

II-500 - LODOS ATIVADOS VS MBBR NO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE CELULOSE KRAFT

Andressa Assunção⁽¹⁾

Estudante de Bacharelado em Química, na Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR.

Claudia Regina Xavier

Graduada em Licenciatura e Bacharelado em Química pela Universidade Federal do Paraná, Mestre em Química pela Universidade Federal do Paraná, Doutora em Ciências Ambientais pela Universidade de Concepción- Chile.

Suelen Cristina Vanzetto

Graduada em Engenharia Ambiental pela Universidade Estadual do Centro Oeste – UNICENTRO, Mestre em Ciência e Tecnologia Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR.

Endereço⁽¹⁾: Universidade Tecnológica Federal do Paraná – Rua Deputado Heitor Alencar Furtado, 4900 – Curitiba – Paraná – CEP 81280-340 – Brasil – Tel: +55 (41) 3279 4575. E-mail: andressa.a.0712@hotmail.com

RESUMO

Um dos maiores problemas presentes na produção de papel e celulose é a necessidade de grandes volumes de água em seus processos, o que gera em consequência, grandes volumes de efluente a ser tratado. O objetivo deste trabalho foi avaliar a viabilidade de tratamento de efluente de indústria de celulose Kraft por Lodos Ativados e comparar estes ao tratamento por reatores biológicos de leito móvel MBBR. Ambos tiveram funcionamento contínuo e alimentação com efluente industrial. Os sistemas foram operados a temperatura ambiente e os parâmetros como vazão e pH foram controlados diariamente. Os reatores foram operados em 4 estágios: 0,6; 1,2; 4,0; 9,0 kgDQO/m³.d. O Lodo Ativado apresentou variações típicas desses sistemas para as diferentes Cargas Orgânicas Volumétricas (COV) aplicadas, sendo mais eficiente nas cargas menores, até 4,0 kgDQO/m³.d, exceto para os compostos fenólicos totais (CFT), sendo melhor removido este parâmetro na COV de 9,0 kgDQO/m³.d. Comparando o LA com o MBBR, observa-se que o MBBR é mais estável que o LA, especialmente para a remoção de compostos específicos e cor, sendo sempre inferior em seu desempenho quando comparado ao reator de Lodos Ativados. Considerando a variedade do efluente Kraft, sugere-se o emprego do MBBR, pois embora este tenha um perfil de remoção inferior ao de LA, ele apresenta maior estabilidade, podendo inclusive ser operado em cargas ligeiramente superiores com pouca variação em seu rendimento. Também se sugere o uso de reatores MBBR em série, o que poderia melhorar ainda mais as características do efluente tratado a ser lançado nos corpos receptores.

PALAVRAS-CHAVE: Lodo Ativado, MBBR, efluente Kraft, tratamento biológico.

INTRODUÇÃO

As indústrias de celulose utilizam em seus processos produtivos altos consumos de água. Em média, são consumidos 60 m³ de água por tonelada de celulose produzida, gerando grandes volumes de efluentes líquidos (THOMPSON et al., 2001; NAVIA et al., 2006; DIEZ et al., 2007). As características destes efluentes são dependentes de diversos fatores, dentre eles, da matéria-prima utilizada, do processo produtivo e das tecnologias empregadas (POKHREL e VIRARAGHAVAN, 2004). Na Figura 1 é apresentado o fluxograma do processo de obtenção da celulose Kraft, nele destacam-se os principais pontos de geração de efluente.

