORTORA *et al.*, 2003).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

O período de adaptação da *S. cerevisiae* durou cerca de 160 dias. Neste processo, a mudança de concentração do lixiviado na alimentação do BRM ocorria aproximadamente a cada 20 dias.

A tabela 3 demonstra as concentrações médias afluentes e efluentes, bem como as eficiências médias de remoção de cor, DQO e substâncias húmicas em todas as concentrações de lixiviado.

Tabela 3: Características da alimentação e do permeado e eficiências de remoção

Alimentação									
Parâmetros	Concentração do lixiviado (%) *					2 g/L SAB	1 g/L SAB	Lix. puro	Média total
	20	40	60	80	100				
Cor (uH)	1235	1443	2100	4933	5425	3729	3300	2537	3088
DQO (mg/L) **	4312	4334	4185	6425	6296	3666	3792	3257	4534
SH (mg/L)	566	739	772	798	895	561	387	249	612
Permeado									
Parâmetros	Concentração do lixiviado (%) *					2 g/L SAB	1 g/L SAB	Lix. Puro	Média total
	20	40	60	80	100				
Cor (uH)	346	329	310	456	499	391	425	512	409
DQO (mg/L)	1159	923	1390	1715	1329	797	1169	842	1165
SH (mg/L)	371	292	99	136	170	193	88	35	173
Eficiências de remoção									
Parâmetros	Concentração do lixiviado (%) *					2 g/L SAB	1 g/L SAB	Lix. puro	Média total
	20	40	60	80	100				
Cor (%)	70	77	84	91	91	89	86	80	83
DQO (%)	72	78	64	74	79	76	68	74	73
SH (%)	37	60	85	86	78	62	82	84	72

Notas: * Na alimentação, até a adição do lixiviado sem diluição, foi adicionado 3 g/L de caldo Sabouraud (SAB).

Posteriormente, a concentração do SAB foi sendo reduzida.

** Na concentração de DQO da alimentação foi considerada a DQO do caldo Sabouraud.

A figura 1 apresenta a variação temporal das eficiências de remoção de cor, DQO e substâncias húmicas.

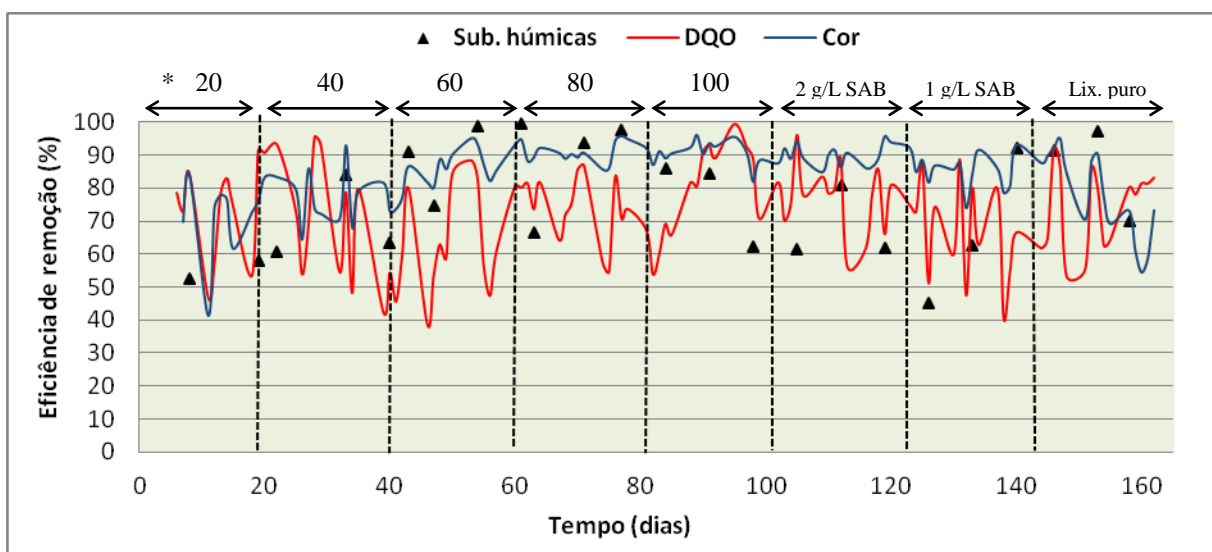


Figura 1: Eficiências de remoção de Cor, DQO e Substâncias húmicas ao longo do tempo

Nota: * Concentração do lixiviado (%) conforme nota da tabela 3.

