

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA  
CENTRO TECNOLÓGICO  
CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL

**AVALIAÇÃO DOS CUSTOS PARA TRATAMENTO DE EFLUENTES DE INDÚSTRIA DE PAPEL E CELULOSE CONSIDERANDO OS PROCESSOS DE LODOS ATIVADOS, LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO E FÍSICO-QUÍMICO**

André Luiz Coutinho Krause, andre.krause@terra.com.br

Prof. Dr. Fernando Soares Pinto Sant'Anna, santanna@ens.ufsc.br (orientador)

**Resumo:** O setor de papel e celulose é expressivo em termos de produção e comércio tanto no Brasil quanto no estado de Santa Catarina. Grande produção demanda processos fabris complexos, eficientes e que acabam por gerar quantidades significativas de despejos. O setor de papel e celulose é um dos setores industriais que apresentam maiores demanda de água para sua produção e, portanto, a geração de efluentes acaba por seguir a mesma linha, sendo também bastante expressiva. Por influenciar quase que por completo a escolha do melhor sistema de tratamento de efluentes industriais, a questão econômica dos custos envolvidos foi por este estudo levantada. Custos relativos à implantação dos sistemas, envolvendo a construção e obtenção de equipamentos e custos relativos à própria operação do tratamento constituem o foco. Os métodos para tratamento de águas residuárias de indústria de papel e celulose contemplados foram tratamento por lagoas de estabilização, por lodos ativados e por processo físico-químico de coagulação/floculação. O efluente papeleiro é predominantemente orgânico, apresentando elevadas cargas de DBO e DQO, sendo que tratamentos biológicos são os mais indicados para remoção dos compostos orgânicos presentes. Os custos elencados possibilitaram gerar um indicador financeiro para os tratamentos, sendo que o processo biológico por lodos ativados foi apontado como o mais indicado economicamente.

**Palavras-chave:** papel e celulose, tratamento de efluentes, custos, lodos ativados, lagoas de estabilização, processo físico-químico.

**Abstract:** The pulp and paper business are strong in Brazil and also in Santa Catarina state. Globally, Brazil is one of the top Five biggest producers and to support all that market needs to have complex and capable industries. The process of extracting fibers from Wood uses a large quantity of water and produce a large quantity of wastewater. To improve the wastewater treatment, a financial balance needs to be done. Evaluating the costs to build and operate the treatment plants, this paper will define which process is more useful and its economical worthwhile. The wastewater treatment plants consider treatment ponds, activated sludge systems and physicochemical systems. The costs that had been evaluated are terrain, earthmoving, equipments, sludge disposal, contractors, human resources, and other specific items. The main parameters of the pulp and paper effluents are the high organic charges, implying in biological systems. The final analysis of the costs had shown that the biological treatments are the most lucrative options. Using exclusive physicochemical treatments implies in high costs with material and sludge disposal and the ponds treatment systems implies in high investment cost to acquire the land needed.

**Keywords:** pulp and paper; industrial wastewater treatment; costs.

Florianópolis, março de 2010

## 1 INTRODUÇÃO

O Brasil apresenta mercado de papel e celulose em grande movimentação, com crescimento médio anual de 7,6% na produção de celulose e 5,7% na produção de papel.

Atualmente o Brasil ocupa a sexta posição no ranking mundial dos produtores de celulose, com produção de 12,1 milhões de toneladas, e projeções que apontam que em breve o Brasil conquistará o quarto lugar no ranking, chegando a produção de 12,85 milhões de toneladas e superando a Finlândia (12,5 milhões de toneladas) e a Suécia (12,4 milhões de toneladas).

No mercado externo, destaca-se o aumento das exportações de celulose, que passou de US\$ de 3,0 bilhões, em 2007, para US\$ 3,9 bilhões, em 2008, com variação de 30,6%. As exportações de papel cresceram 12,8% no mesmo período.

Entre os principais produtores mundiais de celulose e papel, o Brasil é referência internacional por suas práticas sustentáveis. O principal diferencial competitivo é que 100% da produção de celulose e papel no País advém de florestas plantadas, que são recursos renováveis, e assim coloca o Brasil em níveis superiores de competitividade em relação aos maiores *players* globais, uma vez que majoritariamente ainda fazem uso de florestas naturais como matéria-prima para produção.

Os principais destinos das exportações brasileiras de pasta de celulose são os mercados europeu (52%) e norte americano (20%). Para o produto final papel, o principal mercado é a própria América Latina, que absorve 61% das exportações.

O setor gera mais de 114 mil empregos diretos e 570 mil indiretos, mostrando a grande força na economia e sociedade nacionais. Para o estado de Santa Catarina, o setor também é de grande importância, uma vez que várias empresas importantes estão alocadas no estado.

