



II-393 - AVALIAÇÃO DE TRÊS SISTEMAS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA MADEIREIRA

Maurício Costa Cabral da Silva⁽¹⁾

Engenheiro Civil pela Universidade Anhembí Morumbi. São Paulo/SP. Assessor Técnico do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água-CIRRA

Luana Di Beo Rodrigues⁽²⁾

Engenheira de Produção pela Faculdade de Engenharia Industrial - FEI de São Bernardo do Campo. Assessora Técnica do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água-CIRRA.

José Carlos Mierzwa

Professor Pesquisador do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária Universidade de São Paulo - EPUSP. Coordenador de Projetos do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água - CIRRA.

Ivanildo Hespagnol

Professor Titular do Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo - EPUSP. Diretor do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água - CIRRA

Talita Bernardino Li

Graduanda do curso de Engenharia Ambiental pela Faculdade SENAC – Bolsista de Iniciação Científica do Centro Internacional de Referência em Reúso de Água.

Endereço⁽¹⁾: Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, 120 -. Cidade Universitária – São Paulo/SP – CEP 05508-020. Telefone: (011) 30393263-e-mail: rusodeagua@hotmail.com

Endereço⁽²⁾: Av. Prof. Lúcio Martins Rodrigues, 120 -. Cidade Universitária – São Paulo/SP – CEP 05508-020. Telefone: (011) 30393199-e-mail: beodir@yahoo.com.br

RESUMO

Nas últimas décadas os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais evidentes, sendo a indústria um dos precursores desse cenário. A contaminação dos recursos hídricos, promovida por esse setor, tem sido um dos grandes problemas da sociedade moderna, que entre outros fatores, coloca em risco a disponibilidade de água para consumo humano. Dentro desse contexto, foi desenvolvido um estudo com o objetivo de identificar o sistema de tratamento mais adequado, ao efluente proveniente do processo de prensagem da madeira, para produção de painéis do tipo “Medium-density Fiberboard”, comercialmente conhecido por MDF. O estudo foi desenvolvido em duas fases distintas. A primeira contemplou a realização de ensaios de bancada, para a determinação dos parâmetros a serem utilizados na operação das unidades piloto de coagulação/floculação. Os ensaios piloto, referentes à segunda fase do estudo, foram realizados a partir de sistemas de lodos ativados com dois tipos de pré-tratamento: processo físico-químico e Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente – RAFA. Outro arranjo de tratamento avaliado foi o de Lodos Ativados com membrana submersa, Membrane Bioreactor – MBR, tendo como pré-tratamento o reator RAFA. Analisando os resultados da qualidade final do efluente de cada sequência de tratamento, verificou-se que, de modo geral, todas as opções apresentaram bons resultados, com poucas variações.

PALAVRAS-CHAVE: tratamento de efluentes, indústria madeireira, lodos ativados, MBR, UASB.

INTRODUÇÃO

Atualmente a indústria nacional está submetida a dois instrumentos de pressão. De um lado, as imposições do comércio internacional pela melhoria da competitividade e, do outro, as questões ambientais e as recentes condicionantes legais de gestão de recursos hídricos (FIRJAN, 2006). Exposto a esse cenário o segmento industrial tem intensificado esforços para minimizar os impactos ambientais inerentes às suas atividades.

O estudo em questão foi direcionado para atender à solicitação de uma indústria madeireira em reduzir o aporte de contaminantes no Meio Ambiente, pelo efluente gerado no processo de prensagem da madeira (pinus e eucalipto) para a produção de MDF. Anteriormente a esse estudo, a indústria já tratava o efluente por processo físico-químico seguido de lodos ativados. Como o pinus foi substituído pelo eucalipto houve a necessidade de reavaliar o processo de tratamento.



Para o desenvolvimento do estudo em questão, além da caracterização do efluente bruto, segundo padrões estabelecidos no Standard Methods for Wastewater, foram realizados testes de bancada e ensaios de tratabilidade em unidades piloto contemplando processos físico-químicos, biológicos (RAFA e Lodos Ativados) e de separação por membranas - MBR.

O processo de tratamento físico-químico consiste na remoção de partículas através da utilização de coagulantes como Cloreto Férrico e Sulfato de Alumínio, os quais promovem a desestabilização das cargas das partículas, possibilitando a formação de flocos e, conseqüentemente, a separação de fases.

