

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIA AMBIENTAL
– MESTRADO
ÁREA DE CONCENTRAÇÃO EM GESTÃO E TECNOLOGIA
AMBIENTAL**

MARCUS ANTONIO MUELLER

GESTÃO DO USO DAS ÁGUAS NA INDÚSTRIA
DE BENEFICIAMENTO DE TABACO
COM ÊNFASE NA PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Santa Cruz do Sul, outubro de 2009

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

MARCUS ANTONIO MUELLER

**GESTÃO DO USO DAS ÁGUAS NA INDÚSTRIA
DE BENEFICIAMENTO DE TABACO
COM ÊNFASE NA PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado, Área de Concentração em Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Lourdes Teresinha Kist

Santa Cruz do Sul, outubro de 2009.

MARCUS ANTONIO MUELLER

**GESTÃO DO USO DAS ÁGUAS NA INDÚSTRIA
DE BENEFICIAMENTO DE TABACO
COM ÊNFASE NA PRODUÇÃO MAIS LIMPA**

Esta Dissertação foi submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental – Mestrado, Área de Concentração Gestão e Tecnologia Ambiental, Universidade de Santa Cruz do Sul – UNISC, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologia Ambiental.

Prof. Dr. Leandro Cartorski da Rosa
Universidade Federal de Santa Maria - UFSM

Prof. Dr. Jorge André Ribas Moraes
Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC

Prof^a. Dr^a. Lourdes Teresinha Kist
Universidade de Santa Cruz do Sul - UNISC
Orientadora

AGRADECIMENTOS

À UNISC - Universidade de Santa Cruz do Sul e seus professores pelos ensinamentos e disposição.

À esposa Maria Terezinha, filhos Gabriela e Vitor Henrique pelo apoio em todos os momentos.

À empresa investigada e todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho.

RESUMO

A empresa onde foram realizadas as pesquisas desta dissertação possui o Sistema de Gestão Integrado composto pelas normas ISO 9001 – Sistema de Gestão da Qualidade, ISO 14001 – Sistema de Gestão Ambiental e OHSAS 18001 – Sistema de Gestão da Saúde e Segurança no Trabalho. A implementação de um programa de Produção Mais Limpa – P+L, aliada ao Sistema de Gestão Ambiental como um instrumento complementar, contribui para a melhoria do desempenho ambiental. Este instrumento gerencial, aliado à Análise do Ciclo de Vida – ACV, quando implementados de maneira sinérgica podem propiciar uma importante contribuição para a melhoria contínua do desempenho ambiental da empresa. O presente trabalho teve como principal objetivo propor a utilização da Produção Mais Limpa bem como avaliar as características físicas, químicas e bacteriológicas dos efluentes, e determinar os possíveis impactos do lançamento destes efluentes e formas de atenuação e prevenção do impacto ambiental negativo no lançamento de suas águas residuárias. O desenvolvimento do trabalho constituiu nas etapas que seguem: coleta e análise de documentos; medição de consumo de água e geração de efluentes (balanço hídrico); verificação dos pontos de maior consumo de água e minimização desse consumo de água com ênfase naqueles pontos. As amostras foram coletadas nos meses de abril a julho de 2009, com o objetivo de mapear todo o processo da safra desse ano nos efluentes da área produtiva; sanitários e refeitório, e o efluente bruto e tratado. O fato de a empresa estar certificada na norma ISO 14001 facilitará muito a implementação de um programa de P+L, devido aos gestores já estarem capacitados e comprometidos com a questão ambiental e a existência de dados e documentos estarem mais disponíveis a consultas. A maior contribuição de impacto ambiental, de 75%, é do Índice de Eutrofização pelos valores elevados de nitrogênio e fósforo total no comparativo com os padrões legais do CONSEMA 128/06. O resultado do Índice de Pressão Ambiental atingiu 3,22 em um dos ensaios, o que reforça a necessidade de medidas atenuadoras de impacto.

Palavras-chave: Produção mais limpa, sistema de gestão ambiental, impacto ambiental.

ABSTRACT

The research for this thesis was carried out at a company operating under an Integrated Management System governed by the standards of the ISO 9001 Quality Management System, ISO 14001 Environmental Management System and OHSAS 18001 Occupational Health and Safety Assessment Series. Implementation of a Cleaner Production program (C+P) in conjunction with the complementary Environmental Management System has contributed to the company's improved environmental performance. When implemented in a synergistic manner, this management system – in tandem with the Life Cycle Analysis (LCA) – can play an important role in the ongoing improvement of the company's environmental performance. This undertaking is primarily aimed at proposing the utilization of Cleaner Production and at evaluating the physical, chemical and bacteriological impacts of effluents in addition to ways of attenuating and preventing negative environmental impact in discharging its residual water. Development of the work involved the following steps: collection and analysis of documents; measurement of water consumption and effluent generation (hydric balance); verification of areas with the greatest water consumption and minimization of this consumption with emphasis on those areas. The samples were collected from April to July to map the entire 2009 crop process including production, washroom and cafeteria effluents as well as treated and raw effluent. The fact that the company is ISO 14001-certified will greatly facilitate the implementation of C+P program because the managers are already trained and committed to environmental issues. Also, the data and documents were already available. The most significant environmental impact at 75% is the Level of Eutrophication from total elevated levels of nitrogen and phosphorous in comparison to the legal standards laid out in CONSEMA 128/06. The 3.22 Rate of Environmental Pressure obtained in one of the measurements reinforces the need for measures to mitigate the impact.