Por utilizar grandes quantidades de água na produção, o setor papelero também é um dos que mais poluem. Os tratamentos, geralmente através de tratamentos biológicos, envolvem estruturas expressivas e grande movimentações de terra, com alto custo de implantação.

Dentro do contexto de economia e ambiente, o presente estudo visa buscar um trajeto de comum acordo para as duas vertentes, unindo a melhoria ambiental com menor custo disponível.

Este trabalho tem por finalidade conhecer os custos para tratamento de efluentes líquidos da indústria de papel e celulose por 3 métodos distintos e identificar qual dos métodos apresenta melhor relação custo/benefício, além de propiciar a difusão do levantamento de custos e dos custos propriamente ditos, que são pouco abordados no âmbito da graduação acadêmica, mas que são de importância chave para a escolha dos processos na esfera prática.

Os métodos para tratamento abordados serão lagoas de estabilização, lodos ativados e processo físico-químico, levantando os custos envolvidos nos tratamentos, tanto na implantação dos sistemas quanto para operação dos mesmos.

Os beneficiários do estudo serão o setor industrial de papel e celulose, bem como a sociedade como um todo, haja visto que uma vez esclarecido qual o método de tratamento mais vantajoso, o efluente apresentará características satisfatórias de qualidade, não degradando o corpo receptor, não contaminando o ambiente e a indústria poderá reempregar o dinheiro salvo em outros setores, ou até mesmo em programas sociais.

## OBJETIVOS

### *Objetivo Geral*

Levantar os custos para tratamento de despejos líquidos de indústria de papel e celulose, observando 3 diferentes métodos de tratamento: lodos ativados, lagoas de estabilização e processo físico-químico.

### *Objetivos Específicos*

1. Identificar como se processa o tratamento pelos diferentes métodos;
2. Levantar os custos de implantação de estação de tratamento de efluentes para cada método estudado;
3. Levantar os custos para operação de estação de tratamento de efluentes para cada método estudado;
4. Identificar um indicador econômico que permita comparar os diferentes tratamentos através de relação custo/benefício.

## **2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **Matéria Prima para indústria de papel e celulose**

A madeira é a principal fonte de matéria-prima para a produção de pasta celulósica, sendo as principais espécies de madeiras utilizadas o pinus (fibra longa) e o eucalipto (fibra curta). A madeira de pinus é denominada de conífera ou softwood (madeira macia), e a madeira de eucalipto é conhecida por folhosa ou hardwood (madeira dura).

Estudos comprovaram que a produção de celulose e papel é inviável a partir da madeira de florestas nativas e, mostraram que, papéis feitos a partir de florestas plantadas resultam em produtos com alta qualidade e produtividade. No Brasil, a produção de celulose e papel utiliza exclusivamente madeira de origem de florestas plantadas de pinus e eucalipto.

Para a produção do papel é necessário separar as fibras de celulose dos demais componentes da madeira (principalmente a lignina) em condições que as deixe o tanto quanto possíveis puras e sem danos. A lignina é uma macromolécula aromática tridimensional, de estrutura não uniforme, e a sua eliminação se dá por oxidação, que a fragmenta em diversas moléculas de diferentes tamanhos, muitas das quais apresentando elevada toxicidade (Tambosi, 2005).

### **Processo de fabricação do papel**

A fabricação do papel envolve cinco etapas básicas (estoque de cavaco, cozimento, branqueamento, lavagem e fabricação de papel. Cada etapa pode variar de acordo com a indústria e o tipo de processo adotado.

### **Efluentes gerados**

Fonseca et al. (2003), dizem que o maior problema de poluição nos corpos hídricos gerado pela descarga de despejos líquidos das fábricas de celulose e papel é causado principalmente pelo material em suspensão e pelas substâncias orgânicas dissolvidas. Além desses poluentes, existem ainda os contaminantes tóxicos ou potencialmente tóxicos, substâncias inorgânicas solubilizadas e os compostos que transmitem poluição visual ou estética.

Os sólidos sedimentáveis, constituem-se na parte que acarreta maiores problemas aos corpos d'água receptores. Estes sólidos depositam nos leitos dos corpos receptores, originando bancos de lodo que dificultam a proliferação de microorganismos, desenvolvimento de peixes e outras formas de vida aquática.

Normalmente os despejos das fábricas de sulfato têm odor extremamente forte caracterizados pelos compostos derivados da mercaptana (Fonseca et al., 2003).