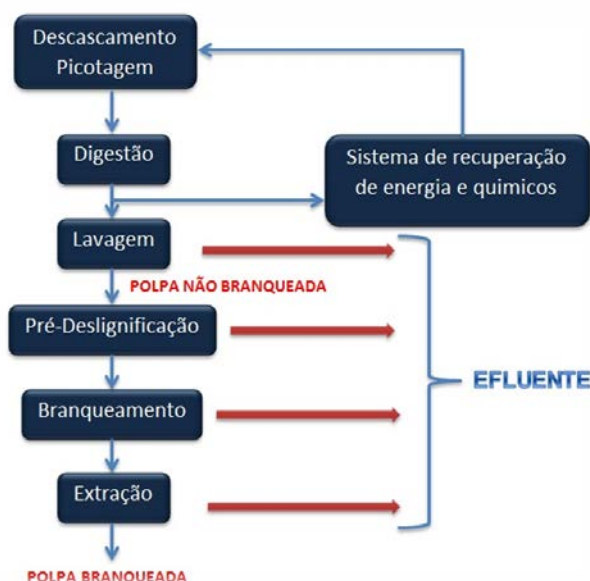


Figura 1. Fluxograma do processo industrial para obtenção da celulose Kraft. Adaptado de Simplicio, (2007).

Em geral, o efluente gerado apresenta altas concentrações de demanda química de oxigênio (DQO), demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅), sólidos suspensos (SS), cor e toxicidade. A DBO₅ se origina de compostos facilmente biodegradáveis, tais como carboidratos e ácidos orgânicos. A cor e a toxicidade resultam da presença de compostos lignínicos e seus derivados fenólicos (NAVIA et al., 2006; XAVIER, 2006; KREETACHAT et al., 2007).

O efluente de celulose, quando não tratado ou tratado de forma indevida, pode comprometer a qualidade da água dos corpos receptores, por conter substâncias tóxicas à comunidade aquática (SINGH e THAKUR, 2006; WONG et al., 2006).

Diversos tratamentos podem ser empregados a fim de se reduzirem as emissões de substâncias tóxicas presentes no efluente de celulose. Estes podem ser classificados em processos físicos, químicos e biológicos (SINGH e THAKUR, 2006). Sendo os mais empregados, no caso de efluente Kraft, os processos físico-químicos, biológicos e técnicas avançadas de tratamento. Na Tabela 1, são apresentado o desempenho de distintos tratamentos aplicados a efluentes de indústria de celulose e papel.

Tabela 1. Remoção de contaminantes por tratamentos de efluente de indústria de celulose e papel.¹

Método de Tratamento	Processos	Remoção de componentes (%)		
		Cor	DQO	DBO ₅
Biológico	Anaeróbico	-	50-77	94
Biológico	Anaeróbico-Aeróbico	-	83	-
Biológico	Consórcio de Bactérias	85	76-83	74-85
Biológico	Fungos	79	89	-
Físico-químico	Coagulação e Eletrocoagulação	84-98	67-90	-
Físico-químico	Coagulação-Floculação-Sedimentação	90	59-96	46-86
Físico-químico	Eletrocoagulação	53-99	55-99	70-87
Técnicas Avançadas	Separação por membranas	-	88	-
Técnicas Avançadas	Processos de Oxidação (Fenton e oxidação fotoquímica)	90	55-95	-
Técnicas Avançadas	Gaseificação supercrítica	-	87	-
Combinados	Físico-químico e técnicas avançadas	-	75	-
Combinados	Biológico e físico-químico	87-97	55-98	92-99
Combinados	Físico-químico e técnicas avançadas	96	77	-

Nota 1: Adaptado de Grötzner, (2014).

Os processos biológicos de tratamento de águas residuárias encontram-se atualmente bastante desenvolvidos, permitindo tratar uma larga variedade de efluentes industriais e domésticos. Entre eles, se encontra o sistema de Lodos Ativados, que consiste no desenvolvimento de um consórcio microbiológico na forma de flocos (lodos ativados) em um tanque de aeração, que é alimentado pelo efluente a tratar. Neste tanque, a aeração tem por finalidade proporcionar oxigênio aos microrganismos e evitar a deposição dos flocos bacterianos, mantendo o efluente distribuído homogeneamente. O oxigênio necessário ao crescimento biológico é introduzido através de um sistema de aeração mecânica, por ar comprimido, ou ainda pela introdução de oxigênio puro. O líquido é enviado continuamente a um decantador (decantador secundário), destinado a separar o efluente tratado do lodo. O lodo é recirculado ao tanque de aeração a fim de manter a concentração de microrganismos dentro de certa proporção em relação à carga orgânica afluente. O sobrenadante do decantador é o efluente tratado (WATER ENVIRONMENT FEDERATION, 2002).

