

ALEXANDRE JOSÉ RIBEIRO

**MODIFICAÇÃO DE UM PROCESSO DE LODOS ATIVADOS PARA
TRATAMENTO DE EFLUENTES TEXTÉIS COM ÊNFASE NO CONTROLE DAS
FORMAS DE NITROGÊNIO**

JOINVILLE

2011

ALEXANDRE JOSÉ RIBEIRO

**MODIFICAÇÃO DE UM PROCESSO DE LODOS ATIVADOS PARA
TRATAMENTO DE EFLUENTES TEXTÉIS COM ÊNFASE NO CONTROLE DAS
FORMAS DE NITROGÊNIO**

Dissertação do Mestrado em Engenharia de Processos como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos pela UNIVILLE.
Orientadora: Dra. Sandra Helena Westrupp Medeiros
Co-Orientadora: Dra. Cladir Teresinha Zanotelli.

JOINVILLE

2011

Catálogo na publicação pela Biblioteca Universitária da Univille

R489m Ribeiro, Alexandre José
Modificação de um processo de lodos ativados para tratamento de efluentes têxteis com ênfase no controle das formas de nitrogênio / Alexandre José Ribeiro ; orientadora Dra. Sandra Helena Westrupp Medeiros ; co-orientadora Dra. Cladir Teresinha Zanotelli – Joinville: UNIVILLE, 2011.

49f. : il. ; 30 cm

Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos – Universidade da Região de Joinville)

1. Indústria têxtil – Impacto ambiental. 2. Efluentes industriais têxteis – Tratamento – Nitrogênio – Lodos ativados. 3. Resíduos industriais têxteis. I. Medeiros, Sandra Helena Westrupp (orient.). II. Zanotelli, Cladir Teresinha (co-orient.). III. Título.

CDD 628.44

Termo de Aprovação

“Modificação de um processo de lodos ativados para tratamento de efluentes têxteis com ênfase no controle das formas de nitrogênio”

por

Alexandre José Ribeiro

Dissertação julgada para a obtenção do título de Mestre em Engenharia de Processos, área de concentração Engenharia de Processos e Tecnologias Limpas e aprovada em sua forma final pelo Programa de Mestrado em Engenharia de Processos.



Prof. Dra. Sandra Helena Westrupp Medeiros
Orientadora (UNIVILLE)

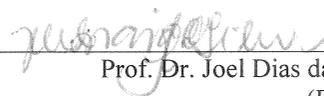


Prof. Dra. Elisabeth Wisbeck
Coordenadora do Programa de Mestrado em Engenharia de Processos (UNIVILLE)

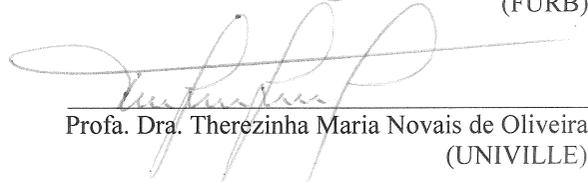
Banca Examinadora:



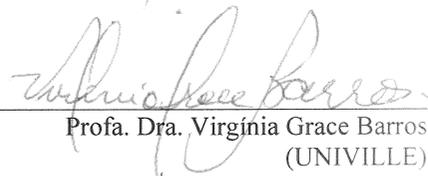
Prof. Dra. Sandra Helena Westrupp Medeiros
Orientadora (UNIVILLE)



Prof. Dr. Joel Dias da Silva
(FURB)



Prof. Dra. Therezinha Maria Novais de Oliveira
(UNIVILLE)



Prof. Dra. Virgínia Grace Barros
(UNIVILLE)

Joinville, 11 de agosto de 2011.

AGRADECIMENTOS

A DEUS, que nos dá o dom da vida e forças para seguir sempre em frente.

Ao meu pai José Mário e minha mãe Suzana, pois me deram condições de ter uma boa formação, me incentivaram em fases difíceis da vida e sempre estão prontos a me dar apoio.

A minha esposa Patricia pela compreensão e apoio nas dificuldades encontradas neste tempo.

A minha filha Marina que logo estará conosco.

Ao Sr. Ângelo da Cruz, Anderson Germano Lach e Sra. Maite Santos que foram as pessoas mais importantes neste projeto, me auxiliando em todas as etapas.

À Prof.^a Dr.^a Cladir Teresinha Zanotelli, que orientou o início de meus trabalhos de pesquisa.

Agradeço todos aqueles que direta ou indiretamente me prestaram seu apoio no decorrer deste trabalho.

Especialmente, a minha orientadora e Prof.^a Dr.^a Sandra Helena Westrupp Medeiros, que sempre me conduziu de forma eficaz, corrigindo, pontuando, acertando, iluminando a conclusão desse trabalho.

RESUMO

A indústria têxtil é considerada uma atividade potencialmente poluidora, uma vez que, para a industrialização de seus produtos, necessita de grandes volumes de água nos processos de beneficiamento do algodão. Uma das formas de reduzir o impacto ambiental que tal segmento gera, é a utilização de Sistemas de Tratamento de Efluentes. O efluente gerado durante o processo industrial têxtil passa por tratamento e, após diminuição da carga poluidora, retorna aos rios, de acordo com os parâmetros legais estabelecidos. Neste sentido, este trabalho apresenta uma análise dos parâmetros do efluente tratado, enfatizando as formas de nitrogênio em uma Estação de Tratamento de Efluentes industriais têxteis. O fluxo do efluente no processo biológico aeróbio sofreu alterações e os parâmetros de DQO, OD, Nitrato, Nitrito, Nitrogênio amoniacal e Sólidos voláteis foram coletados em pontos pré-estabelecidos na entrada e saída do sistema. As análises dos efluentes antes e depois das alterações no fluxo do sistema foram comparadas e demonstraram que houve uma estabilização do nitrogênio amoniacal, porém as concentrações de nitrito e nitrato não sofreram alterações significativas. Dois resultados que chamaram a atenção a partir da modificação do sistema, foram a redução da produção de lodo gerado na estação e economia de energia por parte dos compressores que geram aeração artificial nos tanques.

Palavras-chave: Indústria têxtil, Efluente, Estação de Tratamento de Efluente, Lodo ativado, Nitrogênio.

ABSTRACT

The textile industry is considered a potentially polluting activity, since, for the industrialization of its products, it needs large volumes of water in the processes of processing of cotton. One way to reduce the environmental impact that this segment generates, is the use of Wastewater Treatment Systems. The effluent generated during the manufacturing process will be treated in a water treatment system to reduce the pollution and then return to the rivers, according to the legal parameters established. Thus, this paper presents an analysis of the parameters effluent treated, emphasizing forms of nitrogen in a Wastewater Treatment Plant industrial textiles. The flow of effluent in the aerobic biological process has changed and the parameters of COD, DO, nitrate, nitrite, ammonia nitrogen and volatile solids were collected at predetermined points in the input and output of the system. The analysis of the effluent before and after the changes in the flow system were compared and showed that there was a stabilization of ammonia, but the concentrations of nitrite and nitrate did not change significantly. Two results that have drawn attention from the modification of the system were to reduce the production of sludge generated at the station and saving energy by compressors that generate artificial aeration tanks.

Keywords: Textile, Waste Water, Waste Water Treatment Plant, Activated Sludge, Nitrogen.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 – Transformação do nitrogênio no processo de tratamento biológico | 17 |
| Figura 2 - Localização da área de estudo | 26 |
| Figura 3 – Fluxograma da ETE..... | 28 |
| Figura 4 – ETE - Filtro Rotativo | 29 |
| Figura 5 – ETE - Gradeamento | 29 |
| Figura 6 – ETE - Peneira Hidrostática | 30 |
| Figura 7 – ETE - Tanque de Homogeneização | 30 |
| Figura 8 – ETE - Tanque de Equalização e Neutralização..... | 30 |
| Figura 9 – ETE - Tanque de Mistura | 31 |
| Figura 10 – ETE - Digestor Aeróbio Carrossel | 31 |
| Figura 11 – ETE - Digestor Aeróbio..... | 31 |
| Figura 12 – ETE - Decantador..... | 32 |
| Figura 13 – ETE - Flotador | 32 |
| Figura 14 – Fluxo antigo do sistema – tanques dispostos em paralelo | 35 |
| Figura 15 – Novo fluxo do trat. biológico – tanques dispostos em sequência | 36 |
| Figura 16 - Concentração de entrada do parâmetro DQO | 39 |
| Figura 17 – Concentração de saída do parâmetro DQO | 40 |
| Figura 18 – Concentração de saída do parâmetro NO ₂ | 41 |
| Figura 19 – Concentração de saída do parâmetro NO ₂ sistema novo e antigo | 42 |
| Figura 20 – Concentração de entrada do parâmetro N-NH ₃ | 42 |
| Figura 21 – Concentração de saída do parâmetro N-NH ₃ | 43 |
| Figura 22 – Concentração de OD na entrada do sistema antigo e novo | 44 |
| Figura 23 – Concentração de OD na saída do sistema antigo e novo | 45 |
| Figura 24 – Concentração de saída do parâmetro SV | 46 |

SUMÁRIO

| | |
|--|----|
| RESUMO..... | 4 |
| LISTA DE FIGURAS | 6 |
| 1. INTRODUÇÃO | 8 |
| 2. OBJETIVOS | 10 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL..... | 10 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 10 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 11 |
| 3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL..... | 11 |
| 3.2 A INDÚSTRIA TÊXTIL E A POLUIÇÃO AMBIENTAL..... | 12 |
| 3.3 EFLUENTE TÊXTIL | 13 |
| 3.4 NITROGÊNIO | 15 |
| 3.5 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS | 17 |
| 4. METODOLOGIA..... | 26 |
| 4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 26 |
| 4.2 Descrição e análise do processo antes da modificação no ano de 2008..... | 35 |
| 4.3 Realização da modificação no processo no ano de 2009 | 32 |
| 4.4 Comparação e análise dos resultados | 33 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 34 |
| 5.1 DQO..... | 34 |
| 5.2 NITRITO – NO ₂ | 36 |
| 5.3 NITRATO – NO ₃ | 37 |
| 5.4 NITROGÊNIO AMONÍACAL – N-NH ₃ | 38 |
| 5.5 OXIGÊNIO DISSOLVIDO – OD | 39 |
| 5.6 SÓLIDOS VOLÁTEIS – SV..... | 41 |
| 6. CONCLUSÃO..... | 42 |
| REFERÊNCIAS..... | 44 |

1. INTRODUÇÃO

A indústria têxtil brasileira é caracterizada pela sua heterogeneidade, no que se refere ao porte, à linha de produtos e ao estágio tecnológico e gerencial.

O parque têxtil é um importante setor da economia brasileira, sendo que o Brasil é um dos dez maiores produtores mundiais de fios, tecidos e malhas, ocupando o terceiro lugar na produção de tecidos de algodão (CAMPOS & DE PAULA, 2006).

A indústria têxtil, em particular, utiliza elevada demanda de água em seus processos, gerando grande quantidade de águas residuárias, as quais, geralmente, contêm altas cargas de sais dissolvidos, surfactantes, sólidos suspensos e matéria orgânica, principalmente na forma de moléculas corantes complexas (NEAMTU *et al.*, 2002).

A utilização de água pela indústria têxtil pode ocorrer de diversas formas, tais como: incorporação ao produto; lavagens de máquinas, tubulações e pisos; águas de sistemas de resfriamento e geradores de vapor; águas utilizadas diretamente nas etapas do processo industrial ou incorporadas aos produtos; esgotos sanitários dos funcionários. Exceto pelos volumes de águas incorporados aos produtos e pelas perdas por evaporação, as águas tornam-se contaminadas por resíduos do processo industrial ou pelas perdas de energia térmica, originando assim os efluentes líquidos (ZAZO *et al.*, 2006).

O desenvolvimento de tecnologias eficientes e baratas para o tratamento de efluentes constitui uma necessidade, e consideráveis esforços estão sendo dedicados a esse campo de pesquisa (ZAZO *et al.*, 2006).

De acordo com Bassoi e Guazelli (2004) o lançamento de efluentes líquidos, tratados ou não, nos corpos de água provoca alterações em suas características físicas, químicas e biológicas. Essas alterações poderão ser ou não representativas para os usos a que as águas do corpo receptor se destinam, dependendo da intensidade da carga de poluentes lançada.

As atividades industriais geram efluentes com características qualitativas e quantitativas muito diversificadas, dependendo da natureza da indústria.

O nitrogênio é um elemento presente nos esgotos sanitários e nos efluentes

industriais e é essencial às diversas formas de vida, causando problemas devido à proliferação de plantas aquáticas nos corpos receptores. Nos esgotos sanitários são provenientes dos próprios excrementos humanos, mas atualmente têm fontes importantes nos produtos de limpeza domésticos e ou industriais tais como detergentes e amaciantes de roupas (VON SPERLING, 1996).