### **2.5 Sistemas de tratamento de efluentes para indústrias do setor de papel e celulose**

Cesconetto Neto (2002) e Tambosi (2005) citam Thompson et al. (2001) que afirmam que a maioria das plantas de tratamento de efluentes líquidos encontradas nas indústrias de papel e celulose são compostas de um tratamento primário (sedimentação ou flotação), que consiste na remoção de partículas mais grosseiras, clarificação, floculação, seguido por um tratamento secundário, geralmente processos biológicos (aeróbio ou anaeróbio) para remover matéria orgânica e compostos inorgânicos. Processos terciários são necessários quando os demais métodos não foram capazes de eliminar todos os contaminantes presentes, de acordo com a legislação

ambiental. A Figura 5 a seguir, mostra um esquema simplificado de uma planta de tratamento de efluentes de uma indústria de papel e celulose.

#### *Tipos de tratamento utilizados*

MOURA (2000) fez um levantamento dos processos de tratamento utilizados por empresas do setor de papel e celulose no estado de Santa Catarina, conforme se observado no quadro 1 abaixo.

**Quadro 1. Panorama tratamentos utilizados em SC.**

<b>Fábrica</b>	<b>Localização</b>	<b>Tratamento Utilizado</b>
Adami	Caçador (SC)	Lagoa de aeração, tanque de equalização e lodos ativados
Celulose Irani	Irani (SC)	Decantador primário, lagoa de aeração e lagoa de estabilização
Klabin Celucat	Correia Pinto (SC)	Decantador primário, lagoa de aeração e lagoa de estabilização
Klabin Igaras	Otaclílio Costa (SC)	Decantador primário, tanque de equalização e lodos ativados
Primo Tedesco	Caçador (SC)	Flotador, tanque de equalização e lodos ativados
Rigesa	Três Barras (SC)	Decantador primário, lagoa de aeração e lagoa de estabilização
Trombini	Fraiburgo (SC)	Decantador primário, tanque de equalização e lodos ativados

**FONTE: Adaptado de MOURA, 2000.**

### **3 METODOLOGIA**

O estudo em questão tem por objetivo principal identificar os custos envolvidos no tratamento de efluentes de indústrias do setor de papel e celulose. Esta identificação é um evento único, buscando a identificação do processo fabril, dos efluentes gerados, dos processos de tratamento e o levantamento propriamente dos custos relacionados.

Explorando majoritariamente a pesquisa em bibliografia pertinente, e sendo a elaboração do estudo no âmbito teórico e não prático, a metodologia empregada não acarreta em significativa complexidade.

O levantamento de dados referente aos tipos de tratamentos empregados, relacionados no primeiro objetivo específico, se dá por busca em bibliografia existente das áreas afim.

O levantamento dos custos de implantação e dos custos de operação para cada método de tratamento foram elaborados em dois momentos distintos. O primeiro consiste em averiguar, de acordo com as necessidades de projeto e execução, quais os processos construtivos necessários e quais os materiais necessários. Para os custos operacionais, averiguar quais os processos operacionais envolvidos e suas necessidades funcionais. O segundo momento do levantamento de custos seria a pesquisa mercadológica dos gastos envolvidos, uma vez que foram relacionados no passo anterior. O Anexo 01 apresenta a planilha utilizada para a elaboração dos custos, relacionando os matérias/serviços conforme custos unitários levantados.

O quarto objetivo específico envolve a identificação de indicador econômico para comparar os métodos de tratamento através de uma relação custo/benefício. Estudo em bibliografia pertinente se faz necessário para elaboração de tal indicador. Posteriormente, a aplicação da metodologia do indicador para cada processo de tratamento estudado possibilita caracterizar e classificar cada processo dentro da relação custo/benefício proposta.

A metodologia do indicador envolve a análise de custo através da quantificação do valor presente de implantação e operação do sistema, considerado como horizonte de projeto 20 anos, corrigido por taxa mínima de atratividade de 10% a.a., e pelo volume em m<sup>3</sup> de efluentes tratados, também corrigidos para 20 anos de operação do sistema, para que possa refletir a veracidade desejada.

A avaliação comparativa dos custos diretos dos sistemas considerados foi feita com base no valor presente dos gastos envolvidos.

O valor do investimento de implantação é somado, formando o valor presente total para o sistema de tratamento. Para o indicador proposto no item 4.4., considera-se este custo presente e o dilui pelo volume total que o tratamento se propõe a tratar durante seu horizonte de projeto. Detalhes são apresentados em itens específicos no decorrer do estudo.

Dados referentes as características dos efluentes, bruto e tratado, foram levantados através de contato com empresas do setor papelero e posteriormente analisados. Coleta de dados relacionados a custos operacionais dos sistemas também pode ser realizada.