O objetivo do trabalho foi avaliar a viabilidade de tratamento de efluente de indústria de celulose Kraft por Lodos Ativados e comparar este ao tratamento por reatores biológicos de leito móvel MBBR.

MATERIAIS E MÉTODOS

O efluente utilizado foi coletado antes da lagoa aerada facultativa da indústria e foi armazenado ao abrigo da luz a 4°C (APHA, 2005). Este foi caracterizado em relação aos seguintes parâmetros: DBO₅ e DQO (APHA, 2005), cor e compostos fenólicos totais (CFT) (FIELD e LETTINGA, 1987; SIERRA-ALVAREZ et al., 1990), compostos lignossulfônicos, aromáticos e lignínicos (ÇEÇEN et al., 2003). As análises de caracterização e o acompanhamento do desempenho dos reatores de Lodos Ativados (LA) e Reator Biológico de Leito Móvel (MBBR) foram feitos em duplicata, sendo realizada nova repetição caso o desvio fosse maior que 5 % entre as réplicas. A identificação dos microrganismos (aderidos ou suspensos) em lâmina foi efetuada utilizando-se microscópio óptico com lente objetiva de 10 e 40 x (JENKINS; RICHARD; DAIGGER, 2003).

Os parâmetros de operação e a frequência analítica foram baseados em Xavier et al. (2011). Os reatores possuíam um volume útil de 1,0 L, e o LA possuía um decantador secundário de 0,45 L, entretanto o MBBR dispensou o uso de decantador devido a sua característica de retenção de sólidos suspensos (SS). Estes tiveram funcionamento contínuo e a alimentação com efluente industrial foi feita por bomba peristáltica (Milan[®]) e a aeração promovida por borbulhamento proveniente de um aerador para baixas vazões (Aleas[®]), a distribuição de ar dentro dos reatores teve um auxílio de difusores porosos de polipropileno na base do reator. Os sistemas foram operados a temperatura ambiente e os parâmetros como vazão e pH foram controlados diariamente, sendo que o pH de entrada dos reatores foi mantido em $7,0 \pm 0,2$, utilizando-se solução de HCl e NaOH 0,01 mol/L e também foram adicionados NH₄Cl e K₂HPO₄ como fontes de nitrogênio e fósforo (DQO:N:P=100:5:1) (DIEZ et al., 2002). Os reatores foram inoculados com a própria biomassa da lagoa aerada facultativa da indústria para uma concentração de 5g SSV/L. Os reatores foram operados em 4 estágios: 0,6; 1,2; 4,0; 9,0 kgDQO/m³.d (XAVIER et al., 2009), sendo que o aumento da COV se dava quando era observada uma variação menor que 5% na remoção de DQO. No MBBR foi adicionado material de suporte AMB, dotado de uma área específica de 850 m²/m³. O percentual de ocupação do material suporte no reator foi de 30%, aproximadamente 100 unidades. Houve uma etapa de adaptação com COV de 0,2 kgDQO/m³.d para o crescimento da biomassa no material de suporte. O reator de LA foi operado por 112 dias e o de MBBR por 180 dias.

Na Figura 1 se apresenta um esquema do LA empregado e uma foto do mesmo.