O RAFA é um processo de tratamento biológico, onde no interior do reator forma-se uma manta de lodo fluidizada, composta por bactérias anaeróbias, responsáveis pela decomposição da carga orgânica presente no efluente.

No processo de lodos ativados a remoção de matéria orgânica se dá através de bactérias aeróbias. Nesse sistema há formação de flocos, que são separados da fase líquida em um sedimentador secundário. Parte do lodo sedimentado nessa unidade retorna ao reator biológico para manter a concentração de microorganismos entre 3 a 6 g/l.

A tecnologia de MBR possibilita a separação de fases dos flocos formados no reator de lodos ativados eliminando a necessidade do sedimentador secundário, além de possibilitar a operação do sistema com uma concentração de microorganismos de até 12 g/l.

MATERIAIS E MÉTODOS

O efluente que foi foco do estudo é proveniente do processo de prensagem da madeira para a produção de MDF. Como a indústria já contava com uma estação de tratamento físico-químico foi solicitado que esse processo fizesse parte do estudo, como pré-tratamento do efluente gerado pela prensagem da nova matéria-prima.

Para a realização dos ensaios de tratabilidade foram feitos testes com os seguintes arranjos de processos de tratamento: Físico-Químico (FQ) seguido de Lodos Ativados Convencional (LA); Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (UASB) seguido de LA e; UASB seguido de Reator de Lodos Ativados com Membranas submersas (MBR), conforme apresentam as figuras 1, 2 e 3.

Figura 1: Esquema de arranjo de tratamento: Físico-Químico seguido de Lodos Ativados

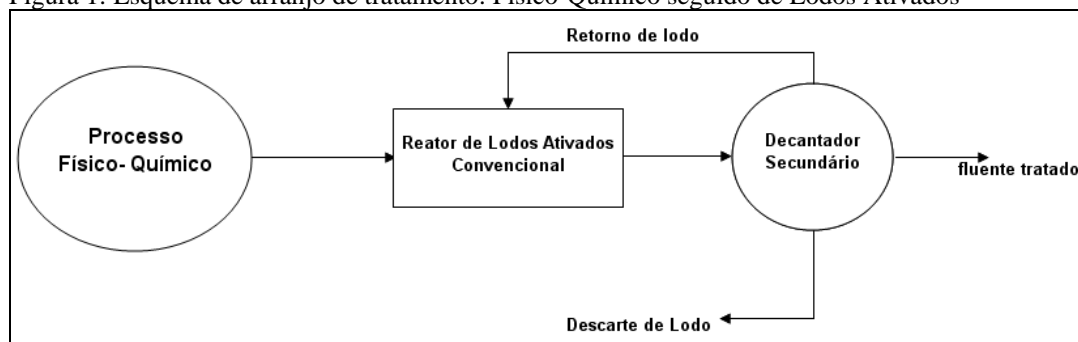




Figura 2: Esquema de arranjo de tratamento: UASB seguido de Lodos Ativos

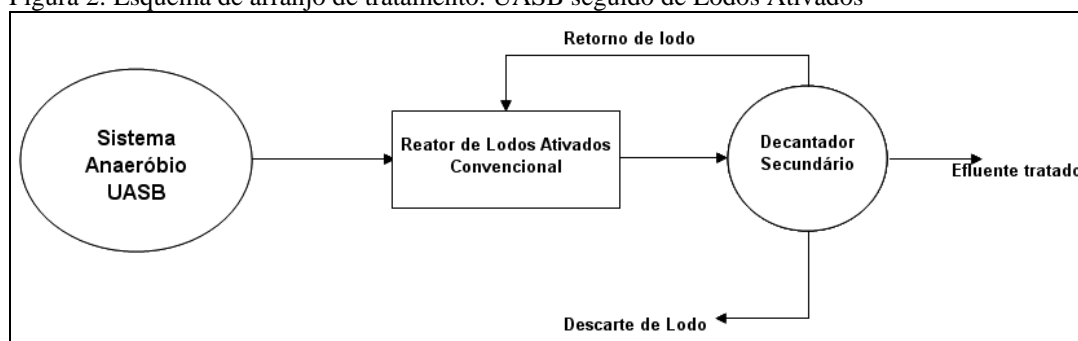
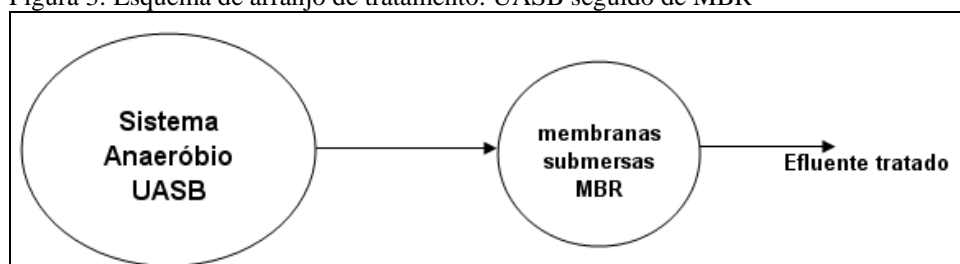