A presença de altas concentrações de nitrogênio amoniacal na água indica a presença de matéria orgânica em decomposição e baixa concentração de oxigênio dissolvido. Torna-se importante registrar, que a amônia pode ocorrer na forma ainda não ionizada/ NH_3 podendo ser tóxica aos peixes e, na forma ionizada NH_4^+ , também chamada de amônia inorgânica ou amônio.

Neste estudo, foi avaliada a alteração do fluxo hidráulico no tratamento biológico de efluente têxtil em um sistema de lodos ativados, analisando as concentrações de entrada e de saída da DQO, OD, Sólidos Voláteis, com ênfase nos parâmetros de Nitrato, Nitrito e Nitrogênio Amoniacal, com objetivo de atender a legislação vigente.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Analisar o desempenho do tratamento biológico de efluente têxtil em um sistema de lodos ativados alterando o fluxo hidráulico do sistema.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Descrever e analisar o processo antes da modificação no ano de 2008;
- Realizar monitoramento dos parâmetros de interesse;
- Modificar o processo no ano de 2009 com a alteração do tempo de detenção hidráulico, a partir do sequenciamento dos tanques de aeração;
- Monitorar os parâmetros de interesse após modificação no processo;
- Comparar e analisar os resultados.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 INDÚSTRIA TÊXTIL

O processo de industrialização no Brasil teve seu início com a indústria têxtil. Suas raízes precedem a chegada e ocupação pelos portugueses, porquanto os índios que aqui habitavam já exerciam atividades artesanais, utilizando-se de técnicas primitivas de entrelaçamento manual de fibras vegetais, produzindo telas grosseiras para várias finalidades, inclusive para proteção corporal (ABIT, 2010).

Até o ano 1950 a indústria têxtil não apresentou sinais relevantes de evolução tecnológica. A partir desta década, devido ao emprego de novos componentes químicos, ao desenvolvimento das fibras sintéticas, à utilização de novas tecnologias e métodos no processo produtivo e ao aumento da competição das empresas deste ramo no âmbito comercial, ocorre a grande ampliação deste setor (UEDA, 2006).

O setor têxtil é um dos segmentos de maior tradição dentro do segmento industrial, contando com uma posição de destaque na economia dos países mais desenvolvidos e carrochefe do desenvolvimento de muitos dos chamados países emergentes, que devem à sua indústria têxtil o papel de destaque que exercem, hoje, no comércio mundial de manufaturas. No Brasil, a sua importância não é menor, tendo desempenhado um papel de grande relevância no processo de desenvolvimento econômico e social do País (MELO, 2007).

A Indústria Têxtil possui amplo rebatimento em diversas cadeias produtivas como a cotonicultura, máquinas, petroquímica e de confecções. A atividade contempla quatro segmentos de atuação que são a fiação, tecelagem, malharia e acabamento. Para tanto existem diversas etapas de transformação, sendo elas: as etapas de fiação, tecelagem, beneficiamento, acabamento e confecção (VIANA, 2008).

Segundo ABIT (2010) até 1990, o consumo de fibras naturais era superior ao de químicas, mas essa relação vem se invertendo. Entre 1990 e 2000, o consumo de fibras químicas aumentou 81% e o de fibras naturais, apenas 20%. Já entre 2000 e 2006, os aumentos foram de 29% e 8%, respectivamente. Em 2006, do total consumido no mundo, 62% foi de fibras químicas (sintéticas e artificiais).

A cadeia têxtil brasileira participou com 5,7% do faturamento líquido total da

indústria de transformação de 2009. Em termos de pessoal ocupado, sua participação foi ainda mais significativa, ou seja, 17,1% do emprego total da indústria de transformação nacional (ABIT, 2010).

Esta atividade requer a canalização de grandes recursos, e para que a indústria se mantenha ativa, precisa reduzir custos, ganhar produtividade, apostar em novas tecnologias, qualidade e design. Apesar de, nem sempre estes fatores estarem associados a preservação do meio ambiente, a preocupação com questões ambientais, tem se tornado um fator relevante para o desenvolvimento sustentável e economicamente viável do processo de concepção de artigos têxteis (ALVES, 2006).

A indústria têxtil, em particular, utiliza elevada demanda de água em seus processos, gerando grande quantidade de águas residuárias, as quais, geralmente, contêm altas cargas de sais dissolvidos, surfactantes, sólidos suspensos e matéria orgânica, principalmente na forma de moléculas corantes complexas (NEAMTU *et al.*, 2002).

3.2 A INDÚSTRIA TÊXTIL E A POLUIÇÃO AMBIENTAL

O problema da poluição ambiental tem caráter mundial. Originou-se na revolução industrial, intensificou-se com a explosão populacional humana e perpassa pelo método sócio-econômico-cultural do século. Em muitas regiões brasileiras que abrigam pólos industriais e densa população, o meio ambiente vem sofrendo uma degradação efetiva causada pelos esgotos domésticos e industriais, principalmente o ecossistema aquático. Medidas preventivas e corretivas devem ser implantadas concomitantemente aos crescimentos regionais, conduzindo a população a níveis aceitáveis para a manutenção da qualidade de vida (BALAN, 1999).

O setor têxtil consome 15% de toda a água destinada à indústria e a maior parte da carga poluidora presente nestas águas ao final de todo o processo vem de contaminantes que são inerentes à matéria-prima têxtil: produtos adicionados para facilitar os processos de fiação e tecelagem até auxiliares e corantes eliminados durante as diferentes etapas de acabamento (DANTAS, 2005).

O Estado de Santa Catarina possui mais de 5.000 empresas têxteis e de vestuário, sendo responsável por 10% do faturamento nacional no setor e por 30%

do total de produtos exportados por toda a cadeia têxtil brasileira. Só o segmento de cama, mesa e banho e de malharia responde ainda por 80% da produção nacional do setor. Pelo seu porte e diversidade, essa atividade chama atenção com relação ao grande volume de efluente gerado (ABIT, 2007).

A água é usada na indústria têxtil como meio de transporte para os produtos químicos que entram no processo, bem como para a remoção do excesso daqueles produtos considerados indesejáveis para o substrato têxtil. A maior parte da carga contaminante dos efluentes aquosos contém impurezas inerentes à matéria-prima, tais como os produtos adicionados para facilitar os processos de fiação e tecelagem, produtos químicos auxiliares e corantes eliminados durante as diferentes etapas do acabamento. A quantidade e a qualidade da carga poluidora se encontram intimamente relacionadas com as fibras utilizadas para elaborar os tecidos crus (TWARDOKUS, 2005).

A grande dificuldade em tratar as águas residuárias da indústria têxtil vem do fato de estas possuírem grandes quantidades de compostos orgânicos de baixa biodegradabilidade, em geral, compostos orgânicos de estrutura complexa: corantes, surfactantes e aditivos (SCHRANK, 2000).

A remoção dos poluentes no tratamento, de forma a adequar o lançamento a uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente está associada aos conceitos de nível de tratamento e eficiência de tratamento (VON SPERLING, 1996).

Os processos industriais requerem água para várias finalidades, como resfriamento e condensação, uso em têxteis, frigoríficos, curtumes, celulose e papel, conservas, cervejarias, laticínios, ferro e aço, galvanotécnica, petróleo, petroquímicas e detergentes (TUNDISI & TUNDISI, 2011).

Todos os usos da água na indústria têm componente econômico, que é o custo do tratamento para utilizar a água em determinado processo – o tratamento dos efluentes. Há inúmeros componentes resultantes dos processos industriais que devem ser tratados a custos elevados. Esses custos do tratamento fazem parte, evidentemente, da formação do preço dos produtos industrializados (*op. cit.*).

3.3 EFLUENTE TÊXTEL

O termo “efluente líquido” é utilizado para designar as águas residuais

provenientes de esgotos domésticos ou de processos industriais lançados na natureza. A legislação determina que, antes de serem devolvidos aos mananciais, os efluentes industriais devem ser purificados em Estações de Tratamento de Efluentes ETEs (INSTITUTO AMANHÃ, 2009).

Ainda segundo o Instituto Amanhã (2009), o endurecimento da legislação ambiental e da fiscalização deu o primeiro impulso, ainda nos anos 70 e 80, para que as indústrias começassem a tratar seus efluentes líquidos. Assim grandes consumidores de água como os setores coureiro-calçadista, petroquímico, têxtil e de papel e celulose passaram a construir enormes ETEs para garantir a despoluição das águas residuais antes de devolvê-las aos rios. Atuava-se dentro do conceito de tecnologia de fim-de-tubo – ou seja, tratar o efluente líquido na ponta final do processo.

Com a progressiva ampliação da produção e aumento nos preços dos produtos químicos para tratar os efluentes, as grandes indústrias perceberam que precisavam agir dentro de seus processos, de forma a usar sempre menos água e, assim, reduzir os volumes de efluentes a serem tratados. Nessa época, nos anos 90, entrou em cena o conceito de tecnologias limpas, baseado essencialmente no esforço de modificar os processos para diminuir o uso de matérias-primas e insumos naturais como água e energia (*op. cit.*).

Em uma indústria têxtil, os diferentes processos de produção geram efluentes líquidos. O somatório desses efluentes é levado para a estação de tratamento da indústria e resulta em um lodo biológico que apresenta, em sua composição, parte das substâncias utilizadas nos processos (GUARATINI & ZANONI, 2000).

O processo é gerador de grande quantidade de despejos altamente poluidores, contendo elevada carga orgânica, cor acentuada e compostos químicos tóxicos ao homem e ao meio ambiente (SELCUK, 2005). Caracterizam-se por não ser biodegradáveis e também resistentes à destruição por métodos de tratamento físicoquímico. A não biodegradabilidade dos efluentes têxteis se deve ao alto conteúdo de corantes, surfactantes e aditivos que geralmente são compostos orgânicos de estruturas complexas (LEDAKOWICZ & GONERA, 1999).

Os resíduos resultantes da composição dos despejos das várias seções eram, principalmente, os compostos orgânicos, como, amidos, dextrina, gomas, glucose, graxas, pectina, alcoois, ácido acético, sabões e detergentes, e compostos

inorgânicos, como, hidróxido de sódio, carbonato, sulfato e cloreto (BRAILE, 1979).

A principal origem dos efluentes gerados pelas indústrias têxteis é proveniente dos processos de lavagem ou alvejamento das fibras, do tingimento, e do acabamento. Dado o grau de variedade de fibras, corantes, auxiliares e produtos de acabamento em uso, esses processos geram efluentes de grande complexidade e diversidade química (VANDEVIVERE *et al.*, 1998).

Os poluentes da indústria têxtil apresentam-se em elevadas concentrações que, associado a grandes vazões, proporcionam ao efluente uma carga considerável de difícil tratamento. Geralmente os poluentes resultantes da indústria têxtil são orgânicos e solúveis (LEÃO, 2002). Os tratamentos de efluentes aquosos industriais, baseados em processos biológicos de degradação, são os mais utilizados para a oxidação de poluentes orgânicos. Isso se deve a características como baixo custo e possibilidade de tratar grandes volumes (BERTAZZOLI, 2002).

A carga orgânica dos despejos pode ser removida por processos de tratamento biológicos convencionais, como por exemplo, os sistemas de lodos ativados, que é muito utilizado neste tipo de indústria, com boa eficiência para essa finalidade (TUNUSSI & SOBRINHO, 2002).

Como características gerais os efluentes têxteis apresentam pH variando entre 8 – 11, uma turbidez coloidal acinzentada, a cor depende do corante usado com predominância; o teor de sólidos totais varia de 1.000 a 1.600 mg/ L; a DBO de 200 – 600 mg O₂ /L; a alcalinidade total de 300 – 900 mg/L; o teor de sólidos em suspensão de 30 – 50 mg/ L; e o teor de cromo, as vezes, e superior a 3 mg/ L (SOTTORIVA, 2006).

3.4 NITROGÊNIO

Dentro do ciclo do seu ciclo na biosfera, o nitrogênio altera-se entre várias formas e estados de oxidação (combinação com o oxigênio). No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas químicas: (a) nitrogênio molecular (N₂) em equilíbrio entre a água e a atmosfera; (b) nitrogênio orgânico (dissolvido e em suspensão); (c) nitrito (NO₂⁻); (d) nitrato (NO₃⁻) e (e) nitrogênio amoniacal (NH₃ mais NH₄⁺), sendo que esta última forma surge da decomposição de proteínas, clorofilas e vários outros compostos biológicos nitrogenados (VON SPERLING, 1996).

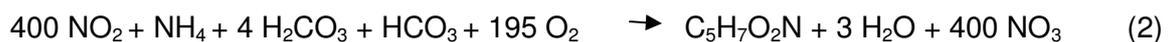
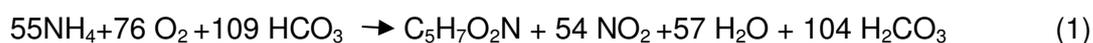
O fósforo e o nitrogênio são essenciais para o crescimento das plantas e dos protozoários e são conhecidos como nutrientes e bio-estimulantes na natureza. Outros elementos também são encontrados, como o ferro por exemplo, mas os dois já citados são os mais importantes. Como o nitrogênio é essencial na síntese da proteína, seu monitoramento é importante no tratamento de efluentes por processo biológico.