Keywords: Cleaner production, environmental management system, environmental impact.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.	Modelo do Sistema de Gestão Ambiental.....	20
Figura 2.	Fluxograma simplificado da metodologia utilizada.....	32
Figura 3	Fluxograma do beneficiamento do tabaco.....	38
Figura 4.	Tanque de homogeneização.....	40
Figura 5.	Reator anaeróbio UASB.....	41
Figura 6.	Filtro biológico de alta taxa.....	41
Figura 7.	Lagoa aerada facultativa.....	42
Figura 8.	Lagoa paisagística.....	43
Figura 9.	<i>Wetland</i> natural otimizado.....	43
Figura 10.	Fluxograma do curso dos efluentes e da ETE.....	44
Figura 11.	Representações gráficas da avaliação qualitativa de impactos ambientais, conforme os diferentes critérios.....	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.	Diferenças entre tecnologias de fim-de-tubo e P+L.....	15
Tabela 2.	Métodos analíticos para caracterização dos efluentes.....	34
Tabela 3.	Vazão típica do efluente.....	45
Tabela 4.	Dados referentes à estação de tratamento do efluente bruto e tratado nos meses de abril, maio e junho.....	48
Tabela 5.	Caracterização dos efluentes dos processos industrial, caldeira, refeitórios e sanitários, realizada em maio de 2009.....	52
Tabela 6.	Matriz de identificação qualitativa dos impactos ambientais hídricos da indústria de beneficiamento de tabaco.....	54
Tabela 7.	Índices de impactos ambientais no uso das águas em abril de 2009.....	56
Tabela 8.	Índices de impactos ambientais no uso das águas em maio de 2009.....	57
Tabela 9.	Índices de impactos ambientais no uso das águas em junho de 2009.....	57

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

A/O	Anaeróbio / aeróbio
A ² /O	Anaeróbio / anóxico / aeróbio
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ACV	Análise do Ciclo de Vida
CEBDS	Conselho Empresarial Brasileiro para o Desenvolvimento Sustentável
CNTL	Centro Nacional de Tecnologias Limpas
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO ₅	Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 dias
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Efluentes
EUA	Estados Unidos da América
FEPAM	Fundação Estadual de Proteção Ambiental Henrique Luis Roessler
IPA	Índice de Pressão Ambiental
ISO	<i>International Organization for Standardization</i>
MESERB	<i>Minnesota Environmental Science and Economic Review Board</i>
NTK	Nitrogênio Total <i>Kjeldhal</i>
OAP	Organismos Acumuladores de Fósforo
OD	Oxigênio Dissolvido
OHSAS	<i>Occupational Health and Safety Assessment Series</i>
P+L	Produção mais Limpa
pH	Potencial Hidrogênio Iônico
SAAP	<i>Software de Avaliação Ambiental de Processos</i>
SENAI	Serviço Nacional de Aprendizagem Industrial
SST	Sólidos Suspensos Totais
TECLIM	Rede de Tecnologias Limpas
U.S. EPA	<i>United States Environmental Protection Agency</i>
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>
UNEP	<i>United Nations Environment Programme</i>
UNIDO	<i>United Nations Industrial Development Organization</i>

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	11
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	13
2.1	Produção mais Limpa – P+L.....	13
2.2	Produção mais Limpa e Sistemas de Gestão Ambiental.....	17
2.3	Análise do Ciclo de Vida – ACV	20
2.4	Eutrofização.....	21
2.5	Oxigênio Dissolvido – OD.....	23
2.6	Processos de tratamento de efluentes para Remoção Biológica de Nutrientes – RBN's.....	25
2.7	Avaliação do desempenho ambiental de processos industriais.....	27
2.7.1	Índice de Eutrofização – IE	28
2.7.2	Índice de Destruição do Oxigênio Dissolvido – IDOD	29
2.7.3	Índice de Pressão Ambiental – IPA	29
2.7.4	<i>Software</i> SAAP – Sistema de Avaliação Ambiental de Processos.....	30
2.8	Legislação ambiental.....	30
3	METODOLOGIA	32
3.1	Delineamento da pesquisa.....	32
3.2	Metodologia analítica.....	33
3.3	Determinações qualitativa e quantitativa de indicadores ambientais..	34
3.3.1	Matriz de Leopold.....	35
3.3.2	Índices de impacto ambiental.....	37

4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	38
4.1	Perfil produtivo da indústria.....	38
4.2	Captaç�o e gerenciamento de �guas.....	39
4.3	Esta�o de Tratamento de Efluentes.....	39
4.4	Vaz�o do efluente da empresa investigada.....	45
4.5	Caracteriza�o dos efluentes.....	47
4.5.1	Caracteriza�o do efluente bruto e tratado.....	47
4.5.2	Caracteriza�o do efluente da caldeira.....	50
4.5.2.1	Tratamento qu�mico da �gua da caldeira.....	51
4.5.2.2	Gera�o de f�sforo na purga da caldeira.....	51
4.5.3	Caracteriza�o dos efluentes dos processos industrial, caldeira, refeit�rio e sanit�rios.....	52
4.6	Identifica�o qualitativa dos impactos ambientais.....	53
4.7	Identifica�o quantitativa dos impactos ambientais.....	56
4.8	Caracteriza�o dos problemas e medidas ambientais.....	58
5	CONSIDERA�OES FINAIS	60
6	REFER�NCIAS	62

1 INTRODUÇÃO

Aquecimento global, degelo das calotas polares, reciclagem, calor e frio em excesso, rios poluídos, animais em extinção. Nunca os temas ambientais ocuparam tanto espaço na mídia e nas discussões em todos os lugares – das universidades às ONGs, manifestações da igreja, dos ambientes de trabalho às escolas. A palavra de ordem é diminuir os impactos negativos do ser humano sobre o meio ambiente.