O sistema proposto permitiu alta eficiência de remoção de cor, DQO e substâncias húmicas, considerando que o lixiviado utilizado possui cerca de 40% de DQO inerte para o lodo comum (bacteriano) (AMARAL *et al.*, 2007).

Nota-se que no início, quando a alimentação era a solução de lixiviado em baixas concentrações, houve maiores variações nas eficiências de remoção de cor, DQO e substâncias húmicas. Ao longo do tempo, apesar da entrada de alimentação com maiores concentrações de lixiviado, a eficiência de remoção de matéria orgânica foi mais estável. Isto demonstra a adaptação gradual do lodo aos compostos recalcitrantes e tóxicos do lixiviado.

Entretanto, ao reduzir a concentração de caldo Sabouraud, novamente houve menor estabilidade das eficiências de remoção de cor, DQO e substâncias húmicas. Entende-se que o caldo Sabouraud era uma fonte de nutriente e matéria orgânica facilmente biodegradável, o que auxiliava no crescimento microbiano e facilitava a adaptação da biomassa aos compostos do lixiviado. Apesar disto, como a retirada do SAB da alimentação foi realizada de forma gradual, a dependência do lodo aos nutrientes do caldo foi sendo minimizada, e ao utilizar o lixiviado puro como alimentação uma elevada eficiência de remoção de matéria orgânica foi observada. Ressalta-se também a importância da membrana de microfiltração para a completa retenção dos microrganismos no tanque biológico, e consequentemente, a produção de efluente final de melhor qualidade.

Além disto, as ocorrências de baixas eficiências de remoção (40 a 55%) foram atribuídas, no início, a alta variação de pH (2,5 a 9,5), sendo feito sempre o ajuste para 3,5, depois à variações na carga orgânica do lixiviado e à problemas operacionais, principalmente relacionados a desregulação da vazão de permeado e do sistema de aeração.

Observa-se também a interrelação entre os parâmetros cor, DQO e substâncias húmicas, uma vez que as eficiências de remoção seguem o mesmo padrão. As substâncias húmicas são as principais responsáveis pela cor do lixiviado, são compostos orgânicos recalcitrantes, resultante da degradação incompleta de parte da matéria orgânica depositada no aterro, representam também a maior parte da DQO. Isto justifica a correlação destes fatores, que foram utilizados para representar o teor orgânico do lixiviado.

A concentração de SSV variou bastante ao longo da adaptação da biomassa, com picos de concentração de 3000 a 14000 mg/L. Foram realizadas mudanças no padrão de retirada da alíquota de lodo ao longo do tempo para tentar minimizar esta variação, uma vez que suspeitava-se da baixa homogeneidade do líquido reacional. De toda forma, o plaqueamento e a contagem de UFC/mL possibilitaram uma avaliação do crescimento da biomassa.

Houve intensa contaminação por outros microrganismos, como leveduras e bactérias selvagens, visualizadas como outras colônias não filamentosas, e principalmente pelo grupo dos fungos filamentosos (figura 2). Acredita-se que estes microrganismos também contribuíram na remoção de matéria orgânica do lixiviado.