O nitrogênio total é composto de nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato. O nitrogênio orgânico é determinado pelo método Kjeldahl. Durante a etapa de digestão deste método, o nitrogênio orgânico é transformado em amônia (VON SPERLING, 1996).

A amônia pode estar presente naturalmente em águas superficiais ou subterrâneas, sendo que usualmente sua concentração é bastante baixa devido à sua fácil absorção por partículas do solo ou à oxidação a nitrito e nitrato. Entretanto, a ocorrência de concentrações elevadas pode ser resultante de fontes de poluição próximas, bem como da redução de nitrato por bactérias ou por íons ferrosos presentes no solo (ALABURDA & NISHIHARA, 1998).

Um processo biológico aeróbio, onde ocorre a oxidação da amônia a nitrato, denominada nitrificação, seguida por uma etapa anóxica, onde o nitrato deve ser reduzido a nitrogênio molecular, que é liberado para a atmosfera, em um processo chamado desnitrificação (ISOLDE, 2005).

A conversão de amônia em nitrito, que é um produto intermediário, envolve uma série complexa de reações, nas quais a equação (1) descreve a transformação da amônia para nitrito sob a ação de bactérias *Nitrosomonas* e, a equação (2) resume a conversão de nitrito para nitrato sob a ação de bactérias *Nitrobacter* (METCALF & EDDY, 1991).



A redução biológica de nitrato pode ser assimilatória ou dissimilatória. Quando é assimilatória envolve a redução do nitrato a nitrito e então a amônia, que é utilizada para a síntese celular. Esta redução é regulada pela quantidade de amônia no meio e é comum nos casos onde o nitrato é a única fonte de nitrogênio. Plantas,

fungos, algas e algumas bactérias facultativas são capazes de realizar este processo (ISOLDE, 2005).

A desnitrificação, propriamente dita, é a redução do nitrato em condições anóxicas onde bactérias utilizam nitrato, em vez de oxigênio, como aceptor final de elétrons, sendo chamada redução biológica dissimilatória. Dois tipos de reação caracterizam este processo: na primeira reação, o nitrato é reduzido a nitrito, o qual é depois reduzido a produtos gasosos como: nitrogênio molecular ou óxido nitroso, em um processo também chamado respiração do nitrato. A reação abaixo caracteriza o processo de desnitrificação (METCALF & EDDY, 1991):

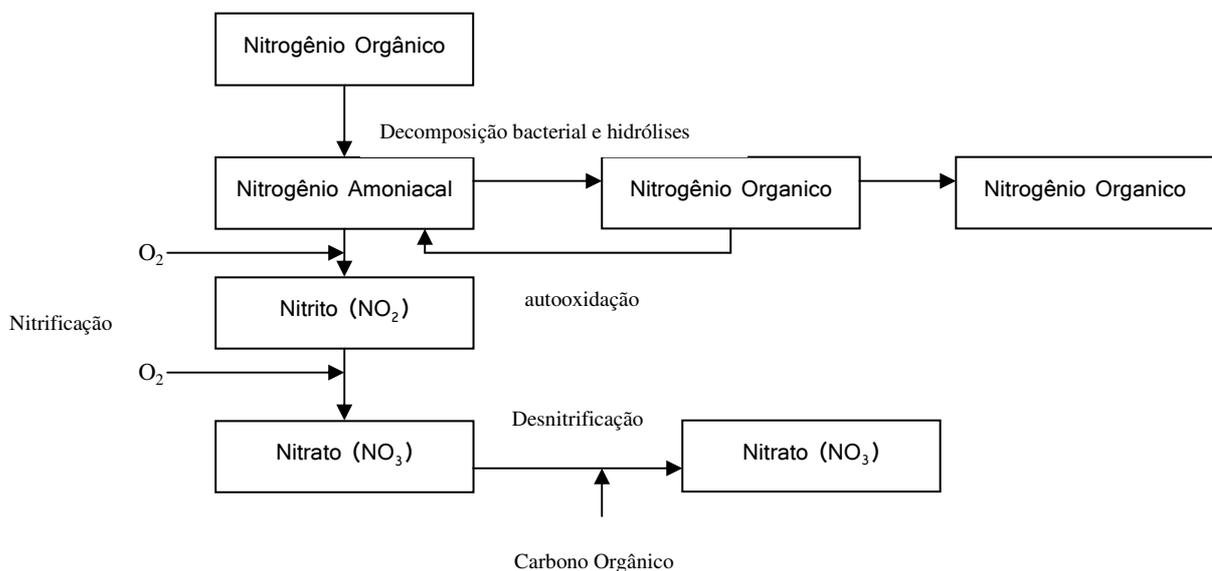


FIGURA 1 – Transformação do nitrogênio no processo de tratamento biológico

Fonte: Metcalf e Eddy, 1991.

3.5 TECNOLOGIAS DE TRATAMENTO DE EFLUENTES TÊXTEIS

O segmento industrial gera, em todo o mundo, milhões de toneladas de rejeitos na forma de efluentes líquidos a cada ano. A procedência desses despejos é decorrente de perdas inerentes ao processamento de insumos, da geração de rejeitos indesejáveis, de ações de manutenção, da fabricação de produtos fora de especificação e eventualmente até de incidentes industriais (SILVA E KULAY *apud* REBOUÇAS *et al.*, 2006).

As ações de controle compõem-se de técnicas que visem minimizar os efeitos adversos dos despejos antes de sua disposição no ambiente. As ações de controle são classificadas em três subgrupos: métodos físicos, métodos físico-químicos e métodos biológicos (REBOUÇAS *et al.*, 2006).

Os métodos biológicos de tratamento gozaram de grande expansão no Brasil, nas últimas duas décadas, após demonstrar avanços significativos em termo de desempenho, no que se refere a seus efeitos purificadores. Seu princípio de funcionamento baseia-se na otimização artificial e controlada da biodegradação de matéria orgânica, a que o efluente acaba sendo submetido naturalmente, ao ser disposto em qualquer corpo receptor. Os métodos biológicos empregados para o tratamento de efluentes industriais podem ser subdivididos, segundo a necessidade de oxigênio, em dois grupos principais: digestão aeróbia e digestão anaeróbia (SILVA E KULAY *apud* REBOUÇAS *et al.*, 2006).

Ainda segundo o autor (*op. cit.*), nos processos de digestão anaeróbia, a matéria orgânica presente na corrente de efluentes decompõe-se por ação microbiológica na presença de ar, em dióxido de carbono e água. Qualquer processo integrante dessa classe de tratamentos se inicia com a preparação de um meio de cultura com organismos que, para exercerem as funções orgânicas de digestão e multiplicação, consomem oxigênio. Assim o desenvolvimento dessa etapa demanda a utilização de dispositivos mecânicos de aeração.

Os organismos anaeróbios mais comumente empregados por essa classe de tratamentos são as bactérias, muito embora façam parte do mesmo sistema e, portanto, da cadeia alimentar, de outras espécies, tais como as rotíferas e os protozoários. Dentre os métodos conhecidos de digestão aeróbia, encontram-se mais difundidos para o tratamento de efluentes industriais, as técnicas de bacias de aeração, os filtros biológicos e as lagoas aeradas (*op. cit.*).

Os tratamentos de efluentes industriais envolvem processos necessários à remoção de impurezas geradas na fabricação de produtos de interesse. Os métodos de tratamento estão diretamente associados ao tipo de efluente gerado, ao controle operacional da indústria e às características da água utilizada (CRESPILO, SANTANA & REZENDE, 2004).

Em geral, na indústria têxtil os processos de tratamento estão fundamentados na operação de sistemas físico-químicos de precipitação-coagulação, seguidos de

tratamento biológico via sistema de lodos ativados. O sistema apresenta uma eficiência relativamente alta, permitindo a remoção de aproximadamente 80% da carga de corantes (KUNZ *et al.*, 2002).

A clássica combinação de processos biológicos de tratamento com processos físico-químicos se dá quando este é empregado a jusante do processo biológico de tratamento, podendo, inclusive, ser um processo biológico anaeróbio ou aeróbio. Quando o processo físico-químico é empregado a jusante de processos biológicos aeróbios, é denominado processo terciário de tratamento e a sua principal função é a remoção de fósforo unicamente, uma vez que a remoção de carga orgânica já ocorreu de forma satisfatória no processo biológico aeróbio. Quando o processo físico-químico é implantado a jusante de processos anaeróbios de tratamento, objetiva-se garantir não somente a remoção de fósforo, mas também efetuar um polimento da qualidade do efluente do processo biológico, dado que a remoção de carga orgânica unicamente por processos anaeróbios de tratamento é limitada em torno de 60 a 70% da carga orgânica afluyente ao sistema de tratamento, o que impede que o efluente de processos anaeróbios de tratamento possam ser lançados em corpos receptores (FERREIRA, 2009).

Os sistemas de tratamento de esgotos por lodos ativados são os mais amplamente empregados no mundo todo, principalmente pela alta eficiência alcançada associada à pequena área de implantação requerida, quando comparado a outros sistemas de tratamento biológico. O princípio do processo baseia-se na oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e inorgânicos presentes nos esgotos, mediada por uma população microbiana diversificada e mantida em suspensão num meio aeróbio. A eficiência do processo depende, dentre outros fatores, da capacidade de flocculação da biomassa ativa e da composição dos flocos formados (BENTO, 2005).

3.6 PROCESSO DE TRATAMENTO DE EFLUENTES POR LODOS ATIVADOS

Dentre os vários tipos de reatores que podem ser utilizados em tratamento de efluentes destacam-se: reator batelada, reator de mistura perfeita (em inglês chamado de *constant flow stirred tank reactor* - CSTR), reator de escoamento

pistonado (em inglês é conhecido como *plug flow reactor*, também conhecido como reator tubular), dentre outros (METCALF & EDDY, 2003).

Os reatores podem ser utilizados em tratamento de efluentes por lagoas aeradas além de tratamento de efluentes por lodos ativados, também conhecidos como cultura suspensa (*op. cit.*)

O processo de lodos ativados data do início dos anos 1880 resultado do trabalho do Dr. Angus Smith, na Inglaterra, que investigou a aeração em tanques de tratamento de efluentes e a aceleração da oxidação da matéria orgânica (METCALF & EDDY, 2003, p. 661). Além dos estudos do Dr. Smith outros pesquisadores também foram considerados os pioneiros nos estudos de lodos ativados, o Dr. Gilbert John Fowler, em Manchester, Inglaterra, em 1897, e os experimentos norte-americanos na Estação Experimental de Lawrence, de Clark e Gauge, em 1912 (JORDÃO & PESSÔA, 1995).

Foi a partir de uma visita de Fowler em 1912, ao centro de Lawrence, que o pesquisador inglês decide usar nos seus experimentos uma cultura de biomassa suspensa. Em 1914 dois discípulos de Fowler, Andern e Lockett, em uma apresentação técnica defendem o princípio de que o “húmus” sólido deverá ser preservado, ao invés de descartado, sendo essa a grande inovação apresentada, que modificaria os conceitos até então aplicados (*op. cit.*).

Amplamente utilizado a nível mundial, o sistema de lodos ativados é empregado para o tratamento de despejos domésticos e industriais, em situações que são necessários uma elevada qualidade do efluente e reduzidos requisitos de área (VON SPERLING, 2002). “No entanto, o sistema de lodos ativados inclui um índice de mecanização superior ao de outros sistemas de tratamento, implicando em uma operação mais sofisticada e em maiores consumos de energia elétrica” (*op. cit.*).

Jordão e Pessôa (1995), atribuem o seguinte conceito ao processo de lodos ativados:

No processo de lodos ativados o esgoto afluente e o lodo ativado são intimamente misturados, agitados e aerados (em unidades chamadas tanques de aeração), para logo após separar os lodos ativados do esgoto tratado (por sedimentação em decantadores). O lodo ativado separado retorna para o

processo ou é retirado para tratamento específico ou destino final, enquanto o esgoto já tratado passa para o vertedor do decantador no qual ocorreu a separação.

Por definição, o processo de tratamento de lodos ativados consiste de três componentes básicos, abaixo citados, segundo Metcalf e Eddy (2003) e Von Sperling, (2002), quais sejam:

1. O reator, nos quais os microrganismos responsáveis pelo tratamento (remoção da matéria orgânica e, em determinadas condições, da matéria nitrogenada) são mantidos em suspensão e aerados;
2. Separação sólido-líquido, usualmente realizado em tanque de sedimentação, denominado decantador secundário. No decantador secundário ocorre a sedimentação dos sólidos (biomassa), permitindo que o efluente final saia clarificado; e,
3. Um sistema de retorno dos sólidos ao reator. Os sólidos sedimentados no fundo do decantador secundário são recirculados para o reator, aumentando a concentração de biomassa no mesmo, o que é responsável pela elevada eficiência do sistema.