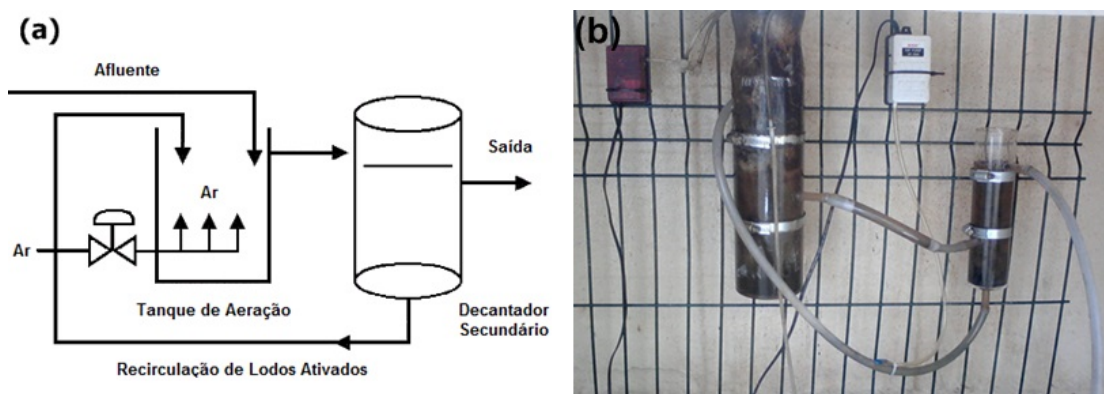


Figura 1. (a) Esquema do Lodo Ativado e (b) Foto do reator operado por 112 dias.

Assim também na Figura 2 é mostrado o esquema e a foto do MBBR utilizado.

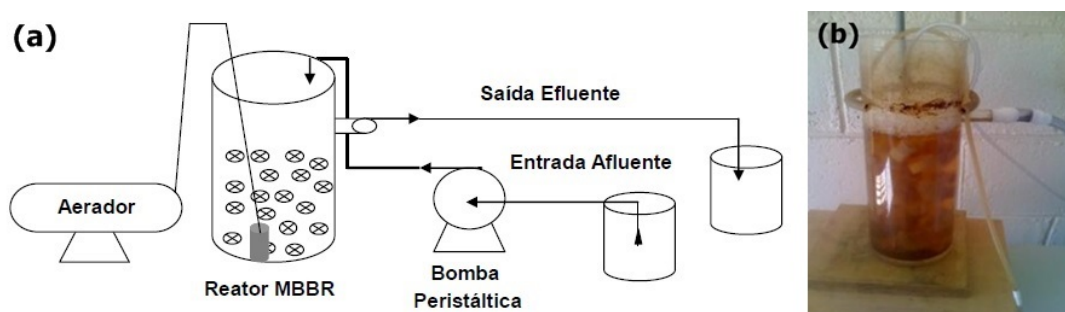


Figura 2. (a) Esquema e (b) Foto do reator MBBR empregado no tratamento do efluente Kraft.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

Parâmetros de Operação

Na Tabela 1 estão os resultados das análises físico-químicas empregadas na caracterização dos efluentes de celulose Kraft utilizados.

Tabela1. Caracterização do efluente de celulose Kraft

Parâmetros	Valores	
	LA*	MBBR*
pH	8,5 ± 1,6	8,7 ± 0,7
DQO (mg/L)	1200,9 ± 403,6	767,6 ± 375,4
DBO _{5,20} (mg/L)	240,5 ± 159,1	250,5 ± 110,4
Compostos Fenólicos Totais (UV ₂₁₅) (mg/L)	321,7 ± 204,3	409,0 ± 27,5
Compostos Lignínicos (UV ₂₈₀)	2,74 ± 0,54	3,53 ± 0,58
Compostos Lignossulfônicos (UV ₃₄₆)	2,35 ± 0,37	2,48 ± 0,83
Cor (VIS ₄₄₀)	0,84 ± 0,21	0,57 ± 0,23

* n= 5 amostras

A relação de DBO₅/DQO a partir das concentrações destes parâmetros no efluente não tratado foi de $0,23 \pm 0,08$ para o LA e $0,32 \pm 0,06$ para o MBBR, indicando que estes efluentes podem ser tratados biologicamente (ARAUJO, TAVARES e COSSICH., 2011). Em geral, os efluentes continham cor, CFT e compostos específicos em concentrações similares a outros efluentes Kraft não tratados analisados por outros autores (CHAMORRO et al., 2010).

Na Tabela 2, encontram-se alguns dos parâmetros de controle dos reatores.

Tabela 2. Parâmetros de controle dos reatores.