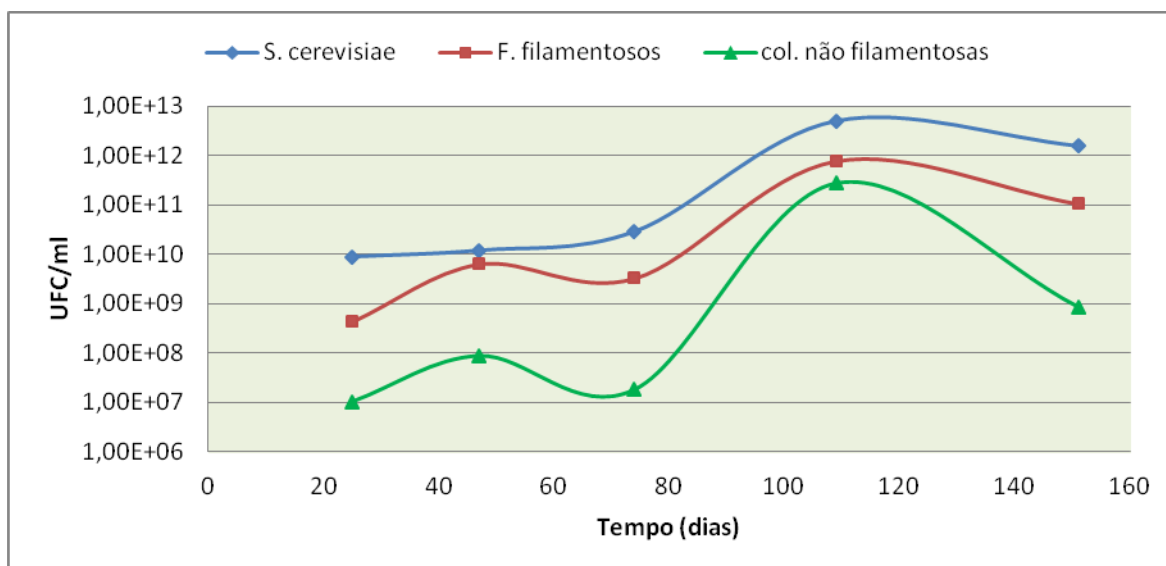


Figura 2: Evolução temporal do crescimento microbiano.

Resalta-se que a *S. cerevisiae* aumentou de 10^{10} UFC/mL a aproximadamente 10^{12} UFC/mL em cerca de 80 dias. No 25º dia a concentração de fungos filamentosos era 10^8 UFC/mL e no 109º dia aumentou para 10^{11} UFC/mL. Já o grupo das colônias não filamentosas, no 25º apresentava concentração de 10^7 UFC/mL e cerca de 80 dias depois, também já estava em torno de 10^{11} UFC/mL. No fim do período de adaptação, com a retirada do caldo Sabouraud, houve uma ligeira queda nas concentrações de *S. cerevisiae* e de fungos filamentosos e uma redução maior na concentração das outras colônias não filamentosas.

CONCLUSÕES

Os resultados sugerem que o sistema proposto, BRM inoculado com biomassa fúngica, pode alcançar elevadas eficiências de remoção de DQO, cor e substâncias húmicas no tratamento de lixiviados de aterros sanitários com alto conteúdo de compostos recalcitrantes. No entanto, é necessária uma etapa prévia de aclimação do lodo aos compostos do lixiviado.

AGRADECIMENTOS

À FAPEMIG (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais), ao CNPQ (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) e à FINEP (Financiadora de estudos e projetos – Ministério da Ciência e Tecnologia) pela concessão de recursos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMED, F. N.; LAN, C. Q. Treatment of landfill leachate using membrane bioreactors: a review. *Desalination*, v. 287, p. 41–54, 2012.
2. AMARAL, M. C. S.; FERREIRA, C.F. A.; LANGE, L.C.; AQUINO, S.F.; GONÇALVES, F.M. Avaliação da DQO solúvel inerte a processos aeróbio e anaeróbio presente em lixiviados de aterro sanitário. In: *24º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2007, Belo Horizonte, 2007.
3. APHA. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. 21 ed. Washington: American Public Health Association, 2005.

4. DAN, N. P.; VISVANATHAN, C.; POLPRASERT, C.; BEN AIM, R. High salinity wastewater treatment using yeast and bacterial membrane bioreactors. *Water Science and Technology*, v. 46, n. 9, p. 201-209, 2002.
5. FROLUND, B.; GRIEBE, T.; NIELSEN, P. H. Enzymatic activity in the activated-sludge floc matrix. *Applied Microbiology and Biotechnology*, v.43, n.4, p.755-61, 1995.
6. HARMS, H.; SCHLOSSER, D.; WICK, L. Y. Untapped potential: exploiting fungi in bioremediation of hazardous chemicals. *Nature Reviews – Microbiology*, v. 9, p. 177-192, 2011.
7. INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – IBGE. *Dados do Censo 2010*. Diário Oficial da União, 2010. Disponível em: <http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados/index.php?uf=31>. Acesso em: 23 de junho de 2012.
8. JUDD, S. *The MBR Book. Principles and applications of membrane bioreactors in water and wastewater treatment*. Elsevier, 2006.
9. LOWRY, O. H.; ROSEBROUGH, N. H.; FARR, A. L.; RANDALL, R. J. Protein measurements with the Folirn Phenol Reagent. *Journal of Biological Chemistry*, v. 193, p. 265-275, 1951.
10. SUPERINTENDÊNCIA DE LIMPEZA URBANA - Prefeitura de Belo Horizonte (SLU/PBH). Disponível em: <<portalpbh.pbh.gov.br>> Acesso em: abril de 2012.
11. TORTORA, G. J., FUNKE, B. R., CASE, C. L. *Microbiologia*. 6 ed. São Paulo: Artmed, 2003. 827p.