Uma das características do tratamento é a elevada necessidade de oxigênio dos flocos, sendo necessário suprir oxigênio ao processo, por absorção forçada da atmosfera ou por injeção de ar no meio líquido (JORDÃO & PESSÔA, 1995).

A elevada eficiência do sistema de tratamento por lodos ativados é devida ao retorno do lodo. Quanto a essa característica do tratamento Jordão e Pessoa (1995) expõem:

A quantidade de floco, naturalmente presente, é relativamente pequena, sendo necessários um tempo muito longo e um volume de tanque muito grande, para tornar efetivo o processo em condições naturais. Por esta razão se mantém nos tanques de aeração uma concentração elevada de flocos, através do retorno contínuo do lodo do decantador secundário aos tanques de aeração.

Numerosos processos e configurações têm envolvido os três componentes básicos, citados anteriormente, dos processos de lodos ativados. Essas modificações nas configurações dos lodos ativados têm ocorrido recentemente, há cerca de 10 – 20 anos, destinadas, principalmente à remoção eficaz de nitrogênio e fósforo (METCALF & EDDY, 2003). Um exemplo dessas modificações é a utilização da tecnologia das membranas para o tratamento de águas com fins de reutilização e, mais recentemente, para o uso em reatores com biomassa suspensa para tratamento de efluentes (*op. cit.*).

Outra configuração/modificação desenvolvida no processo de lodos ativados são os chamados “processo de câmaras seletoras” ou “seletor”. Os “seletores” são incluídos na cabeceira do tanque de aeração favorecendo uma zona de mistura do esgoto afluente e do lodo ativado recirculado, antes do corpo do principal reator, com condições particulares de aeração e agitação. Esse tipo de modificação tem como característica selecionar a população microbiana não filamentosa, capaz de favorecer as condições de sedimentação do lodo (JORDÃO & PESSÔA, 1995).

Estudos e pesquisas realizados demonstram que os organismos seletores consomem o substrato orgânico (em termos de DQO solúvel, por exemplo) muito mais rápido que os organismos típicos de um sistema de mistura completa convencional [...]. As pesquisas realizadas mostraram que as condições do ambiente na zona inicial da câmara seletora são tais que formam uma sequência em que as bactérias são primeiramente sujeitas a condições de fartura de alimentação (uma elevada relação alimento/microrganismo – A/M), passando em seguida para condições de exaustão (baixa relação A/M no reator principal). Nessas condições o fenômeno seletor ocorre, desenvolvendo nas bactérias seletoras a facilidade de rapidamente acumular o substrato, o que não acontece com os organismos filamentosos [...], minimizando a presença dos organismos geradores do “*bulking*” (*op. cit.*).

Os sistemas de lodos ativados apresentam diversas variantes conforme apresentado na Tabela 01.

Tabela 01 – Descrição das variantes do processo de lodos ativados

| Variantes | Descrição |
|--|---|
| Lodos ativados convencional | A etapa biológica compreende duas unidades: o reator biológico (tanque de aeração) e o decantador secundário. A concentração da biomassa no reator é bastante elevada devido à recirculação dos sólidos (bactérias) sedimentados no fundo do decantador. A biomassa permanece mais tempo no sistema (tempo de retenção dos sólidos é denominado idade do lodo, sendo na ordem de 4 a 10 dias) do que o líquido (tempo de detenção do líquido de 6 a 8 horas), o que garante uma elevada eficiência na remoção da DBO. Há a necessidade de remoção de uma quantidade de lodo equivalente à que é produzida. O fornecimento de oxigênio é feito por aeradores mecânicos ou por ar difuso e a montante do reator há uma unidade de decantação primária, de forma a remover os sólidos sedimentáveis do esgoto bruto. |
| Lodos ativados por aeração prolongada | Similar ao sistema anterior, com a diferença de que a biomassa permanece mais tempo no sistema (com idade do lodo na ordem de 18 a 30 dias). Devido à maior idade do lodo, o reator possui um maior volume, com tempo de detenção hidráulica em torno de 16 a 24 horas. Com isso, há menos substrato (DBO) disponível para as bactérias, o que faz com que elas se utilizem da matéria orgânica do próprio material celular para a sua manutenção. Em decorrência, o lodo excedente retirado já sai estabilizado. |
| Lodos ativados com remoção biológica de nitrogênio | O reator biológico incorpora uma zona anóxica (ausência de oxigênio, mas presença de nitratos). A zona anóxica pode estar a montante e/ou a jusante da zona aerada. Os nitratos formados pela nitrificação que ocorre na zona aeróbia são utilizados na respiração de microrganismos facultativos nas zonas anóxicas, sendo reduzidos a nitrogênio gasoso, o qual escapa para a atmosfera. |
| Lodos ativados com remoção biológica de nitrogênio e fósforo | Além das zonas aeróbicas e anóxicas, o reator biológico incorpora ainda uma zona anaeróbia, situada na extremidade de montante. Recirculações internas fazem com que a biomassa esteja sucessivamente exposta a condições anaeróbicas e aeróbicas. Com esta alternância, um certo grupo de microrganismos absorve o fósforo do meio líquido, em quantidades bem superiores às que seriam normalmente necessárias para seu metabolismo. A retirada destes organismos com o lodo excedente implica, desta forma, na retirada de fósforo do reator biológico. |

Fonte: VON SPERLING (2005)

Um outro tipo de classificação do processo é em relação a divisão de acordo com o fluxo que pode ser (VON SPERLING, 2005):

Fluxo contínuo: Nessa divisão, estão inseridos os processos de lodos ativados convencional (sistemas de carga convencional) e aeração prolongada (sistemas de baixa carga), em que a entrada e a saída do efluente do reator é contínuo.

Fluxo intermitente (batelada): A operação do processo de tratamento de lodos ativados de fluxo intermitente é também denominada de reator seqüencial em batelada (RSB). O princípio do processo consiste na incorporação de todas as unidades como, a decantação primária, a oxidação biológica, a decantação secundária e o bombeamento do lodo em um único reator. Esses processos e operações passam a ser seqüências no tempo, e não unidades separadas, como ocorrem nos processos convencionais de fluxo contínuo.

O processo de lodos ativados com fluxo intermitente pode ser utilizado tanto na modalidade convencional quanto na de aeração prolongada.

O processo consiste em um reator de mistura completa onde ocorrem todas as etapas do tratamento, obtido através do estabelecimento de ciclos de operação com durações definidas. A massa biológica permanece no reator durante todos os ciclos, eliminando dessa forma a necessidade de decantadores separados. Os ciclos que compõem esse processo são: enchimento (entrada de efluente bruto no reator), reação (aeração/mistura da massa líquida contida no reator), sedimentação (sedimentação e separação dos sólidos em suspensão do efluente tratado), esvaziamento (retirada do efluente tratado do reator) e repouso (ajuste de ciclos e remoção do lodo excedente).

A duração de cada etapa do ciclo pode ser alterada em função das variações da vazão afluyente, das necessidades do tratamento e das características do efluente e da biomassa no sistema. O descarte do lodo excedente geralmente ocorre

durante o último ciclo (repouso). A quantidade e a frequência de descarte do lodo são estabelecidas em função dos requisitos de desempenho, da mesma forma que nos processos convencionais de fluxo contínuo.

Normalmente, a estação tem dois ou mais reatores de batelada operando em paralelo, cada um em diferentes etapas do ciclo operacional. Em sistemas que recebem vazão ao longo de todas as horas do dia, como no caso de efluentes domésticos, esta necessidade é imperiosa, já que o reator em sedimentação, por exemplo, não recebe afluente.

A remoção biológica de nutrientes e carbono em bioreatores à membrana, pode ocorrer por meio de diversas opções, dentre elas, o sistema de biomassa suspensa, etapas alternadas (aeróbico – anóxico) e processo bio-denitro dentre outros (FATONE *et al.*, 2008; BATTISTONI *et al.*, 2003).

Na tecnologia de ciclos alternados, os estágios aeróbicos e anóxicos ocorrem em um único reator, este processo constitui uma solução ideal enquanto combina a confiabilidade do sistema à economia de energia quando existe o controle automático local e remoto em modo de adequar o processo à variabilidade hidráulica e de carga mássica à montante da estação de tratamento de águas residuárias (SANTORO, 2005).

4. METODOLOGIA

4.1 CARACTERIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

Neste estudo foram avaliados alguns parâmetros do efluente tratado em uma estação de tratamento por lodo ativado de uma indústria têxtil no período de outubro de 2008 a março de 2009, sendo realizado em escala industrial. A empresa está localizada em Joinville, Santa Catarina (Figura 02) e produz 1.000 toneladas/mês de produtos das linhas de cama, mesa, banho e decoração.

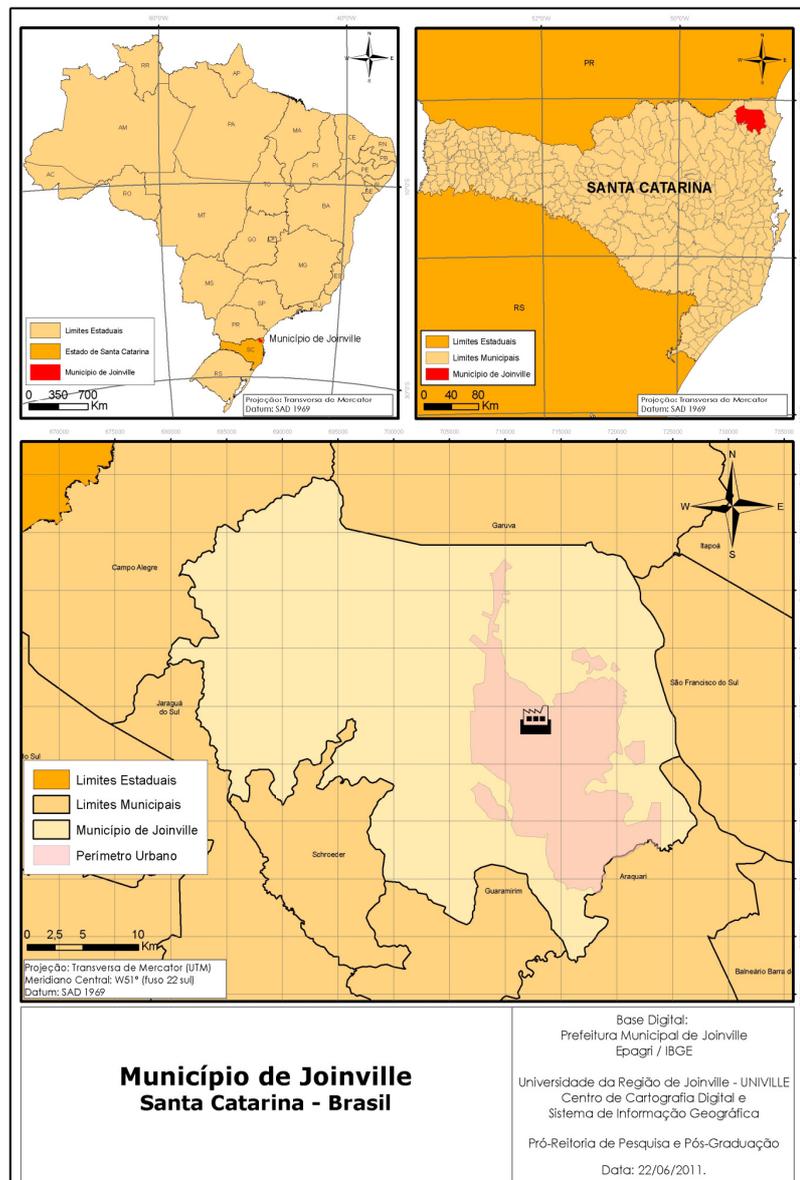


FIGURA 02: Localização da área de estudo.

Fonte: Laboratório de cartografia digital da UNIVILLE (2011).

O sistema de tratamento de efluente da empresa em questão é por lodos ativados com aeração prolongada com taxa de recirculação de lodo ativado de 100% e possui uma capacidade para tratar 250 m³/hora.

Devido a grande diversidade de produtos e processos fabris, o efluente gerado é muito inconstante quanto as concentrações de pH, cor, temperatura, turbidez, teor de sólidos, DBO, DQO, nitrogênio e oxigênio. Isto ocorre devido a sazonalidade da indústria têxtil e do mercado em geral.

Como citado anteriormente, a indústria têxtil utiliza água como um dos principais veículos nos processos de industrialização dos seus produtos. Os processos industriais que envolvem o consumo de água são o de engomagem, alvejamento, tingimento, lavagem, estamparia, caldeiras e esgoto sanitário.

O volume de efluente gerado é de aproximadamente 152 m³/hora, sendo todo ele tratado na estação de tratamento. Os processos de tratamento compreendem a etapa de equalização em tanques com aeradores de superfície, onde ocorre a estabilização do pH e a redução da temperatura. Após a etapa de equalização, o tratamento é realizado em um processo físico-químico seguido de um biológico, conforme Figura 03.