Iniciativas louváveis dão mostras de que alguns setores da indústria e sociedade civil estão comprometidos com a redução de impactos ambientais. Dentre os inúmeros exemplos, regionalmente pode-se citar as empresas certificadas na Norma ISO 14.001 – Sistema de Gestão Ambiental, a atuação do Comitê de Gerenciamento da Bacia Hidrográfica do Rio Pardo - Comitê Pardo e a nível nacional o CBCS – Conselho Brasileiro de Construção Sustentável, criado em abril de 2007.

Até o momento as tecnologias ambientais convencionais trabalharam principalmente no tratamento dos resíduos, efluentes e emissões existentes. Como esta abordagem estuda os resíduos no final do processo de produção, ela também é chamada de técnica *fim-de-tubo* (SENAI, 2003b).

A Produção mais Limpa pretende integrar os objetivos ambientais aos processos de produção, a fim de reduzir os resíduos e as emissões em termos de quantidade e periculosidade (SENAI, 2003a).

A Produção mais Limpa configura-se como uma atitude pró-ativa, pois visa reduzir os impactos ambientais negativos e os custos elevados por meio da análise das causas da geração de resíduos e da alteração dos processos geradores destes.

As organizações têm dedicado cada vez mais ênfase aos processos de tratamento de esgotos com baixo consumo energético e de fácil operação e manutenção (von SPERLING, 2002).

Um dos motivos pelos quais se deve, sempre que possível, dar preferência aos processos biológicos, sem adição de produtos químicos, refere-se a pesquisas recentes efetuadas no Japão que têm mostrado que a cloração do efluente antes de

sua emissão produz compostos mutagênicos, presumivelmente por interação das substâncias que contêm cloro com a matéria orgânica que permanece na água (BAIRD, 2002).

Nitrogênio e fósforo têm sido caracterizados como os nutrientes que limitam a capacidade de crescimento biológico, o primeiro principalmente em estuários, e o segundo principalmente em lagoas (JORDÃO; PESSÔA, 1995).

O excesso de nutrientes nos corpos de água pode levar ao crescimento excessivo de alguns organismos aquáticos, acarretando prejuízo a determinados usos dos recursos hídricos superficiais e subterrâneos. Estes nutrientes são comumente responsáveis pela proliferação acentuada de algas, que podem prejudicar a utilização de mananciais de água potável (BRAGA et al., 2002).

A velha filosofia, da natureza sendo propriedade do homem com direito a explorá-la, está sendo trocada pela visão de que, a humanidade é apenas mais uma espécie que convive com as outras em interconexão, todas com direito à existência (HELSINK UNIVERSITY OF TECHNOLOGY, 1996, apud SANTOS, 2006).

Objetivo Geral:

Propor alternativas com ênfase na Produção mais Limpa através da avaliação do uso das águas e índices de ecoeficiência para uma indústria de beneficiamento de tabaco.

Objetivos Específicos:

- Diagramar o processo produtivo da indústria de beneficiamento de tabaco com a identificação dos processos geradores de efluentes;
- Traçar um fluxograma das águas que saem da cadeia produtiva, passando pela estação de tratamento de efluentes até o corpo receptor;
- Realizar análises físico-químicas de controle para amostra bruta e tratada por meio de parâmetros como DQO, DBO₅, fósforo total, nitrogênio total, coliformes termotolerantes, pH e sólidos suspensos;
- Realizar avaliação qualitativa e quantitativa dos impactos ambientais das águas geradas no processo produtivo.
- Propor alternativas para minimizar o impacto ambiental da indústria de beneficiamento de tabaco através de mecanismos limpos.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Produção mais Limpa – P+L

Os governos tradicionalmente abordam o gerenciamento ambiental pelo estabelecimento de padrões de cargas de poluição admissíveis para água, ar e terra. A indústria reage instalando equipamentos (filtros) só nos dispositivos de final de processo para manter esses padrões, supondo que o ambiente pode tolerar certa quantidade de poluição. Em vez de centrar sua ação em políticas e leis de tratamento de lixo, os governos precisam desenvolver políticas que favoreçam produtos duráveis, uso de energia renovável e materiais naturais. Isso iria facilitar o fechamento dos ciclos de recursos (GREENPEACE REPORT, 1997).

Produção mais Limpa (P+L) é a aplicação de uma estratégia técnica, econômica e ambiental integrada aos processos e produtos, a fim de aumentar a eficiência no uso de matérias-primas, água e energia, através da não geração, minimização ou reciclagem dos resíduos e emissões geradas, com benefícios ambientais, de saúde ocupacional e econômicos (SENAI, 2003a).

A Produção mais Limpa muitas vezes está diretamente relacionada a problemas de saúde ocupacional e de segurança dos trabalhadores. A P+L minimiza estes riscos, na medida em que são identificadas matérias-primas menos tóxicas, contribuindo para a melhor qualidade do ambiente de trabalho (SENAI, 2003b).

A P+L pressupõe quatro atitudes básicas. A primeira e mais importante delas é a busca pela não geração de resíduos, através da racionalização das técnicas de produção. Na impossibilidade de aplicar integralmente o primeiro conceito, o segundo conceito é usado, que é a minimização da geração dos resíduos. O reaproveitamento dos resíduos no próprio processo é a terceira opção e a reciclagem é a quarta opção (UNIDO, 2009). Neste contexto, resíduo é considerado um “produto” com valor econômico negativo (UNEP, 2009).