LA	Parâmetro de controle	Dias de operação				
		0-49	50-65	66-98	98-112	
	COV teórica (kgDQO/m³.d)	0,6	1,2	4,0	9,0	
	COV prática (kgDQO/m³.d)	0,5 ± 0,1	1,2 ± 0,2	4,0 ± 0,4	7,5 ± 0,9	
	TDH (h)	28,7 ± 14,6	18,1 ± 4,8	6,5 ± 1,5	3,9 ± 0,2	
MBBR		0 – 25	26 – 45	46 – 92	93 – 148	149 - 180
	COV teórica (kgDQO/m³.d)	0,2	0,4	1,2	4,0	9,0
	COV prática (kgDQO/m³.d)	0,3 ± 0,1	0,4 ± 0,04	1,2 ± 0,1	4,0 ± 0,1	9,0 ± 0,1
	TDH (h)	35,0 ± 13,9	45,4 ± 10,8	19,7 ± 1,2	6,5 ± 0,7	2,4 ± 0,2

Assim foi possível segundo as variações observadas, nas cargas práticas aplicadas, fazer a comparação do desempenho do LA e do MBBR no tratamento biológico de efluente de indústria Kraft.

Remoção da Matéria Orgânica

Na Figura 3, mostram-se as remoções de DQO e DBO₅, nos distintos reatores e COV aplicadas.

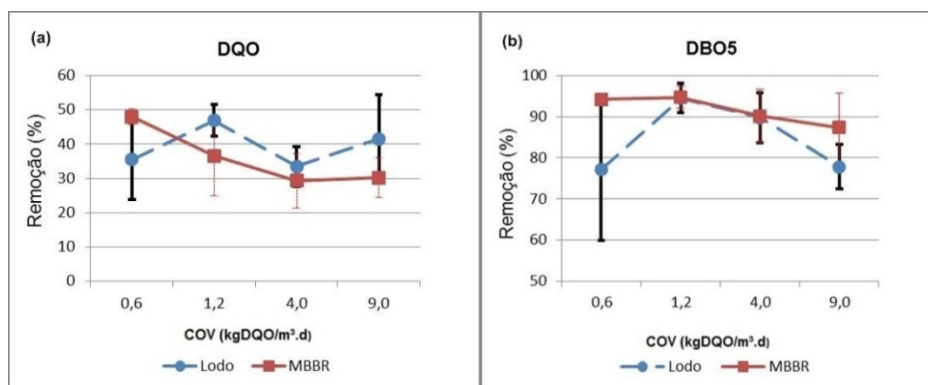


Figura 3. Comparação da remoção de (a) DQO e (b) DBO₅ em Lodos Ativos e em MBBR.

Observa-se que a remoção de DQO para o MBBR foi mais eficiente que o LA somente na COV de 0,6 kgDQO/m³.dia. Porém nas outras cargas, o reator de LA superou o MBBR. Já para a DBO₅, também se observa uma diferença na menor COV aplicada, porém as demais foram similares.

Remoção Cor e CFT

Na Figura 4, tem-se a remoção de cor e CFT nos distintos reatores e COV aplicadas.

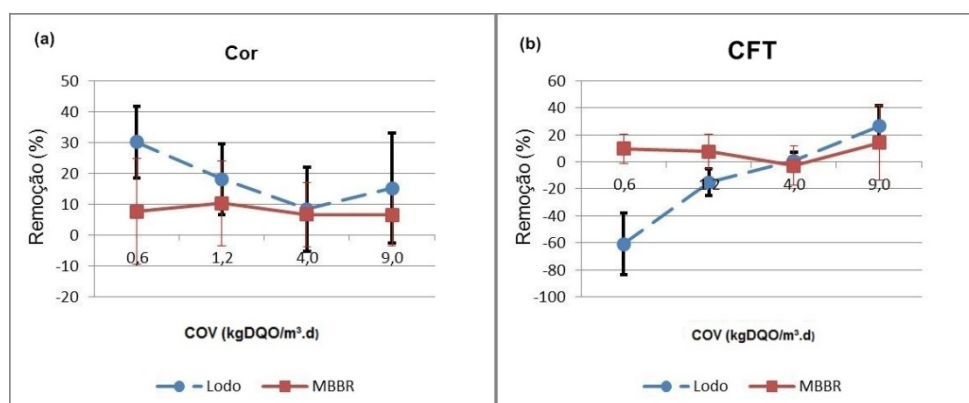


Figura 4. Comparação da remoção de (a) cor e (b) CFT em LA e MBBR.