As primeiras etapas do processo são as de gradeamento (Figura 04), filtro rotativo (Figura 05) e peneira hidroestática (Figura 06). Estas etapas são para separar os sólidos grosseiros a fim de evitar a obstrução ou danos nos processos subsequentes.

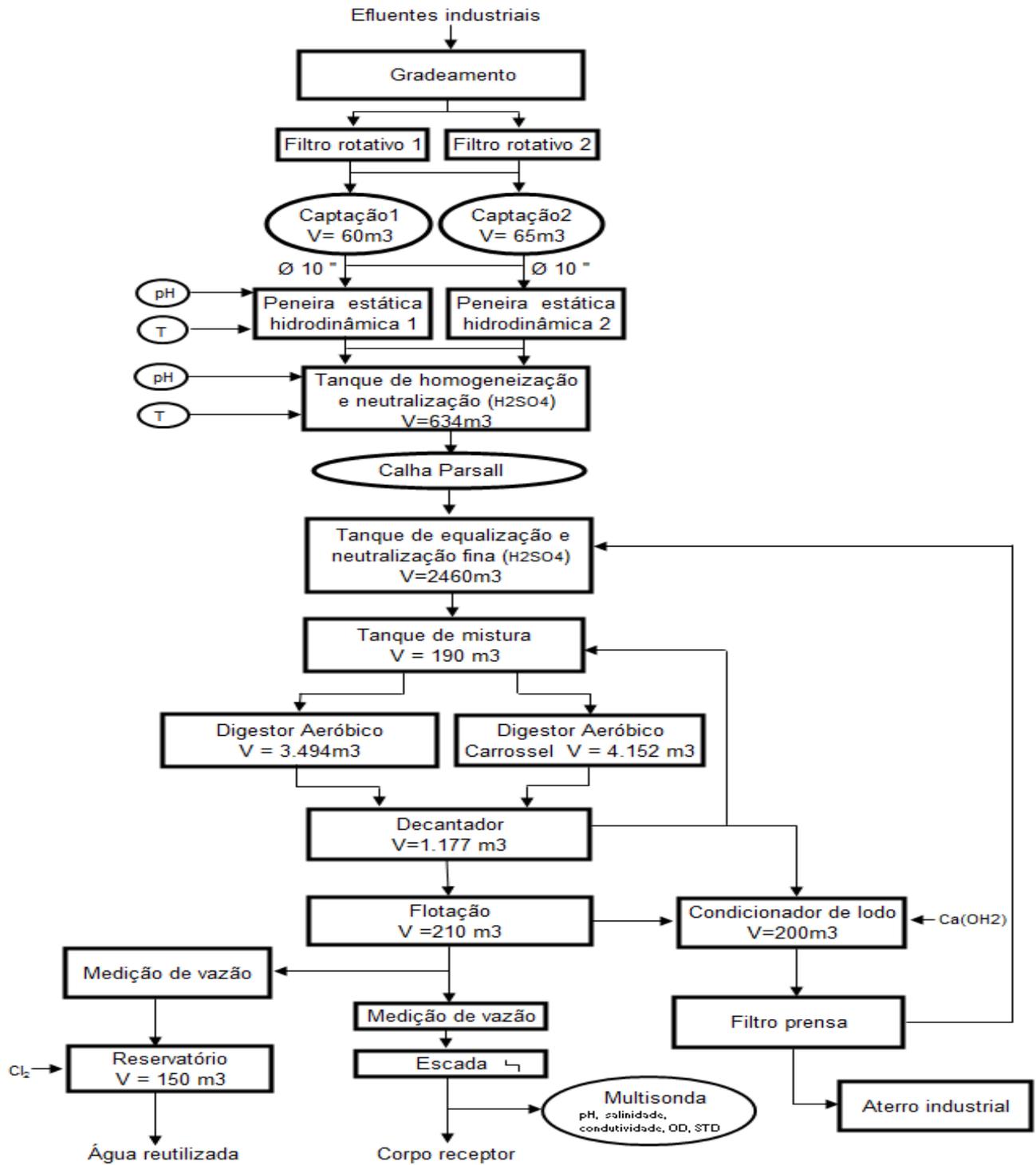


FIGURA 03: Fluxograma da ETE



Figura 04: Filtro Rotativo.



Figura 05: Gradeamento.



Figura 06: Peneira Hidrostática

Nos tanques de homogeneização (Figura 07), equalização e neutralização (Figura 08) ocorrem as fases de acerto do pH, precipitação química e oxi-redução, respectivamente. O acerto do pH garante a funcionalidade do processo biológico. A precipitação química objetiva a clarificação do efluente visto que está uma característica importante.



Figura 07: Tanque de Homogeneização.



Figura 08: Tanque de Equalização e Neutralização.

No tanque de mistura (Figura 09) e digestores aeróbios (Figuras 10 e 11) ocorre a etapa do tratamento biológico. Nesta fase do tratamento obtém-se a estabilização e redução da DBO, DQO e das formas de nitrogênio.



Figura 09: Tanque de Mistura.



Figura 10: Digestor aeróbio CARROSSEL.



Figura 11: Digestor aeróbio.

Após os processos de decantação (Figura 12) e flotação (Figura 13), onde ocorre a remoção do fósforo, o efluente tratado é lançado no corpo receptor.



Figura 12: Decantador.



Figura 13: Flotador.

A característica do efluente gerado no processo produtivo é inconstante. Os processos de beneficiamento variam de acordo com a característica do produto a ser produzido. Como a diversidade de processos e produtos é elevada, o tratamento do efluente torna-se difícil, necessitando de ajustes constantes.

A quantidade de água tratada que é reutilizada no processo produtivo corresponde a 25% do total de efluente tratado nas estações de tratamento.

4.2 Descrição e análise do processo antes da modificação no ano de 2008

Este estudo foi realizado no sistema de tratamento biológico da estação de tratamento de efluentes por lodo ativado avaliando os pontos de entrada e de saída do fluxo hidráulico.

O sistema de tratamento é composto por três tanques de aeração. Conforme a Figura 14, pode-se observar que os tanques 01 e 02, que possuem aeradores submersos de membrana, trabalham em paralelo com o tanque 03, que possui aerador submerso de membrana e sistema de circulação mecânico. Os tanques 01 e 02 trabalham com uma vazão de 82.800 m³/mês e o tanque 03 com uma vazão de 55.200 m³/mês. O tempo de detenção hidráulica no sistema biológico é de aproximadamente 30 horas.

Após a passagem no sistema de aeração, todo efluente é despejado no sistema de decantação. O lodo que é decantado recircula para o sistema e a água segue para o sistema de tratamento físico-químico.

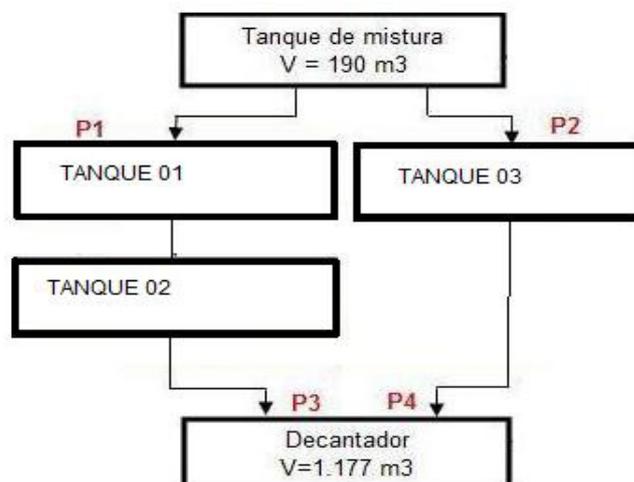


FIGURA 14: Fluxo antigo do sistema – Tanques Dispostos em Paralelo

Para realização do estudo foram determinados 04 pontos de coletas de amostras compostas nas entradas e saídas dos tanques de aeração, conforme Figura 14. O efluente sai do tanque de mistura e entra nos sistemas (tanques) de aeração nos pontos P1 e P2, conforme as proporções já citadas. Os pontos P3 e P4 são os pontos de saídas do efluente para o decantador.

As amostras foram coletadas semanalmente nos meses de outubro a dezembro de 2008. Após a coleta das amostras, as mesmas foram encaminhadas para análise laboratorial dos seguintes parâmetros, conforme metodologia estabelecida no *Standard Methods* (CLESCERL *et al.*, 1999):

- DQO
- Nitrito
- Nitrato
- Nitrogênio amoniacal
- OD
- pH
- Temperatura
- Teor de Sólidos (SST, SV e STD).

Todos os resultados das análises dos parâmetros obtidos foram armazenados em uma planilha do EXCEL e acompanhados.

4.3 Realização da modificação no processo no ano de 2009

A partir do ano de 2009, foram realizadas alterações na estação de tratamento biológico quanto ao fluxo hidráulico do efluente. Os tanques de aeração que estavam trabalhando em paralelo foram dispostos em sequência, a fim de aumentar o tempo de detenção hidráulica do efluente no sistema biológico, conforme demonstrado na Figura 15.

Com a modificação do sistema, o tempo de detenção passou a ser de 60 horas.

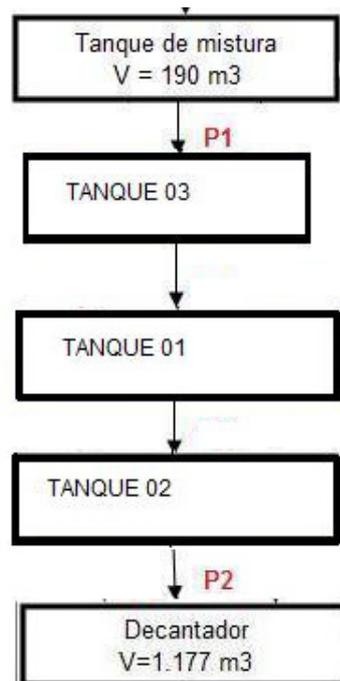


FIGURA 15: Novo fluxo do tratamento biológico – Tanques Dispostos em Sequência.

Para analisar os parâmetros referentes ao novo sistema, novos pontos de coleta foram estabelecidos na entrada (P1) e na saída (P2). As amostras foram coletadas semanalmente no período de janeiro a março de 2009. Os parâmetros analisados foram os mesmos utilizados para avaliação do sistema com fluxo antigo, os resultados obtidos foram armazenados em uma planilha do EXCEL e comparados com os dados obtidos das medições realizadas no sistema com o fluxo hidráulico anteriormente configurado.

4.4 Comparação e análise dos resultados

Os resultados dos parâmetros analisados serão apresentados a seguir através de gráficos de curvas e tabelas do EXCEL, levando-se em consideração os valores médios, os máximos, os mínimos e os desvios padrões.

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

As séries de dados apresentados nas Tabelas 02 e 03 representam os resultados dos parâmetros analisados das amostras coletadas nas entradas e saídas do sistema novo e antigo da estação de tratamento biológico respectivamente.

Tabela 2 – Resumo dos parâmetros de entrada da estação de tratamento no sistema antigo e do sistema novo.

| ENTRADA | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------|-----|--------|--------|--------|--------|
| | DQO (mgO ₂ /L) | NO ₂ (mg/L) | NO ₃ (mg/L) | N-NH ₃ (mg/L) | OD (mg/L) | pH | T (°C) | SST | SV | S.SED. |
| MED | 267,4 | 99,4 | 15,8 | 10,3 | 2,7 | 7,9 | 26,8 | 3301,3 | 2246,1 | 304,6 |
| MAX | 467,0 | 226,0 | 40,0 | 16,3 | 5,0 | 9,3 | 29,5 | 4286,7 | 2862,5 | 630,0 |
| MIN | 80,0 | 9,0 | 2,4 | 1,3 | 0,8 | 7,6 | 19,0 | 2012,5 | 1472,5 | 150,0 |
| DESV | 70,1 | 42,6 | 11,9 | 3,0 | 1,3 | 0,5 | 3,2 | 512,5 | 343,0 | 124,9 |
| FLUXO ANTIGO | | | | | | | | | | |
| MED | 249,7 | 58,0 | 33,6 | 3,6 | 1,6 | 7,8 | 29,1 | 4659,7 | 2953,7 | 237,5 |
| MAX | 524,0 | 131,0 | 100,0 | 8,2 | 2,6 | 8,1 | 32,0 | 5496,7 | 3966,7 | 390,0 |
| MIN | 112,0 | 7,0 | 2,7 | 1,0 | 1,0 | 7,4 | 27,0 | 4113,3 | 1920,0 | 30,0 |
| DESV | 113,7 | 38,4 | 36,3 | 2,1 | 0,4 | 0,2 | 1,2 | 393,9 | 551,0 | 96,7 |
| FLUXO NOVO | | | | | | | | | | |

Tabela 3 – Resumo dos parâmetros de saída da estação de tratamento no sistema antigo e do sistema novo.

| SAIDA | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------------------|------------------------|------------------------|-----------------------------|-----------|-----|--------|---------|--------|--------|
| | DQO (mgO ₂ /L) | NO ₂ (mg/L) | NO ₃ (mg/L) | N-NH ₃ (mg/L) | OD (mg/L) | pH | T (°C) | SST | SV | S.SED. |
| MED | 215,9 | 59,6 | 15,2 | 4,3 | 3,0 | 7,8 | 27,0 | 3900,8 | 2667,4 | 316,7 |
| MAX | 500,0 | 162,0 | 37,2 | 13,1 | 5,0 | 8,9 | 29,5 | 4316,7 | 3130,0 | 635,0 |
| MIN | 93,0 | 3,0 | 3,0 | 0,7 | 0,9 | 7,5 | 19,0 | 3327,5 | 2217,5 | 130,0 |
| DESV | 90,0 | 45,2 | 9,5 | 2,2 | 1,2 | 0,3 | 3,4 | 300,1 | 299,9 | 155,0 |
| FLUXO ANTIGO | | | | | | | | | | |
| MED | 179,5 | 56,4 | 33,2 | 1,0 | 2,8 | 7,8 | 28,7 | 6461,7 | 3977,7 | 362,0 |
| MAX | 312,0 | 191,0 | 81,0 | 1,6 | 4,8 | 8,0 | 31,0 | 10706,7 | 5883,3 | 510,0 |
| MIN | 100,0 | 11,0 | 3,6 | 0,3 | 1,8 | 7,5 | 26,0 | 3816,7 | 1640,0 | 230,0 |
| DESV | 65,3 | 50,1 | 29,1 | 0,3 | 0,8 | 0,1 | 1,3 | 1955,3 | 1342,0 | 88,3 |
| FLUXO NOVO | | | | | | | | | | |

De modo geral, é percebido que após a alteração do fluxo do sistema hidráulico na estação de tratamento de efluentes, o sistema ficou mais estável.