## 4 RESULTADOS

Para fins de comparação, os métodos de tratamento propostos seguiram uma tendência similar no que tange ao efluente, sendo os tratamentos necessários para remoção de uma mesma carga orgânica e de poluentes. O quadro 2 abaixo relaciona as características consideradas do efluente a ser tratado, já o quadro 3 relaciona os parâmetros desejáveis do efluente pós tratamento.

**Quadro 2. Características do efluente a ser tratado.**

Parâmetro	Valor
pH	6,9
DBO	520 mg/L
DQO	1350 mg/L
ST	10000 mg/L
SSsed	80 mg/L
NTK	10 mg/L
P	1,0 mg/L
Temperatura	28 °C
Vazão Equalizada	800 m <sup>3</sup> /h

**Quadro 3. Parâmetros desejáveis pós tratamento.**

Parâmetro	Valor
pH	5 a 9
DBO	104 mg/L (Remoção de 80%)
SSsed	< 1 ml/l
NTK	< 10 mg/L
P	< 1,0 mg/L
Temperatura	< 40 °C
Vazão máx	1.200 m <sup>3</sup> /h (1,5*Qe)

Adaptado de RESOLUÇÃO CONAMA nº 357/05 e nº 397/08.

Vale ressaltar que os processos irão contemplar um mesmo tratamento preliminar e este deverá incluir gradeamento, caixa de areia, medidor de vazão e tanque de estabilização, seja de vazão, pH e DBO. Tanque pulmão para absorver qualquer situação de emergência também se mostra necessário, mas para a finalidade do presente estudo, seu dimensionamento e custos ficam descartados, assim como o tratamento preliminar, que por ser comum aos 3 métodos estudados, não afetarão a classificação final.

No item 4.1. que segue são apresentados as tabelas com os constituintes de cada tratamento avaliado.

### 4.1 Descritivo dos Tratamentos

#### 4.1.1 Lagoas de estabilização

**Quadro 4. Etapas constituintes do tratamento por Lagoas de Estabilização, Q = 800m<sup>3</sup>/h.**

Etapa	Descrição
Lagoa Anaeróbia	Lagoa escavada no solo; Impermeabilizada por manta PEAD; Volume de 45.000,00 m <sup>3</sup> ; (HxBxL = 5,00x90,00x100,00m).
Lagoa Facultativa 1	Lagoa escavada no solo; Impermeabilizada por manta PEAD; Volume de 148.200,00 m <sup>3</sup> ; (HxBxL = 2,00x190,00x390,00m).

Lagoa Facultativa 2	Lagoa escavada no solo; Impermeabilizada por manta PEAD; Volume de 148.200 m <sup>3</sup> ; (HxBxL = 2,00x190,00x390,00m).
Lagoa Facultativa 3 (polimento)	Lagoa escavada no solo; Impermeabilizada por manta PEAD; Volume de 148.200 m <sup>3</sup> ; (HxBxL = 2,00x190,00x390,00m).

#### 4.1.2 Lodos Ativados

**Quadro 5. Etapas constituintes do tratamento por Lodos Ativados, Q = 800m<sup>3</sup>/h.**

Etapa	Descrição
Decantador Primário	Decantador circular; Construído em alvenaria; Com ponte raspadora de lodo; Volume de 812,00 m <sup>3</sup> (HxD = 4,60x15,00m)
Tanque de Aeração (Reator Biológico)	2 Tanques construídos em alvenaria; Volume de 2.400,00 m <sup>3</sup> cada; (HxBxL = 4,00x24,00x25,00m).
Decantador Secundário	2 Decantadores circulares; Construídos em alvenaria; Com ponte raspadora de lodo; Volume de 3.507,30 m <sup>3</sup> cada; (HxD = 3,90 x 32,12 m)

#### 4.1.3 Processo Físico-Químico

Em nenhum processo de tratamento de efluentes de indústria de papel e celulose é constatado unicamente o processo físico-químico como tratamento. Geralmente este processo é empregado em concordância com outros tratamentos, sendo por vezes como pré-tratamento ou mesmo como polimento.

As altas taxas de compostos orgânicos e principalmente a enorme vazão a ser tratada são os empecilhos para o referido tratamento. Tratar uma quantidade tão expressiva de efluentes através de coagulação e floculação demanda consumo excessivo de produtos químicos, inviabilizando o método.

Caso o tratamento se volte para tecnologias mais modernas, como os Processos Oxidativos Avançados, filtração por membranas ou mesmo utilização de filtragem por osmose reversa, a alta carga orgânica presente no efluente colmata os meios filtrantes com facilidade, exigindo manutenção e acompanhamento constantes, além de serem tecnologias que ainda não emplacaram no uso cotidiano, inviabilizando o processo.