Para a cor, observa-se para o LA uma maior remoção, 30% na COV 0,6 kgDQO/m³.d, enquanto o MBBR apenas 9%. Para o CFT, obteve-se uma diferença na COV mais baixa. Observa-se no gráfico, em relação ao LA, que existe um aumento na remoção deste parâmetro com o aumento da COV. Como o sistema de LA é altamente aerado, pode ocorrer à polimerização e oxidação dos derivados da lignina, formando os CFT. Nas COV mais alta, como 9,0 kgDQO/m³.d, os TDH são muito baixos (\approx 4h) e pode estar polimerizando menos, formando menos CFT (LARREA et al.,1989), gerando como efeito um aumento da remoção. Nas demais COV, os resultados foram similares.

Microfauna

A análise da microfauna na maior COV aplicada no LA e MBBR foi realizada, sendo os resultados apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Análise da microfauna em LA e MBBR.

Microrganismos	Indício	LA	MBBR
Ciliados livres (<i>Paramecium sp</i>)	boa condição de depuração	+	+
Ciliados fixos (<i>Vorticela sp</i>)	bom teor de oxigênio dissolvido	+	+
Rotíferos (<i>Philodina roséola</i>)	alta idade do lodo	-	+
Nematóides (<i>Meloidogyne sp</i>)	alta idade do lodo	-	+

Nota!: (+) Presença (-) Ausência

O LA apresentou boa condição de depuração e de aeração, mesmo para as cargas mais altas, com ausência de organismos indicadores de alta idade de lodo. Por outro lado, o lodo do MBBR ficou mais tempo retido no reator, o que permitiu observar a presença de rotíferos e nematoides, típico de alta idade de lodo (CETESB, 1992).

CONCLUSÃO

Observa-se que o MBBR é mais estável que o LA, especialmente para a remoção de cor, sendo normalmente inferior em seu desempenho quando comparado ao Lodos Ativos. O LA apresentou melhor desempenho para todos os parâmetros analisados e a biomassa suspensa exclusiva dos LA mostrou-se sensível a baixas cargas, como aquela de adaptação do reator (0,6 kgDQO/m³.d).