A seguir, os parâmetros de maior relevância serão analisados individualmente.

5.1 DQO

A Figura 16 apresenta os valores de DQO de entrada no sistema considerando os fluxos novo e antigo. Devido a grande diversidade de processos e grande variedade de produtos adicionados a estes processos, a característica do efluente gerado costuma ser muito inconstante em relação as características físico,

química e biológica.

O valor médio total de entrada de DQO no tanque de equalização (Tabela 02) do sistema de tratamento de efluentes é de 900 mgO₂/L. Hassemer e Sens (2002), em trabalho realizado com efluente têxtil, apresentaram valores de DQO da ordem de 961 mgO₂/L.

Do tanque de equalização ao tanque de aeração, a DQO do efluente gerado é reduzida para valores médios de 200 mgO₂/L, tanto no sistema novo quanto no sistema antigo.

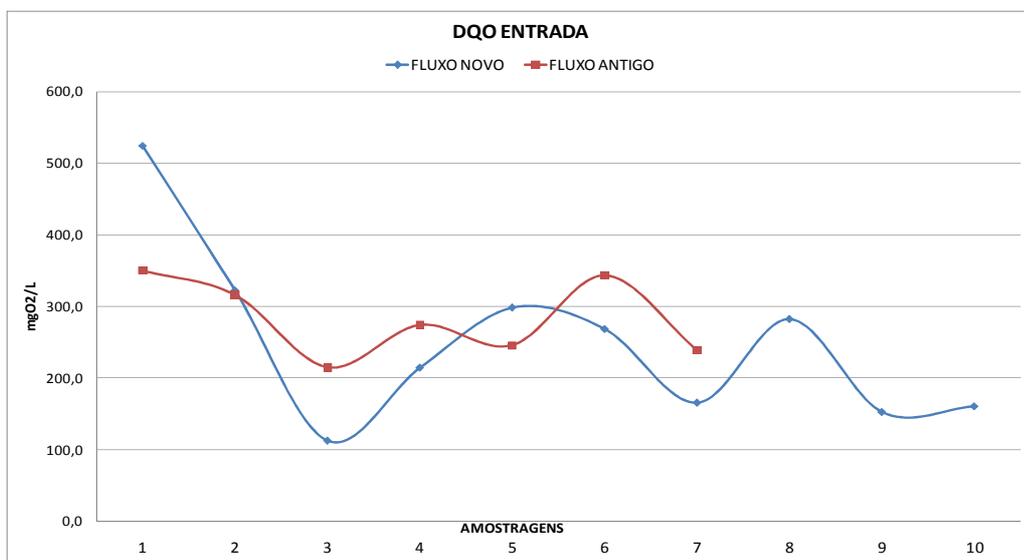


FIGURA 16: Concentração de entrada do parâmetro DQO.

Na Figura 17 a seguir, observa-se os valores de saída da DQO considerando o sistema antigo e novo. Observa-se que as curvas dos valores de DQO de saída no sistema antigo e no sistema novo são similares em relação as variações. De acordo com a tabela 03, obtem-se que o valor médio da DQO de saída no fluxo antigo que era de 215,9 mgO₂/L reduziu para 179,5 mgO₂/L após a modificação no sistema. Tunussi e Sobrinho (2002), apresentaram valores semelhantes de DQO de saída em um sistema UASB seguido de lodo ativado.

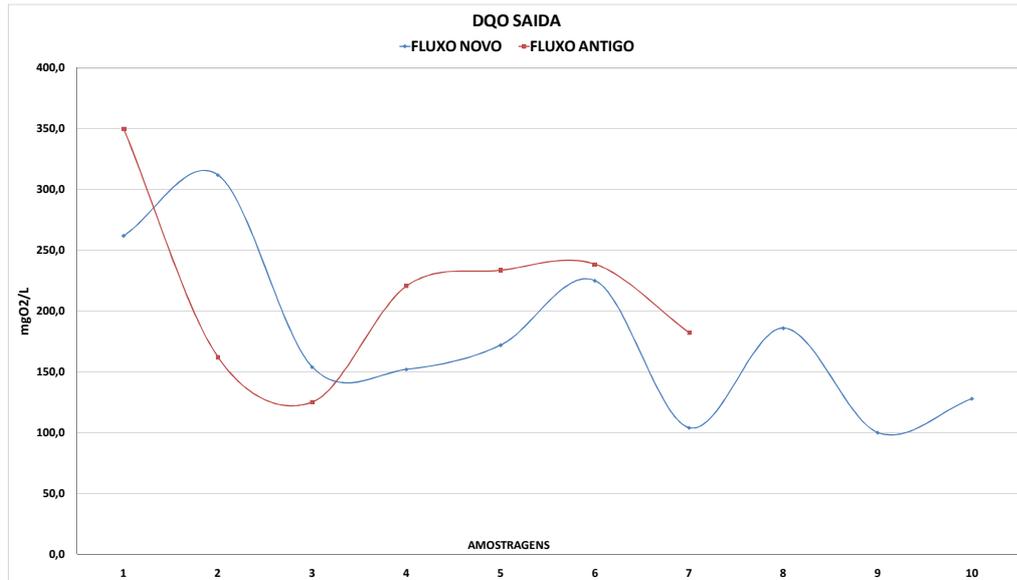


FIGURA 17: Concentração de saída do parâmetro DQO.

Pode-se observar que houve uma grande variação nos valores em relação à eficiência de remoção da DQO. Para o período monitorado, a eficiência de remoção de DQO que no sistema antigo era de 24%, após alteração do fluxo hidráulico, passou para 32%. Isso poderia estar relacionado ao aumento do tempo de detenção hidráulico no sistema, que passou de 30 para 60 horas. O tempo de detenção é mais longo do que o sistema de lodos ativados de aeração prolongada que, de acordo com Von Sperling (2002), varia entre 16 e 24 horas.

5.2 NITRITO – NO₂

O nitrito no sistema é resultante do processo químico-biológico de nitrificação. Analisando as curvas da Figura 18, percebe-se que os resultados mostram que os dois sistemas, antigo e novo, seguiram a mesma dinâmica em relação aos valores de saída. Analisando as Tabelas 02 e 03 (ver página 34), anteriormente apresentadas, vemos que em relação aos valores de entrada e de saída de ambos os sistemas, o sistema antigo demonstrou valores de redução na concentração de nitrito maiores que o sistema novo.

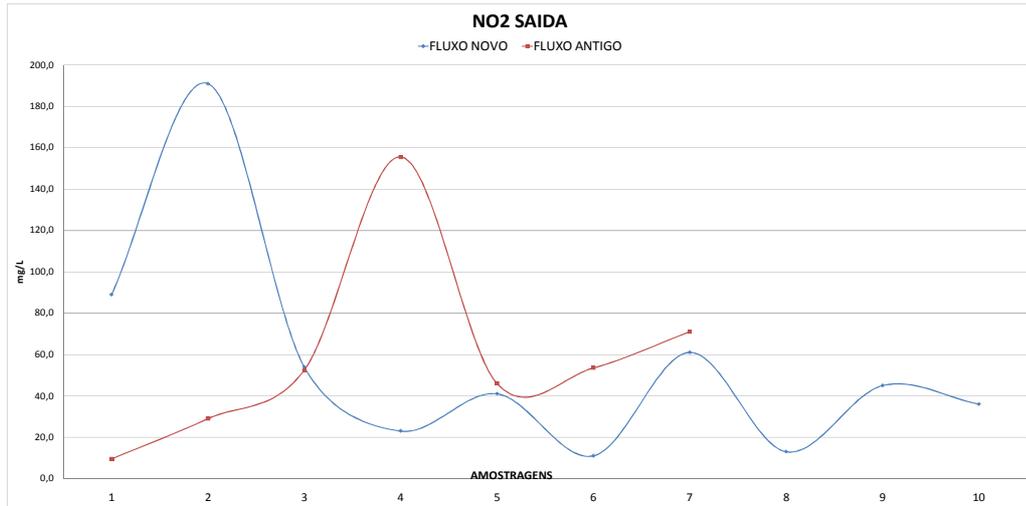


FIGURA 18: Concentração de saída do parâmetro NO₂.

Ainda através das Tabelas 02 e 03 (p. 34), verifica-se que os valores médios de concentração de nitrito na saída do sistema antigo e do sistema novo são bem próximos, mas a média de concentração de nitrito na entrada do sistema antigo é superior a do sistema novo. Isso ocorre devido ao período em que foram realizadas as medições e a característica do efluente industrial têxtil. A eficiência de remoção de nitrito, no sistema antigo chegou a 42%.

Rodrigues (2010) relata que, em um reator aeróbico de leito fixo com adição de sacarose apresentou eficiência de remoção de nutrientes muito significativas. Em relação à remoção de nitrito a eficiência chegou a 90%.

5.3 NITRATO – NO₃

Conforme o gráfico de concentração de saída de NO₃ no sistema novo e no sistema antigo, Figura 19, pode-se notar que os valores de saída nos sistemas antigo e novo não demonstraram significativa alteração em relação às concentrações. De acordo com as Tabelas 02 e 03, não houve variação em relação à eficiência de remoção de nitrato alterando-se o tempo de detenção do sistema, o valor da concentração do nutriente na entrada e na saída do sistema permaneceu, praticamente, inalterado. Sendo que no sistema antigo era de 4% e no novo sistema de 1%.

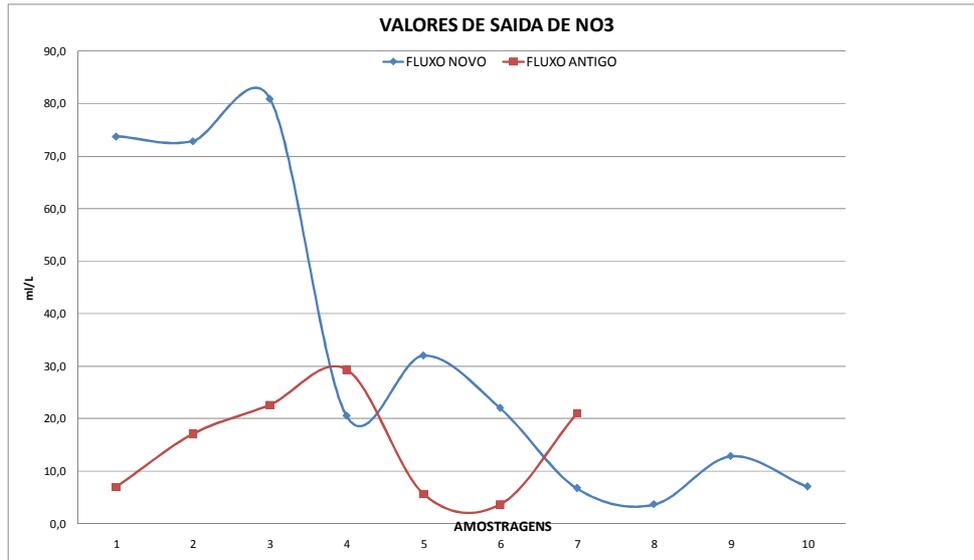


FIGURA 19: Concentração de saída de NO₃ no sistema novo e no sistema antigo.

De acordo com Rodrigues (2010), em um reator aeróbio de leito fixo com adição de sacarose apresentou eficiência de remoção de nutriente muito significativa. Em relação à remoção de nitrato a eficiência chegou a 93%.