**Quadro 6. Etapas constituintes do tratamento por processo Físico-Químico, Q = 800m<sup>3</sup>/h.**

Etapa	Descrição
Tanque de Mistura Rápida (coagulação)	4 Tanques construídos em alvenaria; Agitador Mecânico 25hp; Volume de 20 m <sup>3</sup> cada; (HxBxL = 2,50x2,00x4,00m).
Tanque de Mistura Lenta (Floculador)	Tanque construído em alvenaria; Agitador Mecânico 1,5hp; Volume de 1200 m <sup>3</sup> ; (HxBxL = 2,50x20,00x24,00m).
Decantador	Decantador circular; Construído em alvenaria; Com ponte raspadora de lodo; Volume de 812 m <sup>3</sup> (HxD = 4,60x15,00m)

## 4.2 Avaliação dos Custos dos Tratamentos

A avaliação comparativa dos custos diretos dos sistemas considerados foi feita com base no valor presente dos gastos envolvidos, conforme descrito na metodologia. Demais detalhes são apresentados a seguir.

### 4.2.1 Custos de Implantação

Para implantação dos processos de tratamento de efluentes foram avaliados custos da área necessária, movimentação de terra, materiais e mão de obra. Custos adicionais de iluminação da área, construção de muros/guarda-corpos, sistema viário não eram o foco do presente levantamento e, portanto, não foram avaliados.

#### 4.2.1.1 Lagoas de Estabilização

A partir dos dados levantados com o dimensionamento das lagoas, seguiram-se a identificação dos custos para implantação das mesmas. A tabela 1 abaixo apresenta o resumo do orçamento.

**Tabela 1. Resumo custo implantação para Lagoas de Estabilização.**

Nº DO PREÇO	ESPECIFICAÇÃO DO SERVIÇO	TOTAL
1	LAGOA ANAERÓBIA	
	TOTAL 1	R\$ 3.577.196,32
2	LAGOA FACULTATIVA 1	
	TOTAL 2	R\$ 20.441.861,32
3	LAGOA FACULTATIVA 2	
	TOTAL 3	R\$ 20.441.861,32
4	LAGOA POLIMENTO	
	TOTAL 4	R\$ 20.441.861,32
	Total Geral	R\$ 64.902.780,28

#### 4.2.1.2 Lodos Ativados

É sabido que o processo de tratamento por lodos ativados utiliza-se de quantidades de território vezes menores do que o processo por lagoas, sobretudo a construção é mais elaborada, bem como todo o fluxo do material a ser tratado. A tabela 2 abaixo retratamos os itens.

**Tabela 2. Resumo custo implantação para Lodos Ativados.**

Nº DO PREÇO	ESPECIFICAÇÃO DO SERVIÇO	TOTAL
1	DECANTADOR PRIMARIO	
	TOTAL 1	R\$ 85.679,44
2	REATOR BIOLÓGICO	
	TOTAL 2	R\$ 491.554,83
3	DECANTADOR SECUNDARIO	
	TOTAL 3	R\$ 654.559,65
4	LEITOS DE SECAGEM DE LODO	
	TOTAL 4	R\$ 4.923.900,00
	Total Geral	R\$ 6.155.693,93

#### 4.2.1.3 Processo Físico-Químico

A partir do levantamento dos aspectos construtivos para os tanques de mistura rápida e floculação é que se pode ordenar os custos para o tratamento por processo físico químico. A tabela 3 abaixo apresenta o resumo.

**Tabela 3. Resumo custo implantação para Físico-Químico.**

Nº DO PREÇO	ESPECIFICAÇÃO DO SERVIÇO	TOTAL
<b>1</b>	<b>TQ MISTURA RÁPIDA</b>	
	TOTAL 1	R\$ 28.778,07
<b>2</b>	<b>TQ FLOCULAÇÃO</b>	
	TOTAL 2	R\$ 180.520,17
<b>3</b>	<b>DECANTADOR</b>	
	TOTAL 3	R\$ 84.240,45
	Total Geral	R\$ 293.538,69

#### 4.2.2 Custos de Operação

##### 4.2.2.1 Lagoas de Estabilização

Ponto chave do tratamento por lagoas de estabilização realmente são seus baixíssimos custos com operação. Observou-se durante o dimensionamento do tratamento que remoção de lodo não se faz necessário por todo o horizonte de projeto, além de o tratamento ter sido estruturado para ter seu funcionamento baseado em escoamento por gravidade, não necessitando bombas e painéis elétricos de comando.