O Desenvolvimento Sustentável significa um dos mais importantes compromissos assumidos pelo mundo, desde a Rio-92, na tentativa de restabelecer a economia e assegurar a sobrevivência humana, preservando a saúde e os recursos naturais do planeta para as presentes e futuras gerações (IBPS, 2002).

O objetivo da Produção mais Limpa é atender a necessidade de produtos *de forma sustentável*, isto é, usando com eficiência materiais e energias renováveis, não-nocivos, conservando ao mesmo tempo a biodiversidade. Os sistemas de Produção mais Limpa são *circulares* e usam menor número de materiais, menos água e energia (GREENPEACE, 1997).

As organizações ainda acreditam que sempre necessitariam de novas tecnologias para a implementação de P+L, quando na realidade, aproximadamente 50% da poluição gerada pelas empresas poderia ser evitada somente com a melhoria em práticas de operação e mudanças simples em processos. Também já foi verificado que toda vez que houve uma legislação obrigando as organizações a mudarem seus processos de produção ou serviços, houve uma maior eficiência e menor custo de produção (UNIDO/UNEP, apud CEBDS, 2009).

Na fase experimental do programa P+L no Brasil, entre 1999 e 2002, os resultados obtidos pelas empresas piloto foram bastante animadores com a redução de gastos com matérias-primas, água e energia. Para cada R\$ 1,00 investido houve um retorno de R\$ 4,00 (GAZETA MERCANTIL, 2005, apud CEBDS, 2009).

Nas últimas décadas, a partir do melhor entendimento da cadeia de geração de resíduos, as políticas de controle da poluição evoluíram dos métodos conhecidos como “fim de tubo” para as tendências mais recentes, baseadas no princípio da prevenção, ou seja, a não geração de resíduos, que é o princípio da Produção mais Limpa (SENAI, 2003a). A estratégia geral para alcançar os objetivos da P+L é de sempre mudar as condições na fonte em vez de lutar contra os sintomas (CEBDS, 2009).

A Produção mais Limpa pode ser definida como um processo circular, com uso de insumos, matéria-prima e energia da forma mais racional possível e, quando os resíduos forem inevitáveis, que esses possam retornar via reciclagem e tornem-se subprodutos (MACHADO, 2006).

Os conceitos de produção mais limpa divergem do conceito das tecnologias “fim-de-tubo”. Na primeira é feito um estudo para as causas de geração do resíduo, enquanto a segunda dedica-se somente à solução do problema, sem transferi-lo

(SENAI, 2003a). As tecnologias “fim-de-tubo” se caracterizam pelo baixo valor dos seus subprodutos, pelo alto custo da sua implementação e pelo fato de não eliminar os poluentes, mas apenas transferi-los de um meio receptor para outro (COELHO, 2002). As diferenças entre tecnologias de fim-de-tubo e Produção Mais Limpa são apresentadas na Tabela 1 (SILVA e MEDEIROS, 2006).

Tabela 1. Diferenças entre tecnologias de fim-de-tubo e P+L.

TÉCNICAS DE FIM-DE-TUBO	PRODUÇÃO MAIS LIMPA
Pretende reação.	Pretende ação.
Os resíduos, os efluentes e as emissões são controlados através de equipamentos de tratamento.	Prevenção da geração de resíduos, efluentes e emissões na fonte. Procura evitar matérias-primas potencialmente tóxicas.
Proteção ambiental é um assunto para especialistas competentes.	Proteção ambiental é tarefa de todos.
A proteção ambiental atua depois do desenvolvimento de processos e produtos.	A proteção ambiental atua como uma parte integrante do design do produto e da engenharia de processo.
Os problemas ambientais são resolvidos a partir de um ponto de vista tecnológico.	Os problemas ambientais são resolvidos em todos os níveis e em todos os campos.
Não tem a preocupação com o uso eficiente de matérias-primas, água e energia.	Uso eficiente de matérias-primas, água e energia.
Leva a custos adicionais.	Ajuda a reduzir custos.

Fonte: SENAI, 2003b.

Outro conceito importante, dentro deste contexto, é a eco-eficiência alcançada pela entrega de produtos e serviços com preços competitivos, que satisfaçam as necessidades humanas e que contribuam para a melhoria da qualidade de vida, por meio da redução dos impactos e dos recursos energéticos, bem como pela análise do ciclo de vida (GONÇALVES, 1997). Ecoeficiência é alcançada mediante o fornecimento de bens e serviços a preços competitivos que satisfaçam as necessidades humanas e tragam qualidade de vida, ao mesmo tempo em que reduz

progressivamente o impacto ambiental e o consumo de recursos ao longo do ciclo de vida, a um nível, no mínimo, equivalente à capacidade de sustentação estimada da Terra (WORLD BUSINESS COUNCIL FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT – WBCSD, 1992, apud CEBDS).

Para ser eco-eficiente uma empresa precisa conhecer o sistema natural em que opera e sua capacidade de absorver as tensões externas, como por exemplo, descarga de poluentes, sem que sua estrutura e funções sejam alteradas (ANDREOLI, BOLLMANN e OLIVEIRA, 2004). Os sete princípios da eco-eficiência podem ser definidos como:

- Redução dos gastos de materiais e energia com bens e serviços;
- Redução da emissão de substâncias tóxicas;
- Intensificação da reciclagem de materiais;
- Maximização do uso sustentável de recursos renováveis;
- Prolongamento da durabilidade do produto;
- Agregação de valor aos bens e serviços.