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a CNPq, Fundação Araucária, UTFPR, a indústria por ceder o efluente e os demais colaboradores.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION in Standard Methods for the Examination Of Water And Wastewater, Washington: American Public Health Association, 19° ed., 2005.
2. ARAUJO, P. L. A.; TAVARES, G. R. C.; COSSICH, S. E. Remoção de DQO e cor de efluente da indústria de celulose e papel. 26° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. ABES. Porto Alegre/RS – Brasil, 2011
3. ÇEÇEN, F.. The use of UV-VIS measurements in the determination of biological treatability of pulp bleaching effluents. In Conference Proceedings – 7th International Water Association Symposium on Forest Industry Wastewaters, Seattle- Washington, USA, 2003.
4. CETESB. Microbiologia de Lodos Ativados. Séries Manuais, 1992.
5. CHAMORRO S.; POZO.; JARPA M.; HERNÁNDEZ V.; BECERRA J.; VIDAL, G.. Monitoring endocrine activity in kraft mill effluents treated by an Aerobic moving bed bioreactor system. Wat. Sci. Technol, v. 62: p. 157 – 161, 2010.
6. DIEZ, M. C.; CASTILLO, G.; AGUILAR, L.; VIDAL, G.; MORA, M. L.. Operational factors and nutrient effects on activated sludge treatment of *Pinus radiata* Kraft mill wastewater. Bioresource Technology, v. 83, p. 131 – 138, 2002.
7. DIEZ, M. C.; RUBILAR, O.; CEA, M.; NAVIA, R.; DE MARTINO, A.; CAPASSO, R. Recovery and characterization of the humate-like salified polymeric organic fraction (lignimerin) from Kraft cellulose mill wastewater. Chemosphere, v. 68 (9), p. 1798 – 1805, 2007.
8. FIELD, J. A.; LETTINGA, G.. The methanogenic toxicity and anaerobic biodegradability of a hydrolysable tannin. Water Research, Issue 21, p. 367 – 374, 1987.
9. JENKINS, D.; RICHARD, M. G.; DAIGGER, G. T. Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming, and other solids separation problems. 3ª ed. Lewis Publishers, 2003.
10. GRÖTZNER, M. B.. Tratamentos de efluente de processo de polpa quimiotermomecânica CTMP. Dissertação de Mestrado, em Ciência e Tecnologia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, 2014.
11. KREETACHAT, T.; DAMRONGSRI, M.; PUNSUWON, V.; VAITHANOMSAT, P.; CHIEMCHASRI, C.; CHOMSURIN, C. Effects of ozonation process on lignin-derived compounds in pulp and paper mill effluents. Journal of Hazardous Materials, n. 142, p. 250 – 257, 2007.
12. LARREA, L.; FORSTER, C. F.; MELÉ, D.. Changes in lignin during diffused air activated sludge treatment of kraft effluents. Water Research, v. 23, n. 9, p. 1073 – 1080, 1989.
13. NAVIA, R.; INOSTROZA, X.; DIEZ, M. C.; LORBER, K. E.. Irrigation model of bleached Kraft mill wastewater through volcanic soil as a pollutants attenuation process. Chemosphere, v. 63, p. 1242 – 1250, 2006.
14. POKHREL, D.; VIRARAGHAVAN, T..Treatment of pulp and paper Mill wastewater – a review. Science of the Total Environment, v. 333, p. 37 – 58, 2004.
15. SIMPLÍCIO A.; AZEVEDO J. C. R.; XAVIER C.. Tratabilidade aeróbica de produtos de degradação de lignina de efluentes de celulose kraft através da respirometria. In: ABTCP-Zellcheming - 40° Congresso e exposição internacional de celulose e papel, São Paulo-SP, 2007.
16. SIERRA-ALVAREZ, R.; HARBRECHT, J.; KORTEKAAS, S.; LETTINGA, G.. The continuous anaerobic treatment of pulping wastewater. Journal of Fermentation and Bioengineering, v. 70, Issue 2, p. 119 – 127, 1990.
17. SINGH, P.; THAKUR, I. S.. Colour removal of anaerobically treated pulp and paper mill effluent by microorganisms in two steps bioreactor. Bioresource Technology, v. 97, p. 218 – 223, 2006.
18. THOMPSON, G.; SWAIN, J.; KAY, M.; FORSTER, C. F.. The treatment of pulp and paper mill effluent: a review. Biosource Technology, v. 77, p. 275 – 286, 2001.
19. WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Activated Sludge (Manual of Practice: Operations and Maintenance, No. Om-9) (Wef Manual of Practice; No Om-9) Paperback, 2002.
20. WONG, S. S.; TENG, T. T.; AHMAD, A. L.; ZUHAIRI, A.; NAJAFPOUR, G.. Treatment of pulp and paper mill wastewater by polyacrylamide (PAM) in polymer induced flocculation. Journal of Hazardous Materials, B 135, p. 378 – 388, 2006.

21. XAVIER, C. R.; MOSQUERA-CORRAL, A.; BECERRA, J.; HERNÁNDEZ, V.; VIDAL, G.. Activated sludge versus aerated lagoon treatment of kraft mill effluents containing β -sitosterol and stigmasterol. *Journal of Environmental Science and Health Part A* 44, p. 327 – 335, 2009.
22. XAVIER, C. R.; OÑATE, E.; MONDACA, A. M.; CAMPOS, L. J.; VIDAL, G.. Genotoxic effects of kraft pulp mill effluents treated by biological aerobic systems. *Interciencia*, v. 36, Issue 6, p. 412 – 416, 2011.
23. XAVIER, C. R.. Influencia de la tecnologia de tratamiento en la eliminación de fitoesteroles contenidos en efluentes de celulose kraft y en la toxicidad de estos compuestos en organismos acuáticos. Tese de Doutorado, em Ciências Ambientais, Universidad de Concepción - Chile, 2006.