Em vista a estes pontos, chegou-se ao levantamento dos custos operacionais baseados somente em despesas com análises laboratoriais do efluente, com mão de obra e com eventuais manutenções para limpeza e desentupimentos, como se apresenta na tabela 4 abaixo.

**Tabela 4. Resumo custo operação para Lagoas de Estabilização.**

Nº DO PREÇO	ESPECIFICAÇÃO DO SERVIÇO	TOTAL (R\$/mês)
<b>1</b>	<b>Recursos Humanos</b>	
	TOTAL 1	R\$ 5.600,00
<b>2</b>	<b>Pequenas Manutenções</b>	
	TOTAL 2	R\$ 700,00
<b>3</b>	<b>Análises Laboratoriais</b>	
	TOTAL 3	R\$ 900,00
	Total Geral	R\$ 7.200,00

Nota-se que as análises laboratoriais consideradas são as básicas para o monitoramento do tratamento, sendo análises de DBO, DQO, Óleos e Graxas, Nitrogênio, Fósforo e Sólidos Sedimentáveis para 5 pontos de amostragem, totalizando R\$ 900/mês.

Para as despesas com RH, considerou-se 3 auxiliares, sendo um por turno e despesa de R\$ 700/mês cada. Um engenheiro foi também contratado a um custo de R\$ 3500/mês.

Com manutenção considerou-se R\$ 700/mês

Aplicando em horizonte de projeto de 20 anos, avalia-se os gastos mensais com operação do tratamento através da precificação do Valor Presente equivalente, sendo:

$$P = Ax \frac{(1+i)^n - 1}{ix(1+i)^n}$$

Onde:

P = Valor Presente de gastos anuais constantes, em R\$;

A= gasto anual de operação da ETE, em R\$;

i = taxa de juros anual, considerando taxa mínima de atratividade de 10% a.a.;

n = número de anos.

Portanto,

$$P = (7.200 \times 12) \times \frac{(1 + 0,10)^{20} - 1}{0,10 \times (0,10 + 1)^{20}}$$

$$P = 735.571,91$$

Em 20 anos de projeto, os custos operacionais do tratamento por lagoas de estabilização resultam em valor presente de R\$ 735.571,91.

O valor presente global do tratamento por lagoas totaliza em:

$$VP_{LAGOAS} = VP_{implantação} + VP_{operação}$$

$$VP_{LAGOAS} = 64.902.780,28 + 735.571,91$$

$$VP_{LAGOAS} = 65.638.352,19R\$$$

#### 4.1.2.2 Lodos Ativados

O processo de lodos ativados já é um tratamento mais complexo. Necessita de direto acompanhamento com análises e pessoal qualificado, além de utilizar insumos com frequência.

A tabela 5 abaixo apresenta os gastos elencados para a operação do sistema de lodos ativados:

**Tabela 5. Resumo custo operação para Lodos Ativados.**

Nº DO PREÇO	ESPECIFICAÇÃO DO SERVIÇO	TOTAL (R\$/mês)
<b>1</b>	<b>Recursos Humanos</b>	
	TOTAL 1	R\$ 7.700,00
<b>2</b>	<b>Pequenas Manutenções</b>	
	TOTAL 2	R\$ 2.000,00
<b>3</b>	<b>Análises Laboratoriais</b>	
	TOTAL 3	R\$ 2.000,00
<b>4</b>	<b>Insumos</b>	
	TOTAL 4	R\$ 3.400,00
<b>5</b>	<b>Disposição de Lodo</b>	
	TOTAL 5	R\$ 12.497,49
	<b>Total Geral</b>	<b>R\$ 27.597,49</b>

Para RH estipulou-se 2 auxiliares por turno, sendo 6 funcionários a R\$ 700/mês cada e contratação de um engenheiro ao custo de R\$ 3500/mês.

O valor presente global do tratamento por lodos ativados totaliza em:

$$VP_{LADOS} = VP_{implantação} + VP_{operação}$$

$$VP_{LADOS} = 6.155.693,93 + 2.819.435,88$$

$$VP_{LADOS} = 8.975.129,80R\$$$

#### 4.2.2.3 Processo Físico-Químico

O sistema físico-químico por coagulação, floculação e decantação exige elevado consumo de insumos e gera quantidade expressiva de lodo para descarte.

A tabela 6 abaixo apresenta o resumo dos custos de operação por este estudo retratados.