A eco-eficiência é considerada uma grandeza incomensurável, pois não é possível sua comparação com um padrão de medida conhecida. Como não pode ser medida, avalia-se perante critérios pré-estabelecidos (ANDREOLI, BOLLMANN e OLIVEIRA, 2004).

É possível analisar a eco-eficiência de um processo industrial através da análise de seus fluxos de energia, de informação e de massa. Avalia-se em relação a renovabilidade e otimização do aproveitamento de seus recursos, da relação do resíduo gerado com o produto final agregado de valor econômico e da massa que passa a ser reaproveitável no processo (ANDREOLI, BOLLMANN e OLIVEIRA, 2004).

O processo será mais eco-eficiente quanto maior for a relação dos seus recursos renováveis e não renováveis. Deve-se minimizar o uso de recursos econômicos, ou seja, insumos adquiridos pela empresa que possuem valor agregado vindos de seu processamento. O melhor reaproveitamento de recursos e a conseqüente minimização de resíduos também tornam um processo mais eco-eficiente (ANDREOLI, BOLLMANN e OLIVEIRA, 2004).

O aspecto mais importante da Produção Mais Limpa é que a mesma requer não somente a melhoria tecnológica, mas a aplicação de *know-how* e a mudança de

atitudes. Esses fatores reunidos é que fazem o diferencial em relação às outras técnicas ligadas a processos de produção (CEBDS, 2009).

A parte crítica de qualquer projeto de prevenção da poluição são o treinamento e a educação, pois são as pessoas que conduzem e desenvolvem os processos industriais. Quanto mais os operadores entenderem de prevenção da poluição, mais cooperação será contabilizada, maior será o reconhecimento do impacto ambiental de suas tarefas e dos rejeitos gerados (FILHO; SANTOS, 2000).

A consolidação da primeira empresa de tabaco em Santa Cruz do Sul deu-se em 1918 e dois anos após iniciou a operação da primeira usina de beneficiamento de tabaco. Este período caracteriza-se como sendo o início da geração de efluentes industriais e os impactos ambientais decorrentes desta atividade industrial (ETGES, 1989).

2.2 Produção mais Limpa e Sistemas de Gestão Ambiental

Sistema de gestão ambiental é uma parte do sistema de gerenciamento que inclui a estrutura organizacional, o planejamento das atividades, responsabilidades, práticas, procedimentos, processos e recursos necessários para o desenvolvimento, implementação, realização, revisão e manutenção da política ambiental da empresa (ABNT NBR ISO 14001:2004; SENAI, 2003a).

A ISO 14001 é uma norma internacional de caráter voluntário, desenvolvida para auxiliar a gestão das empresas a equilibrar seus interesses econômico-financeiros com os impactos gerados pelas suas atividades, sejam impactos ao meio ambiente ou conseqüências diretas para a segurança e a saúde de seus funcionários (CERQUEIRA, 2005, apud MORETTI; SAUTTER; AZEVEDO, 2008).

As razões pelas quais as organizações buscam a certificação em sistemas de gestão ambiental são: melhorias nas conformidades regulatórias, melhoria no desempenho ambiental, atendimento das expectativas dos clientes, redução de custos, melhor atendimento às partes interessadas externas e a melhoria na reputação corporativa (FRYXELL & SZETO, 2002, apud MORETTI; SAUTTER; AZEVEDO, 2008).

A certificação no Sistema de Gestão Ambiental – ISO 14001 não implica necessariamente que uma empresa se tornará mais ambientalmente sustentável se

não houver um questionamento sistemático da qualidade dos procedimentos que estão padronizados. A melhoria contínua do desempenho ambiental é colocada na norma de forma genérica, como um compromisso a ser explicitado na política ambiental da empresa, sem maiores referências quanto ao rumo desta melhoria (FERNANDES et al., 2001). A série ABNT NBR ISO 14.000 de normas de gestão ambiental é coerente com o conceito de desenvolvimento sustentável e compatível com estruturas culturais, sociais e organizacionais diversificadas, e com os diferentes sistemas de gestão (ABNT NBR ISO 14.004:2005).

A série ISO 14000 representa o maior passo nas relações entre indústria e meio ambiente, pois requer o compromisso das empresas certificadas para a busca da melhoria contínua, porém privilegia o modelo de fim de tubo (*end-of-pipe*) e a conformidade nos limites da legislação ambiental, atendendo, com isso, aos interesses dos acionistas, mas não necessariamente aos agentes que defendem o desenvolvimento sustentável. É questionada, também, a velocidade com que é implementada a melhoria contínua nos sistemas de gestão (FURTADO, 2000).

Manter as rotinas limpas nas operações das indústrias envolve toda a equipe em mudanças de padrão e de procedimentos. O compromisso com o meio ambiente, enquanto política da empresa, deve ser implementado no “chão de fábrica” e defendido pela alta administração da organização (FILHO; SANTOS, 2000).

Com o advento da ISO 14001 as empresas viram a certificação com um sinal de comportamento bondoso com o meio ambiente, desconsiderando a produção mais limpa. A P+L deverá ser integrada ao Sistema de Gestão Ambiental (ISO 14001) como uma ferramenta para reduzir a poluição sem aumentar os custos de produção, pois do contrário estará conduzindo soluções de fim de tubo (UNIDO, 2009).

Segundo Fernandes (2001), torna-se necessária a integração da excelência ambiental com a comercial através do desenvolvimento, produção e comercialização de produtos com mudanças consideráveis de desempenho ambiental e o gerenciamento dos ciclos de vida dos mesmos.