Figura 3: Esquema de arranjo de tratamento: UASB seguido de MBR



A primeira etapa do estudo contemplou a realização de ensaios de bancada, para a determinação dos parâmetros a serem utilizados na operação das unidades piloto. Os ensaios piloto, referentes à segunda fase do estudo, foram realizados a partir de três sistemas de tratamento de lodos ativados com configurações distintas conforme apresentado na figura 1.

Nos ensaios de bancada foram testados o Cloreto Férrico (FeCl_3) e o Sulfato de Alumínio (Al_2SO_4)₃ como coagulantes, Hidróxido de Sódio (NaOH) e Óxido de Cálcio (CaO) como alcalinizantes e um polímero aniônico como auxiliar de coagulação. A avaliação da eficiência do processo de clarificação foi feita pela análise de cor aparente, pH, DQO e condutividade elétrica, segundo padronizado pela APHA-AWWA & WPCF(1999). Além disso, nesses ensaios foram determinados os parâmetros de projeto para a operação da unidade piloto do sistema físico-químico, conforme apresentado no quadro 1.

Quadro 1: Parâmetros de Projeto da operação da unidade piloto

Físico Químico	Coagulação/ Floculação	Rotações	Gradiente de mistura rápida	Na linha do sistema	
			Gradiente de mistura lenta	30	s ⁻¹
		Tempo	Tempo de mistura rápida	2	s
			Tempo de mistura lenta	15	min.
		Dosagens	FeCl_3	1660	mg/L
			NaOH	1700	mg/L
			Polímero	1	mg/L
	Decantação	Taxa de Aplicação	$\text{FeCl}_3 + \text{NaOH}$	0,24	m ³ /m ² /h
			$\text{FeCl}_3 + \text{CaO}$	0,33	m ³ /m ² /h
			$\text{Al}_3(\text{SO}_4)_3 + \text{NaOH}$	0,35	m ³ /m ² /h
			$\text{Al}_3(\text{SO}_4)_3 + \text{CaO}$	0,44	m ³ /m ² /h
		Volume de Lodo - V _L		670	L/m ³

A unidade piloto de clarificação utilizada para a redução de carga orgânica através da remoção de sólidos do efluente era composta por:

- Floculador, subdividido em três câmaras, com agitadores dotados de inversor de frequência e gradientes de velocidades decrescentes.
- Decantador de alta taxa, com perfis de tubos de PVC inclinados a 60°.



Após o sistema de tratamento físico-químico, o efluente foi submetido ao tratamento de lodos ativados com aeração prolongada.

O reator piloto de Lodos Ativados foi dimensionado, seguindo os critérios de cálculo disponíveis na literatura (METCALF & EDDY, 1999) e dados de projeto, conforme apresentados no quadro 2.

Quadro 2: Parâmetros de Projeto para as configurações de tratamento testadas

Lodos Ativados	Reator	Com Efluente do Físico Químico	SSVTA	1200	mg/L
			SSVRL	14500	mg/L
			A/M	0,17	
			Idade do Lodo	20 - 30	dias
			T. Detenção	37,5	h
			Descarte de Lodo	6,67	L/m³
		Com Efluente do UASB	SSVTA	1640	mg/L
			SSVDL	36000	mg/L
			A/M	0,15	
			Idade do Lodo	25 - 30	dias
			T. Detenção	73,7	h
			Descarte de Lodo	5,32	L/m³
		Oxigênio Dissolvido		2 a 6	mg/L
		Dosagens	Ureia	180	mg/L
			Fosfato	39	mg/L
	Sedimentador	Efluente do Físico Químico	Descarte de Lodo	6,67	L/m³
			Tx-Aplicação	0,34	mg/L
		Efluente do UASB	Descarte de Lodo	0	L/m³
			Tx-Aplicação	0,34	mg/L