5.4 NITROGÊNIO AMONIACAL – N-NH₃

Os resultados obtidos para as análises de Nitrogênio Amoniacal no período estudado são apresentados nas Figuras 20 e 21.

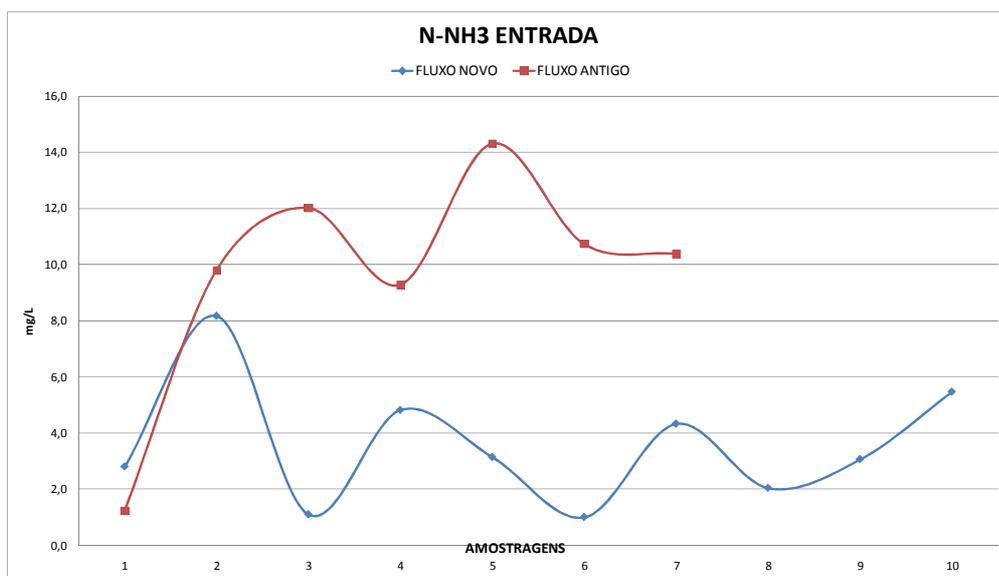


FIGURA 20: Concentração de entrada do parâmetro N-NH₃.

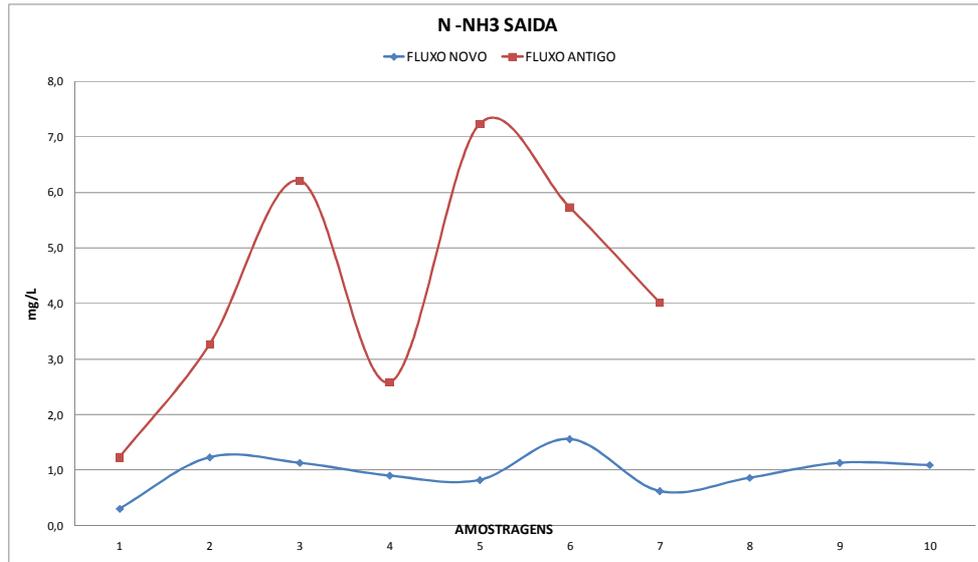


FIGURA 21: Concentração de saída do parâmetro N-NH₃.

Analisando as curvas das Figuras 20 e 21 pode-se observar que a concentração de saída do sistema, considerando o novo fluxo hidráulico, apresenta sensível redução e uma estabilidade maior. Observa-se porém que a concentração de amônia na entrada do sistema, na nova situação, também apresentou valores menores.

Levando em consideração a concentração de nitrogênio amoniacal na saída em relação a entrada no sistema antigo e novo respectivamente deduziram 58% e 66%, verificada para o nitrogênio amoniacal sugere que o bioreator apresentou melhor condição de nitrificação, considerando que o novo sistema operou de uma forma mais eficiente, do ponto de vista da oxidação do nitrogênio amoniacal.

De acordo com a Tabela 2 (p. 34), observa-se que o desvio-padrão do novo sistema em relação à remoção de nitrogênio amoniacal é mais baixa.

Segundo Lin *et al.* (2009), onde se avaliaram a remoção de nitrogênio amoniacal em um experimento em escala piloto utilizando radiação de micro-ondas, a concentração de entrada do efluente varia de 2400 – 11000 mg/L. O sistema contínuo de microondas para tratamento deste tipo de efluente têxtil demonstrou uma eficiência de 88% na remoção de nitrogênio amoniacal.

5.5 OXIGÊNIO DISSOLVIDO – OD

O oxigênio dissolvido é um dos componentes mais importantes no processo

de nitrificação, portanto, torna-se um fator limitante quando a concentração de OD é inferior à necessária para a eficiência das bioreações e conseqüentemente a remoção de amônia. O constante aumento na concentração de OD significa um consumo de energia muito elevado e não necessariamente uma eficiência maior na remoção de amônia (LIU *et al*, 2008).

Analisando as Figuras 22 e 23, pode-se observar as concentrações de OD na entrada e na saída dos sistemas antigo e novo, respectivamente. Não houve grande variação entre as concentrações de entrada e de saída, mostrando que o sistema se manteve estável.

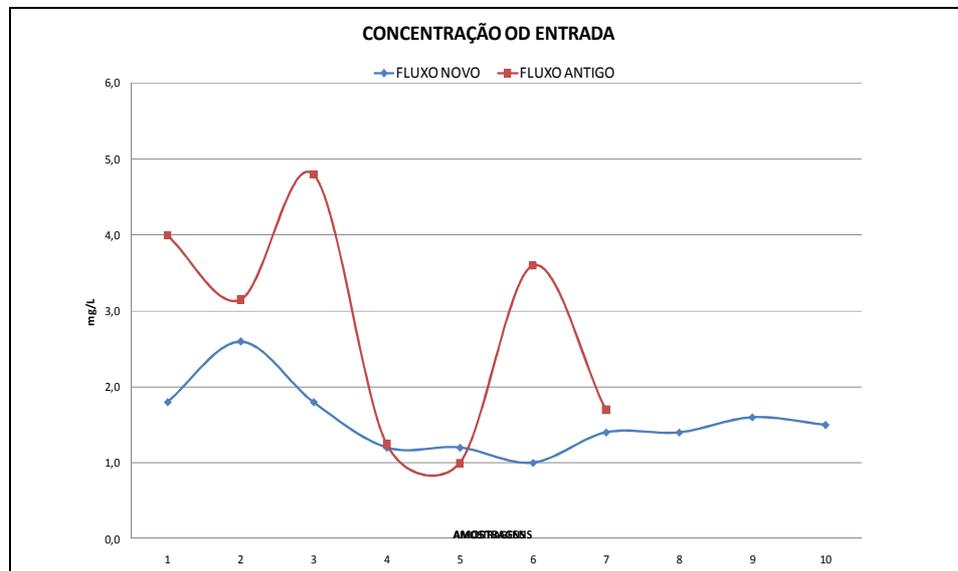


FIGURA 22: Concentração de OD na entrada do sistema antigo e novo.

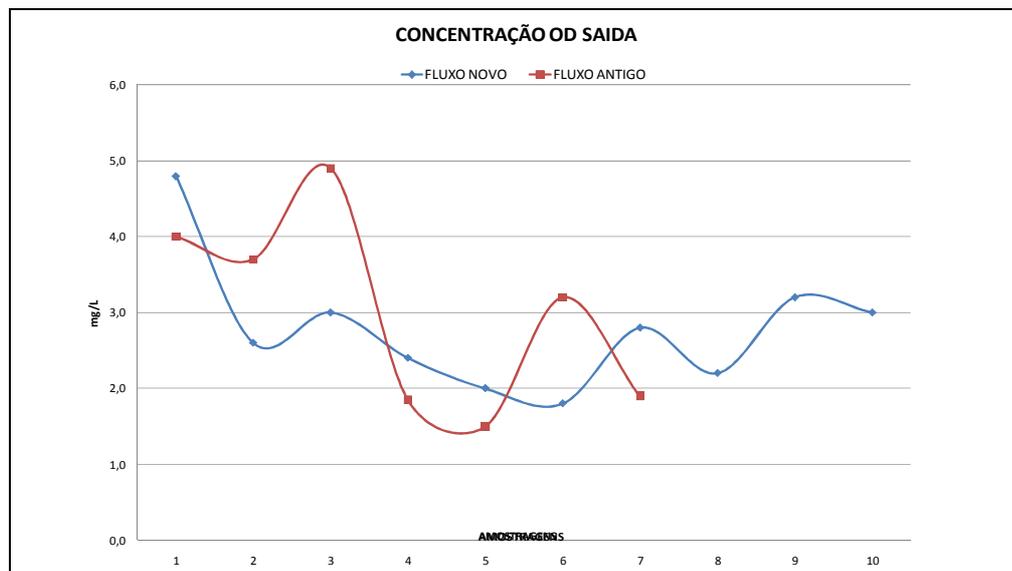


FIGURA 23: Concentração de OD na saída do sistema antigo e novo.

A Figura 23 mostra os resultados obtidos na saída do sistema antigo e novo em relação ao Oxigênio Dissolvido. Observa-se que não houve significativa variação, apesar de o sistema de tratamento ter sido alterado com o aumento do tempo de aeração. Como referido anteriormente, a eficiência na remoção de nitrogênio amoniacal foi melhor no sistema novo. A partir dos resultados, se observa que as concentrações de entrada e de saída de OD permaneceram constantes, apesar da redução na injeção de ar pelo sistema de compressores, demonstrando que o sistema foi eficiente e não houve um consumo desnecessário de energia.

Conforme relatam Liu *et al.* (2008), em um sistema biológico aerado combinado, variando os tempos de detenção hidráulica e às concentrações de OD, observaram que o aumento na concentração de OD influencia a eficiência na remoção de nitrogênio amoniacal e DQO, no entanto, demonstrou-se negativo em relação a eficiência de remoção de nitrogênio total. Quanto mais se aumentava a concentração de OD, mais ineficiente o sistema se demonstrava em relação à saída de nitrogênio total.

5.6 SÓLIDOS VOLÁTEIS – SV

No caso de lodo originado de processos aeróbios, a sua estabilização é necessária antes de sua disposição final, uma vez que possui uma grande quantidade de matéria orgânica biodegradável na forma de sólidos suspensos voláteis (SSV).

De acordo com os resultados observados no gráfico de saída da Figura 24, verifica-se que o efluente de saída do sistema antigo apresenta uma concentração de Sólidos Voláteis menor quando comparado ao sistema novo.

Isso pode ser explicado devido ao aumento no tempo de detenção hidráulica que gerou no sistema de tratamento características de sistema de aeração prolongada.

Em virtude da recirculação do tanque de aeração, a concentração de sólidos em suspensão é maior. Através dos resultados é possível observar que a partir da modificação do sistema a concentração de sólidos voláteis aumentou em

aproximadamente 70% passando de 2.667,4 mg/L para 3.997,7 mg/L.

Este aumento da concentração de 70% de biomassa no reator reduziu a produção de biomassa (lodo gerado) em 66%, ou seja, de 24 kg/L para 16 kg/L de lodo a ser disposto. Este resultado está de acordo com o trabalho de Innocenti *et al.* (2002).

A mineralização do lodo é clara uma vez que a relação média SSV/SST reduziu de 68% para 62%. Outro parâmetro relevante que está relacionado com a redução da produção de lodo foi o aumento do tempo de detenção celular de 17 para 30 dias.