Qualquer sistema de padronização só é pleno se definir o seu próprio mecanismo de revisão em relação ao potencial de sua eficácia. Esta característica da ISO 14001 nos capítulos referentes a controles operacionais, auditorias e análise

crítica, precisa ser tratado com atenção em relação aos procedimentos operacionais para não correr-se o risco de padronizar o erro (ABNT NBR ISO 14.004:2005).

Segundo Furtado (2000), o sistema de gestão ambiental ISO 14001 deverá, para ser mais eficaz em termos de melhoria no desempenho ambiental, ser norteado pelos princípios e objetivos da Produção mais Limpa que consistem em prevenir a geração de resíduos e todos os seus desdobramentos quanto ao processo produtivo, produto, embalagens, descarte, destinação, manejo do lixo industrial, relacionamento com os clientes e a política ambiental da empresa.

A principal diferença entre *prevenção da poluição* e P+L está no tempo em que as coisas acontecem. Prevenção da poluição é um “após-o-evento”, uma abordagem reativa e de tratamento, enquanto a P+L é o “olhar-antes”, uma filosofia que antecipa e previne (UNEP, 2009; TECLIM, 2009).

O sistema de gestão ambiental segue a metodologia conhecida como “Planejar-Executar-Verificar-Agir” - PDCA (*Plan, Do, Check, Act*), conforme Figura 1, que auxilia na identificação dos aspectos ambientais envolvidos no desenvolvimento das atividades, determina a sua significância e define as medidas de controle para reduzir possíveis impactos. Posteriormente, verifica o desempenho destas medidas e define ações para melhorar seu desempenho. A P+L pode auxiliar este processo em dois momentos: Durante a avaliação da significância de aspectos ambientais permitindo uma melhor identificação da gravidade dos impactos, e na definição de medidas de controle com maior possibilidade de reduzir a probabilidade de o impacto ocorrer (ABNT NBR ISO 14.001:2004).

Segundo a ABNT NBR ISO 14.001:2004, resumidamente o PDCA pode ser descrito da seguinte forma:

- Planejar: Estabelecer os objetivos e processos necessários para atingir os resultados em concordância com a política ambiental da organização;
- Executar: Implementar os processos;
- Verificar: Monitorar e medir os processos em conformidade com a política ambiental, objetivos, metas, requisitos legais e outros, e relatar os resultados;
- Agir: Agir para continuamente melhorar o desempenho do sistema da gestão ambiental.

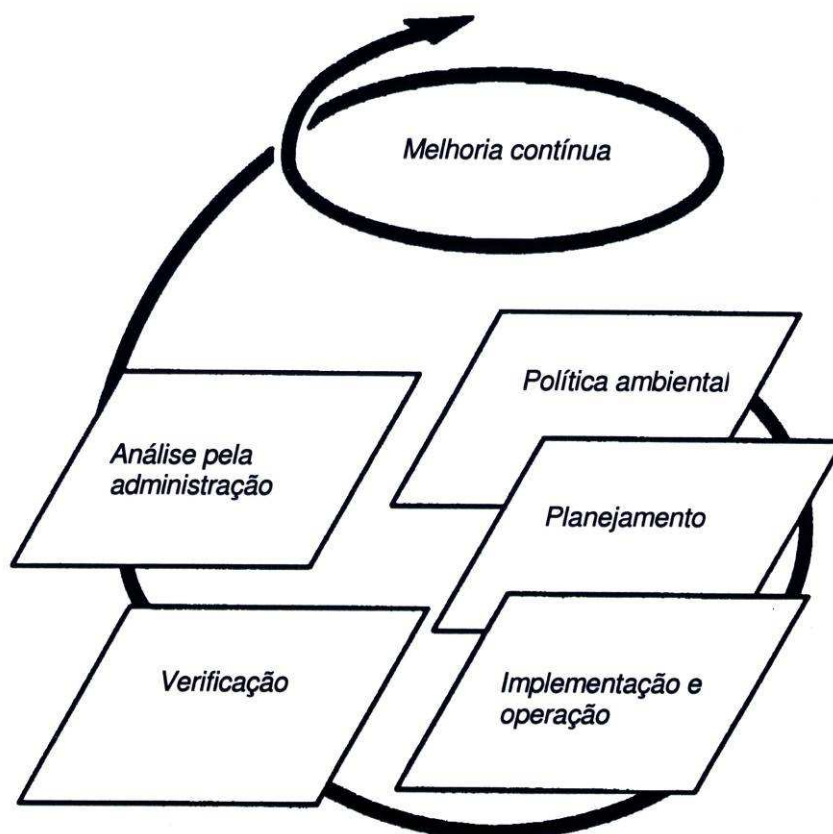


Figura 1. Modelo do Sistema de Gestão Ambiental - PDCA

Fonte: ABNT NBR ISO 14.001:2004

2.3 Análise do Ciclo de Vida - ACV

A análise do ciclo de vida é uma ferramenta de gestão ambiental que estabelece uma visão geral das conseqüências ambientais da existência de um produto através de seu ciclo de vida, desde a produção até a disposição final. O estudo engloba o ciclo de vida do produto, desde a extração das matérias-primas envolvendo sua produção e uso, possibilidades de reciclagem e reuso até sua disposição final (SANTOS, 2006).

Segundo Setac (1993), citado por Santos (2006), as possíveis aplicações da ACV são:

- Desenvolvimento do planejamento estratégico;
- Otimização, melhoria e projeto de produtos e processos;
- Identificação de oportunidades de melhoria ambiental;

- Auxílio ao estabelecimento de procedimentos comerciais ou especificações;
- Suporte à auditoria ambiental e à minimização de resíduos;
- Desenvolvimento do marketing ambiental;
- Seleção de critérios para a rotulagem ambiental;
- Definição de políticas públicas e privadas;
- Auxílio às metodologias educacionais.