**Tabela 6. Resumo custo operação para Físico-Químico.**

Nº DO PREÇO	ESPECIFICAÇÃO DO SERVIÇO	TOTAL (R\$/mês)
<b>1</b>	<b>Recursos Humanos</b>	
	TOTAL 1	R\$ 7.700,00
<b>2</b>	<b>Pequenas Manutenções</b>	
	TOTAL 2	R\$ 4.000,00
<b>3</b>	<b>Análises Laboratoriais</b>	
	TOTAL 3	R\$ 2.000,00
<b>4</b>	<b>Insumos</b>	
	TOTAL 4	R\$ 108.288,00
<b>5</b>	<b>Disposição de Lodo</b>	
	TOTAL 5	R\$ 77.262,34
	<b>Total Geral</b>	<b>R\$ 199.250,34</b>

O valor presente global do tratamento por processo físico-químico totaliza em:

$$VP_{FSC-QMC} = VP_{implantação} + VP_{operação}$$

$$VP_{FSC-QMC} = 293.538,69 + 20.355.965,59$$

$$VP_{FSQ-QMC} = 20.649.504,28R\$$$

### 4.3 Indicador proposto

Para que se possa comparar os 3 diferentes métodos estudados, um indicador abrangente aos métodos é por este estudo proposto. O indicador nivela os tratamentos para uma mesma linha base, permitindo a comparação.

Tanto o método de lagoas de estabilização quanto de lodos ativados e físico-químico foram dimensionados para uma mesma carga e características de poluentes, bem como para uma mesma vazão. Além do mais, os tratamentos foram vislumbrados para um horizonte de 20 anos.

O indicador aqui construído concilia o custo efetivo dos tratamentos com a quantidade de efluentes tratados.

Os custos operacionais foram considerados como valor presente de todo o investimento necessário ao longo deste horizonte de projeto. Os custos de implantação foram considerados através do valor presente do investimento de implantação necessário.

A quantidade de efluentes tratada foi estabelecida através do cálculo da vazão horária do sistema e extrapolada para 20 anos ininterruptos de funcionamento do sistema, sendo igual a  $140160000 \text{ m}^3$ .

#### 4.3.1 Indicador para Lagoas de estabilização

O indicador proposto é calculado como descrito, apresentando para o sistema de tratamento por Lagoas de Estabilização o seguinte valor:

$$VP_{LAGOAS.UNITÁRIO} = \frac{VP_{TRATAMENTO}}{Q_{TRATAMENTO}}$$

$$VP_{LAGOAS.UNITÁRIO} = \frac{65.638.352,19}{1,4016 \times 10^8}$$

$$VP_{LAGOAS.UNITÁRIO} = 0,47R\$/\text{m}^3$$

#### 4.3.2 Indicador para Lodos Ativados

Para o sistema composto por processo biológico de Lodos Ativados, chega-se ao seguinte valor do indicador:

$$VP_{Lodos.Ativados,UNITÁRIO} = \frac{VP_{TRATAMENTO}}{Q_{TRATAMENTO}}$$

$$VP_{Lodos.Ativados,UNITÁRIO} = \frac{8.975.129,80}{1,4016 \times 10^8}$$

$$VP_{Lodos.Ativados,UNITÁRIO} = 0,06R\$/m^3$$

#### 4.3.3 Indicador para Processo Físico-Químico

O processo de tratamento contemplado por sistema físico-químico apresenta valor de indicador como segue:

$$VP_{FSC-QMC,UNITÁRIO} = \frac{VP_{TRATAMENTO}}{Q_{TRATAMENTO}}$$

$$VP_{FSC-QMC,UNITÁRIO} = \frac{20.649.504,28}{1,4016 \times 10^8}$$

$$VP_{FSC-QMC,UNITÁRIO} = 0,15R\$/m^3$$

## 5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

O processo físico químico de coagulação/floculação/decantação por si só não constitui remoção eficaz de carga orgânica. Mesmo que o tratamento apresente custo competitivo, as características inapropriadas de efluente não justificam sua utilização.

O processo por lagoas de estabilização é adequado para tratar o efluente, mas é barrado pelo fator imobiliário. Ultimamente os investimentos em terras vêm formando números expressivos. Caso tivéssemos a localidade em uma cidade de menor porte, ou mesmo zona rural, os custos poderiam ser melhores absorvidos. Se o tratamento precisar ser constituído em zona industrial urbanizada, o sistema de clarificação por lagoas deve ser desconsiderado.

O processo por lodos ativados demanda operação mais delicada e onerosa, porém se viabiliza pelo baixo custo de implantação em vista aos outros tratamentos. Temos uma diferença de R\$ 0,41 por m<sup>3</sup> tratado quando comparado ao sistema de lagoas, uma diferença significativa que comprova o método como mais vantajoso.