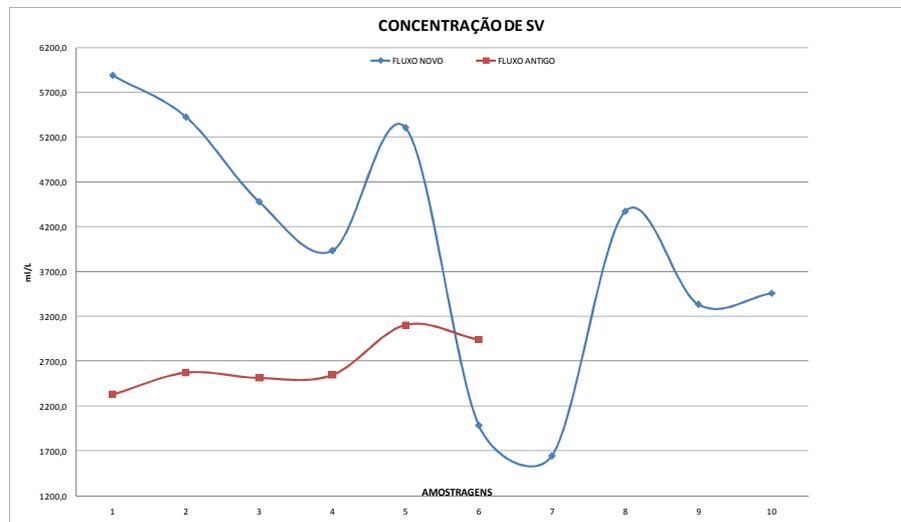


FIGURA 24: Concentração de saída do parâmetro SV.

6. CONCLUSÃO

Após a análise dos parâmetros de entrada e de saída no sistema de tratamento de efluentes, considerando o fluxo antigo e o fluxo novo, constatou-se que a maioria dos parâmetros medidos não sofreu alteração. Entretanto, um resultado significativo foi a redução na rotação dos compressores em 20%, gerando assim uma economia de energia.

Quanto aos objetivos do presente trabalho, o resultado que se mostrou mais eficiente foi a estabilização do nitrogênio amoniacal. Isso ocorreu devido à alteração no fluxo do sistema, alterando o tempo de detenção hidráulica que era de 30 horas para 60 horas. Como o efluente têxtil é rico em matéria orgânica, as reações de nitrificação no sistema biológico ocorreram com mais eficiência, reduzindo assim a quantidade de nitrogênio amoniacal no ponto de saída.

A concentração de OD na saída do sistema permaneceu praticamente inalterado. Com o aumento do tempo de detenção hidráulico, analisando os parâmetros obtidos, pôde-se chegar à conclusão que houve uma alteração nas características do sistema que deixou de ser um sistema de lodos ativados convencional para um sistema de lodos ativados com aeração prolongada em relação a alguns parâmetros, como por exemplo a idade do lodo.

A quantidade de sólidos voláteis no novo sistema também foi um parâmetro relevante. O aumento da concentração de biomassa no reator, reduziu a produção de biomassa em 66% com a diminuição da fração volátil no lodo gerado pela estação de tratamento. Como consequência houve uma redução no volume de material a ser disposto no aterro industrial gerando assim um aumento de vida útil do mesmo.

Como o objetivo da empresa em questão é duplicar a capacidade produtiva em 5 anos, observou-se a partir do estudo realizado que pode existir a oportunidade de otimizar e reavaliar os volumes dos reatores atualmente em operação afim de que o sistema instalado atenda a necessidades futuras, visto que o tempo de detenção hidráulica é superior aos referidos na literatura para um sistema de lodos ativados por aeração prolongada.

REFERÊNCIAS

ABIT/2007; CONAB /2006 e EMBRAPA/2000. Autores: João Cecílio Farias de Santana é Eng. Agrônomo, M.Sc em produção vegetal e classificador oficial de algodão, José Edilson de Oliveira Andrade e Edmilson Carneiro são Engenheiros Têxtil e Mecânico, respectivamente, da Coteminas, Campina Grande, PB.

ALABURDA, J.; NISHIHARA, L. Presença de compostos de nitrogênio em águas de poços. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v 32. n. 2, p. 160-165, 1998.

ALVES, G.J.S.; RAPHAELLI, N.; FANGUEIRO, R. **Desenvolvimento sustentável na indústria têxtil: Estudo de propriedades e características de malhas produzidas com fibras biodegradáveis**. XXII CNTT – Congresso Nacional de Técnicos Têxteis, Pernambuco, 2006.

BALAN, D.S.L. Biodegradação e Toxicidade de Efluentes Têxteis. **Revista Química Têxtil**, V. 22, p.26-31, 1999.

BASSOI, L. J.; GUAZELLI. M. R. **Controle ambiental da água**. In: Curso de gestão ambiental. Editor: Arlindo Phillippi Jr. Barueri-SP: Manole, 2004.

BATTISTONI, P. *et al.*. An automatically controled alternate oxic-anoxic processes for small municipal wastewater plants. **Ind. Eng. Chem. Res.** v. 42, n. 3, 509 – 515, 2003.

BENTO, A.P.;SEZERINO, P.H.; PHILIPPI, L.S.; REGINATTO, V.; LAPOLLI, F.R. Caracterização da microfauna em estação de tratamento de esgotos do tipo lodos ativados: um instrumento de avaliação e controle do processo. **Engenharia Sanitária Ambiental**. vol.10, n.4. Rio de Janeiro. Oct./Dez. 2005.

BERTAZZOLI, R.; PELEGRINI, R.T. Descoloração e degradação de poluentes orgânicos em soluções aquosas através do processo fotoeletroquímico. **Química nova**. 25, p. 477-482, 2002.

BRAILE, PEDRO MARCIO. **Manual de Tratamento de Águas Residuárias Industriais**. São Paulo, CETESB, 1979.

CAMPOS, A.C. De; De PAULA, N.M. A indústria têxtil brasileira em um contexto de transformações mundiais. **Revista Econômica do Nordeste**, v. 37, n. 4, p. 593-608,

2006.

CLESCERL, L. S.; GREENBERG, A. E.; EATON; A. D. **Standard Methods for Examination of Water & Wastewater**. Amer Public Health Assn; 20th edition. 1999.

CRESPILHO, F. N.; SANTANA, C. G.; REZENDE, M. O; O. Tratamento de efluente da indústria de processamento de coco utilizando eletroflotação. **Química Nova**, Vol. 27, No. 3, 387-392, 2004.

DANTAS, T. L. P. **Decomposição de peróxido de hidrogênio em um catalisador híbrido e oxidação avançada de efluente têxtil por reagente fenton modificado**. Dissertação. Pós Graduação em Engenharia Química do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, UFSC. 2005, 106 p.

FATONE, F. *et al.* Long-term experience with an automatic process control for nitrogen removal in membrane bioreactors. **Desalination**. v. 227, 2008, p. 72 – 84. 2008.

FERREIRA, S. S. F.; MARGUTI, A.L.; PIVELI, R.P. Produção de lodo comportamento químico de sais de ferro empregados no pós tratamento de esgoto sanitário por precipitação química. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.14 n.1jan/mar, 49-58, 2009.

GUARATINI C. C. I.; ZANONI M.V. B. Corantes têxteis. **Química nova**, v. 23, n.1, p. 71-78, 2000.

HASSEMER, M.E.N.; SENS, M.L. Tratamento do efluente de uma indústria têxtil. Processo físico-químico, ozônio e coagulação/floculação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v.7, n.1, 2002.

INSTITUTO AMANHÃ. **Guia sustentabilidade: Meio Ambiente**. Porto Alegre – RS, 2009. 115p.

ISOLDI, L. A.; KOETZ, P. R. Pós-tratamento de efluente nitrificado da parboilização de arroz utilizando desnitrificação em reator UASB. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v.10, n.4, p. 271-277. 2005.

INNOCENTI, L.; BOLZONELLA, D.; PAVAN, P.; CECCHI, F. Effect of sludge age on the performance of a membrane bioreactor: influence on nutrient and metals removal. **Desalination**. v. 146, p. 467-474. 2002.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos**. 3 ed. Rio de Janeiro: ABES, 1995. 720p.

KUNZ, A; ZAMORA, P.P; MORAES, S. G.; DURÁN, N. Novas tendências no tratamento de efluentes têxteis. **Química Nova**. Vol.25, n.1. São Paulo. Jan/Fev. 2002.

Laboratório de cartografia digital da Univille. Centro de cartografia digital e sistemas de informações geográficas. Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa e Departamento de Geografia – Universidade da Região de Joinville – Univille, Joinville, 2011. Escala 1:50.000.

LEÃO, M. M. D. **Controle ambiental na indústria têxtil: acabamento de malhas**. Belo Horizonte. Segrad Editora e Gráfica, 2002. 356 p.

LEDAKOWICZ, S.; GONERA, M. Optimisation of oxidants dose for combined chemical and biological treatment of textile wastewater. **Water Research**. v.33, p. 2511-2516, 1998.

LIN, L.; CHEN, J.; XU, Z.; YUAN, S.; CAO, M.; LIU, H.; LU, X. Removal of ammonia nitrogen in wastewater by microwave radiation: A pilot-scale study. **Journal of Hazardous Materials**. 168, p. 862-867, 2009.

LIU, F.; ZHAO, C.C.; ZHAO, D.F.; LIU, G.H. Tertiary treatment of textile wastewater with combined media biological aerated filter (CMBAF) at different hydraulic loadings and dissolved oxygen concentrations. **Journal of Hazardous Materials**. 160, p. 161-167, 2008.

MELO, M. O. B. C. **Inovações tecnológicas na cadeia produtiva têxtil: análise e estudo de caso em indústria no nordeste do Brasil**. 2007.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse**. 3 ed. Revised by George Tchobanoglous, Frank Burton (p. cm Mc Graw-Hill series in water resources and environmental engineering), 1991. 1334 p.

METCALF & EDDY. **Wastewater engineering: treatment and reuse**. ed. 4. Revised by George Tchobanoglous, Franklin L. Burton, H.David Stensel (p.cm Mc Graw-Hill series in civil environmental engineering), 2003. 1819p.

NEAMTU, M.; SIMINICEANU, I.; YEDILER, A.; KETTRUP, A. Kinetics of

decolorization and mineralization of reactive azo dyes in aqueous solution by the UV/H₂O₂ oxidation. **Dyes and Pigments**, v. 53, p. 93-99, 2002.

REBOUÇAS, A.C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J.G. **Águas doces no Brasil: capital ecológico, uso e conservação**. 3 ed. São Paulo: Escrituras Editora, 2006.

RODRIGUES, K.; VIDAL, C.B.; BARBOSA, B.C.A.; WANDERLEY, C.R.P.; DUARTE, I.C.S.; MARINHO, G. Viabilidade do tratamento de água residuária sintética têxtil em reator aeróbio de leito fixo. **Engenharia Sanitária Ambiental**. v. 15, n. 1, p. 99 – 106, jan/mar. 2010.

SANTORO, Francesca. **Controllo e ottimizzazione del processo depurativo cicli alternati – MBR per il riutilizzo delle acque reflue**. 2005. 137 f. Monografia (Curso em Ciências Ambientais). Università degli studi di Venezia Ca' Foscari. Veneza (Itália).

SCHRANK, S. G. **Tratamento anaeróbio de águas residuárias da indústria têxtil**. Dissertação. Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, UFSC, Florianópolis, 2000.

SELCUK, H. Decolorization and detoxification of textile wastewater by ozonation and coagulation processes. **Dyes and Pigments**. Nº 64, p.217-222, 2005.

SOTTORIVA, P. R. **Degradação de corantes reativos utilizando-se processos oxidativos avançados**. Curitiba: Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Paraná, Dissertação (Mestrado), 2006.

TUNDISI, J. G.; TUNDISI, T. M. **Recursos hídricos no Século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 328 p.

TUNUSSI, J.L.; SOBRINHO, P.A. **Remoção de cor e nitrificação de efluentes de tinturaria têxtil através de processos biológicos anaeróbio – aeróbio**. XXVIII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental. Cancún, México, 2002.

TWARDOKUS, R.G.; SOUZA, A.A.V.; SOUZA, S.M.A.G.U. Reuso de água no processo de tingimento da indústria têxtil. **Revista Química Têxtil**. 79, 32, 2005.

UEDA, A. C. **Aplicação de Micelas Reservas na Remoção de Corantes**. Dissertação. Programa de Pós Graduação em Engenharia Química do Centro

Tecnológico da Universidade Federal do Estado de Santa Catarina, UFSC, 2006. 83 p.

VANDEVIVERE, P. C., BIANCHI, R. e VERSTRAETE, W. Treatment and Reuse of Wastewater from the Textile Wet-Processing Industry: Review of Emerging Technologies. **Journal of Chemical Technology & Biotechnology**. 72, p.289-302, 1998.

VIANA, F. L. E. **A indústria têxtil e de confecções no Nordeste**: características, desafios e oportunidades. Série Documentos do ETENE nº 06. Fortaleza: BNB, 2008.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 2 ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais, 1996.

VON SPERLING, M.. **Princípio do Tratamento Biológico de Águas Residuárias – Lodos Ativados**. Vol. 4. 2ª edição. Editora FCO. UFMG. Belo Horizonte. Minas Gerais. 2002.

VON SPERLING, M. **Princípio do tratamento biológico de águas residuárias: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3ed. v.1. Belo Horizonte: DESA - UFMG, 2005. 452p.

ZAZO, J.A.; CASAS, J.A.; MOHEDANO, A. F.; RODRÍGUEZ, J.J. Catalytic wet peroxide oxidation of phenol with a Fe/active carbon catalyst. **Applied Catalysis B: Environmental**, v. 65, p. 261-268, 2006.