A NBR ISO 14031:2004 – Avaliação do desempenho ambiental - Diretrizes, planejada para prover uma gestão com informações confiáveis e verificáveis, tem uma estreita relação com as normas de ACV, pois indica categorias de impacto ambiental para avaliar o desempenho ambiental das empresas (SANTOS, 2006).

Existem atualmente no mercado inúmeros *softwares* e banco de dados para facilitar a utilização da ACV. Infelizmente a maioria dos *softwares* disponíveis são de nacionalidades estrangeiras, não adequados ao padrão brasileiro e nenhum possui uma metodologia para avaliação de processos industriais (SANTOS, 2006).

No Brasil há o *software* SAAP (sistema de avaliação ambiental de processos) que avalia as categorias de impacto ambiental utilizando dez indicadores ambientais. Ele foi concebido visando padronizar e facilitar a utilização de uma metodologia para avaliar o desempenho ambiental de processos industriais, baseada nas normas de ACV e na norma ISO 14031 (SANTOS, 2006).

2.4 Eutrofização

A eutrofização é o crescimento excessivo das plantas aquáticas, tanto planctônicas quanto aderidas, a níveis tais que sejam consideradas como causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água (THOMANN e MUELLER, 1987, apud von SPERLING, 1996).

O processo de eutrofização está associado ao nível excessivo de nutrientes no corpo d'água, principalmente nitrogênio e fósforo (VOLENWEIDER, 1968, apud ANDREOLI; CARNEIRO, 2005).

As principais conseqüências da eutrofização são: (1) a perda de biodiversidade, (2) alteração no padrão de oxigenação da água, (3) floração de algas, (4) efeitos sobre a saúde humana e (5) aumento nos custos para tratamento da água (ANDREOLI; CARNEIRO, 2005).

Aspecto ambiental é o elemento das atividades ou produtos ou serviços de uma organização que pode interagir com o meio ambiente. Impacto ambiental é qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica, que resulte, no todo ou em parte, dos aspectos ambientais da organização. Com base nestes conceitos pode-se caracterizar nitrogênio e fósforo como sendo aspectos ambientais (causa) e a eutrofização o impacto ambiental (efeito) (ABNT NBR ISO 14.004:2005).

A eutrofização natural é um processo bastante demorado, associado ao tempo de evolução dos ecossistemas. No entanto, esse processo vem se acelerando pela intervenção humana em lagos cujas bacias sofrem a ocupação de atividades industriais, agrícolas ou zonas urbanas. A eutrofização associada à intervenção humana é chamada de eutrofização cultural ou acelerada (BRAGA et al., 2002).

A eutrofização acelerada é causada pelo aporte de fósforo que provém principalmente das seguintes fontes: (1) Esgotos domésticos; (2) Esgotos industriais; e (3) fertilizantes agrícolas. Na maioria dos ecossistemas aquáticos o fósforo é o nutriente limitante. Quanto ao nitrogênio, apesar de a maior parte dos seres fotossintetizantes aquáticos necessitarem desse elemento sob a forma de nitrato dissolvido na água, na escassez, há seres fotossintetizantes que o utilizam na forma gasosa (BRAGA et al., 2002).

Em função da eutrofização, muitos lagos em todo o mundo já se encontram seriamente afetados, perdendo sua qualidade cênica, seu potencial recreacional e de forma geral seu valor econômico, tanto para o uso no abastecimento doméstico quanto para o uso industrial (ANDREOLI; CARNEIRO, 2005).

A eutrofização também aumenta a necessidade de cloração da água para consumo humano, que com isso gera altos subprodutos da desinfecção, que tem acarretado um aumento de casos de câncer (U.S. EPA, 2001, apud U.S. EPA, 2007).

O nitrogênio presente no esgoto fresco está quase todo combinado sob a forma de proteína e uréia, sendo que as bactérias no seu trabalho de oxidação biológica transformam o nitrogênio presente primeiramente em amônia, depois em nitritos e depois em nitratos. A concentração com que o nitrogênio aparece sob estas várias

formas indica a idade do esgoto ou sua estabilização em relação à demanda de oxigênio (JORDÃO; PESSÔA, 1995).

No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado nas seguintes formas (von SPERLING, 1996):

- Nitrogênio orgânico (dissolvido ou em suspensão);
- Amônia (na forma de amônia livre é diretamente tóxico aos peixes);
- Nitrito;
- Nitrato (a forma de nitrato está associada a doenças como a metahemoglobinemia - síndrome do bebê azul);
- Nitrogênio molecular, escapando para a atmosfera.

O fósforo não apresenta uma forma gasosa como o nitrogênio, por isso não pode ser eliminado dos efluentes líquidos da mesma maneira que os compostos de nitrogênio. O fósforo precisa ser convertido numa forma sólida (particulada) e removido como sedimento por decantação, filtração, centrifugação, etc., ou ser concentrado por tratamento com membranas (FERREIRA, 2003).

Há dois métodos para transformar o fósforo na forma sólida: (1) Precipitação química e (2) remoção biológica. Ambos requerem uma efetiva separação líquido-sólido para minimizar a descarga de fósforo nos efluentes das estações de tratamento (MESERB, 2005).