### 5.2 Recomendações

O estudo concluiu que o sistema com melhor custo/benefício para tratamento de efluentes de indústria de papel e celulose com grande vazão é o sistema por lodos ativados. Sobretudo, se interpolarmos os custos e as características dos afluentes e efluentes podemos considerar que o sistema ideal contemplaria uma junção entre físico-químico e lodos ativados, removendo cor e turbidez através de coagulação/floculação inicial e aliviando o processo aeróbio posterior para estabilização da matéria orgânica. Desta forma recomenda-se levantar quais etapas contemplariam o sistema ideal, para posteriormente levantar os custos, seguindo os moldes e valores apresentados e então aplicar o indicador definido.

Para o sistema físico-químico poderia-se avaliar a utilização de filtração por membranas do efluente, melhorando desta forma a eficiência na remoção de carga orgânica, principal constituinte do efluente caracterizado. Porém a alta frequência na colmatação das membranas deve ser levada em consideração.

## 6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BARROS, Marcos José de e NOZAKI, Jorge. **Redução de poluentes de efluentes das indústrias de papel e celulose pela floculação/coagulação e degradação fotoquímica.** Quím. Nova [online]. 2002, vol.25, n.5, pp. 736-740. ISSN 0100-4042.

BEAL, Lademir Luiz; MONTEGGIA, Luiz Olinto e GIUSTINA, Saulo Varela Della. **Otimização de uma estação de tratamento de efluentes de uma indústria de embalagens de papel.** Eng. Sanit. Ambient. [online]. 2006, vol.11, n.3, pp. 283-289. ISSN 1413-4152.

BRACELPA. Associação Brasileira de Celulose e Papel. **Relatório Estatístico 2007/2008.** Disponível em: <<http://www.bracelpa.org.br/bra/estatisticas/pdf/anual/rel2007.pdf>>. Acessado em: 12 jun 2009.

CESCONETTO NETO, G. **Decomposição de fenol e efluente da indústria de papel e celulose por fotocatalise heterôgenea.** UFSC, 2002.

COCELPA. Companhia de celulose e papel do Paraná. **Responsabilidade ambiental.** Disponível em: <<http://www.cocelpa.com.br>>. Acessado em: 17 jan 2010.

DALAVÉQUIA, Maria Aparecida. **Avaliação de lagoas de estabilização para tratamento de dejetos suínos.** Dissertação de mestrado Engenharia Ambiental, UFSC, 2000.

FONSECA, J.; BARBOSA, M.; PINTO, N.; SALAN, R.; SOBRINHO, G.; BRITO, N.; **Tratamento de efluentes líquidos de indústria de papel e celulose.** III Fórum de Estudo Contábeis. Faculdades Integradas Claretianas, SP. 2003.

GIORDANO, Ghandi. **Tratamento e controle de efluentes industriais/** Material de aula, disciplina Tratamento e controle de efluentes industriais. UERJ. 2004

LAZZARETTI, E.; CAMPOS, A.; NOGUEIRA, J.. **Efeito da adição de microorganismos (bioaumento) em uma estação de tratamento de efluentes por lodo ativado em uma indústria de papel e celulose.** XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2000.

MOURA, Carla de A.; **Tratamento de efluentes na indústria de celulose e papel/estudo de caso na Klabin-Igaras.** Trabalho de conclusão de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. UFSC, 2000.

NUNES, José Alves. **Tratamento Físico-Químico de Águas Residuárias Industriais.** 2ª ed. rev. e completam Aracaju: J. Andrade, 1996. 277p

PERALTA-ZAMORA, P.; ESPOSITO, E.; REYES, J. e DURAN, N.. **Remediação de efluentes derivados da indústria de papel e celulose: tratamento biológico e fotocatalítico.** Quím. Nova [online]. 1997, vol.20, n.2, pp. 186-190. ISSN 0100-4042.

ROSSANE, C. **Método para identificação de custos ambientais na cadeia produtiva de papel e celulose.** Dissertação de mestrado Engenharia de Produção, UFSC, 2001.

SANT'ANNA, F.; **Aula 10 Coagulação Floculação/** Material de aula, disciplina Tratamento de despejos industriais. ENS/UFSC. 2009.

TAMBOSI, J. **Remediação de efluente da indústria de papel e celulose por processos oxidativos avançados e coagulação férrica.** Dissertação de mestrado em Engenharia Química, UFSC, 2005.

VON SPERLING, Marcos. **Lagoas de estabilização/** Marcos von Sperling.. 2. ed., ampl. Belo Horizonte: DESA - UFMG, 2002a. 196p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias , v.3) ISBN 8585266066

VON SPERLING, Marcos. **Lodos ativados/** Marcos von Sperling.. 2. ed., ampl. Belo Horizonte: DESA - UFMG, 2002b. 428p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias , v.4) ISBN 8570411294