O reator anaeróbico, que operou por dois meses após maturação, foi projetado com base nos parâmetros estabelecidos em Campos e Pereira (1999), funcionando como pré-tratamento do sistema de lodos ativados, com o intuito de substituir o sistema físico-químico utilizado anteriormente. Os cálculos para dimensionamento do reator anaeróbico basearam-se, dentre outros parâmetros, na velocidade ascensional, na vazão de tratamento e no tempo de detenção hidráulico, conforme apresentado no quadro 3. Assim, o reator resultou em um diâmetro de 30 cm e altura total de 3,5 m

Quadro 3: Parâmetros de Projeto para o reator RAFA

RAFA	Reator	Tempo de Detenção		6	h
		Velocidade Ascensional		0,5	m/h
		Dosagens	Ureia	90	mg/L
			Fosfato	28	mg/L
			CaCO ₃	1500	mg/L

Na primeira etapa de desenvolvimento do estudo piloto, a unidade de lodos ativados operou com o efluente proveniente do processo físico-químico e, na segunda etapa, com o efluente do reator anaeróbico UASB.

Após operação do sistema de lodos ativados por aproximadamente 90 dias, tendo como pré-tratamentos os processos descritos acima, foi iniciado um terceiro ensaio utilizando-se uma unidade piloto de Biomembrana e, como pré-tratamento o processo anaeróbico UASB.

O sistema foi operado acondicionando-se um cassete de Membranas de Ultrafiltração, no reator de lodos ativados já existente. As medidas do cassete, em centímetros, são apresentadas na figura 4.

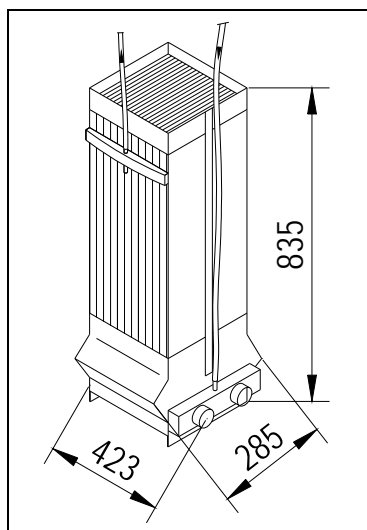


Figura 4 – Cassete de membrana de ultrafiltração

As características das membranas utilizadas no estudo estão apresentadas na a seguir:

- Modelo: FM 611
- Área total de membrana: 6,2 m²
- Peso Molecular de Corte: 150 kDa
- Material da Membrana: Polipropileno – PP

Para tratamento de efluentes por meio do processo de membranas submersas – MBR, o monitoramento para o controle da operação torna-se bem mais simplificado do que para o sistema de lodos ativados convencional.

Os dois únicos parâmetros necessários para controlar o processo são os sólidos em suspensão e o oxigênio dissolvido, além de um parâmetro, pré-estabelecido, para verificação da qualidade final. Foram monitorados sólidos suspensos totais e voláteis.

Para o sistema de MBR foi utilizado um cassete contendo 33 membranas de placas planas, com uma área total de 6,25 m². Foi monitorada a DQO para a verificação da eficiência do sistema de MBR.

RESULTADOS

Os testes contemplados no estudo avaliaram o desempenho de processos de tratamento físico-químico, biológico e de separação por membranas.

Sistema Físico Químico

Após tratamento físico-químico os valores médios da DQO do efluente passaram de 3400 mg/L para 764 mg/L, o que equivale 75% de remoção, sendo perfeitamente possível sua utilização como pré-tratamento ao sistema biológico de Lodos Ativados.

A estação de tratamento físico-químico existente na indústria operava com concentração de coagulante de 2700mg/l e após o estudo foi verificada a possibilidade de operar o sistema com 1660 mg/l.

Sistema Anaeróbio de Tratamento - UASB

Após maturação o sistema anaeróbio proporcionou uma remoção média de 56% de DQO.

Durante os ensaios ocorreram variações na qualidade do efluente do reator anaeróbio. Tal comportamento pode estar associado à inconstância na velocidade ascensional no interior do reator e também no valor de pH.

A elevação do pH pode estar relacionado à substituição do CaCO₃ por Na₂CO₃. Esses produtos foram utilizados com o intuito de impedir a redução do pH, o que é uma tendência no tratamento de efluentes por sistemas anaeróbios.



A solubilidade do Na_2CO_3 é maior do que a do CaCO_3 , esse fato pode fazer com que a reação desejada para a manutenção do pH seja mais efetiva com o Na_2CO_3 , tornando o efluente mais alcalino e, conseqüentemente, inibindo o desenvolvimento de bactérias metanogênicas no reator.

A maior eficiência foi atingida quando as condições de pH, entre 6,5 e 7 foram mantidas.

Sistema de Lodos Ativados

Com a substituição do tratamento preliminar físico-químico pelo anaeróbio houve um aumento na carga orgânica afluente ao sistema de Lodos Ativados. Entretanto a porcentagens de remoção média dos dois sistemas permaneceu em 96% de DQO. Portanto, as cargas finais de poluentes, utilizando a seqüência de tratamento Físico-Químico/Lodos Ativados e UASB/Lodos Ativados mantiveram-se próximas, apesar da eficiência do sistema anaeróbio ser inferior à do processo físico-químico.

Reator de Membranas Submersas - MBR

Durante o período de operação não houve redução no fluxo de permeado. O efluente apresentou boa qualidade, alcançando remoção de 98% de DQO, superior à remoção obtida com o sistema de lodos ativados convencional. Além disso, a ausência de sólidos suspensos proporcionou uma homogeneidade na qualidade final do permeado durante esse período, a uma taxa de produção de 5 L/h/m².

A operação desse sistema é mais simples quando comparada aos outros dois sistemas avaliados, pois a membrana supre a necessidade de decantador secundário e, conseqüentemente, requer uma área menor para instalação da unidade.

Outro aspecto relevante é a possibilidade de se operar o sistema biológico com uma porcentagem de aproximadamente, 1% de sólidos ou mais, sem que isso influencie na qualidade do efluente.

Através das análises realizadas durante os testes com as unidades piloto de tratamento pode ser observado o desempenho de cada um dos arranjos estudados, os quais estão resumidos na tabela 1.

Tabela 1: Remoções da DQO em função dos tipos de arranjos de tratamentos analisados.

Arranjo de tratamento	Remoção média (%)
Físico-Químico / Lodos Ativados	96
UASB / Lodos Ativados	96
UASB / MBR	98

Nota-se que o sistema composto por tratamento anaeróbio seguido de MBR obteve uma remoção e uma constância maior do que os demais arranjos empregados no estudo.

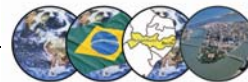
As associações FQ/LA e UASB/LA obtiveram remoções finais de DQO muito parecidas, mesmo ocorrendo no sistema anaeróbio uma a eficiência de remoção inferior ao do sistema físico-químico, 56% e 83%, respectivamente.

CONCLUSÕES

A eficiência do tratamento por lodos ativados não sofreu grandes variações, tanto quando alimentado pelo sistema físico-químico ou pelo reator UASB.

Através dos testes com as plantas piloto foi possível identificar opções tecnicamente viáveis para redução da carga poluidora do efluente proveniente do processo de prensagem da madeira. A escolha, do arranjo mais adequado, poderá ser feita em função dos custos de implantação e de operação das seqüências de tratamento avaliadas.

Analisando os resultados de qualidade do efluente final de cada seqüência de tratamento, verificou-se que, de modo geral, todas as opções apresentaram bons resultados, com poucas variações. Em termos de custos de tratamento e de disposição de lodo, o sistema composto por UASB e lodos ativados, com ou sem membrana, é



mais atrativo, uma vez que, utilizando como pré-tratamento o processo físico-químico são necessárias dosagens de 1660 mg/L de cloreto férrico e 1700 mg/L de hidróxido de sódio, ou outro alcalinizante. Esse fato torna os custos com produtos químicos e com a disposição final de lodo mais onerosos.

Em casos onde há possibilidade de implantação da prática do Reúso de Água, recomenda-se a adoção do sistema de MBR devido à elevada qualidade do efluente final comparada ao sistema de Lodos Ativados Convencional.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA-AWWA & WPCF. STANDARD METHODS FOR THE EXAMINATION OF WASTEWATER, Washington DC, American Public Health Association. 1999.
2. CAMPOS, J.R.& PEREIRA J. A. *Reator Anaeróbio de Leito Expandido de Leito Fluidificado*. Capítulo 8 in Tratamento de esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo. PROSAB, , Rio de Janeiro, 1999.
3. METCALF & EDDY, *Waste Resources and Environmental Engineering*, Mc Grow-Hill Series, 2ª ed., 1979.