2.5 Oxigênio Dissolvido – OD

A quantidade de oxigênio dissolvido nos corpos de água é um indicador primário da qualidade da água. Quando a concentração de OD na água cai abaixo de valores aceitáveis, pode afetar significativamente a saúde do ecossistema aquático e também impedir o uso da água para outros fins, como por exemplo, o abastecimento doméstico (JANZEN; SCHULZ; LAMON, 2008).

O oxigênio dissolvido tem sido tradicionalmente utilizado para a determinação do grau de poluição e de autodepuração de corpos d'água. A medição da capacidade de destruição do oxigênio dissolvido devido ao lançamento de efluentes é feita pela determinação da demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e da demanda química de oxigênio (DQO). A DQO é superior à DBO porque é oxidada tanto a

fração biodegradável quanto a inerte. A DQO tem sido utilizada para caracterizar os efluentes de origem industrial (SANTOS, 2006).

O OD nas zonas aeróbias das estações de tratamento de efluentes é muito importante e deve manter-se entre 1,5 e 3,0 mg L⁻¹. Caso o OD seja bastante reduzido, a remoção de fósforo pode reduzir, a nitrificação será limitada e poderá haver o desenvolvimento de um lodo com má sedimentabilidade (von SPERLING, 2002).

Caso o OD seja bastante elevado, a eficiência da desnitrificação pode ser reduzida, devido à entrada de OD na primeira zona anóxica (von SPERLING, 2002). A concentração de OD em torno de 1 mg L⁻¹ na zona aeróbia é suficiente (U.S. EPA, 2007). Na zona aeróbia cada bactéria deve ter um OD de, no mínimo, 0,1 a 0,3 mg L⁻¹ para funcionar bem. Assim, é importante manter cerca de 2 mg L⁻¹ de OD no lodo ativado de maneira que as bactérias que estão contidas nos flocos possam ter acesso e pegar o oxigênio. Se o OD é menor do que 2 mg L⁻¹, as bactérias do lado externo do floco utilizam o OD antes que este possa atingir o centro do floco, podendo causar a morte das bactérias da parte central e, conseqüentemente, a quebra do floco (FERREIRA, 2003).

Valores de oxigênio dissolvido superiores à saturação (9,2 mg L⁻¹) são indicativos da presença de algas, devido à fotossíntese. Águas com baixos teores de oxigênio dissolvido indicam que houve descarte de poluentes orgânicos e inorgânicos. Com o oxigênio dissolvido entre 4 e 5 mg L⁻¹ ocorre a morte dos peixes mais exigentes e no valor de 2 mg L⁻¹ há a mortandade de todos os peixes. No valor de 0 mg L⁻¹ tem-se condições de anaerobiose (SANTOS, 2006).

O crescimento explosivo de algas em águas de superfície pode levar a sérios distúrbios ao meio ambiente, pois de dia as algas são produtoras de oxigênio através do processo de fotossíntese, e de noite consomem oxigênio (respiração) e quando a sua concentração é muito alta poderá resultar na depleção deste gás na água com a conseqüente morte dos microrganismos e macrorganismos que dele dependem para o seu metabolismo (van HAANDEL; MARAIS, 1999).

O consumo de oxigênio para a decomposição da matéria orgânica e a respiração realizada pelo ecossistema aquático também colaboram para a diminuição da quantidade de oxigênio dissolvido na água (JANZEN; SCHULZ; LAMON, 2008).

2.6 Processos de tratamento de efluentes para Remoção Biológica de Nutrientes - RBN's

Os Processos de Remoção Biológica de Nutrientes (RBN's) promovem a remoção de nitrogênio total e fósforo total de águas residuárias através do uso de microrganismos sob diferentes condições ambientais no processo de tratamento (METCALF & EDDY, 2003).

Métodos de tratamento foram desenvolvidos, incluindo a remoção do nitrogênio e do fósforo, através de processos biológicos especialmente adaptados para estes objetivos. Nestes casos a utilização de produtos químicos foi praticamente abolida, o que representa sensível vantagem econômica e operacional (JORDÃO; PESSÔA, 1995).

Em congressos e encontros científicos internacionais, o tópico de maior discussão tem sido a Remoção Biológica de Nutrientes (RBN's), com significativos avanços sendo alcançados no sentido de uma maior compreensão do fenômeno e da sua modelagem matemática (von SPERLING, 2002).

Fundamentado no processo básico A/O (Anaeróbio>aeróbio), várias alternativas com diferentes configurações foram desenvolvidas para remoção biológica simultânea de nitrogênio e fósforo (METCALF & EDDY, 2003).

Von Sperling (2002) menciona que na Remoção Biológica de Nutrientes (RBN's) são necessárias as seguintes condições:

- Condições anaeróbias: ausência de oxigênio, ausência de nitratos, presença de sulfatos ou carbamatos;
- Condições anóxicas: ausência de oxigênio, presença de nitratos;
- Condições aeróbias: presença de oxigênio.

Todos os processos biológicos para remoção de nitrogênio incluem uma zona aeróbia na qual ocorre a nitrificação e uma zona anóxica para que ocorra a desnitrificação (METCALF & EDDY, 2003; JEYANAYAGAM, 2005, apud U.S. EPA 2007).

A remoção avançada de fósforo no tratamento de esgotos por meio de processos biológicos baseia-se na alternância entre condições anaeróbias e aeróbias, situação que faz com que um determinado grupo de bactérias assimile uma quantidade de fósforo superior à requerida para os processos metabólicos usuais. Ao se retirar estas bactérias do sistema através do descarte do lodo, está-se

retirando, em decorrência, o fósforo absorvido pelas mesmas (METCALF & EDDY, 2003; von SPERLING, 1996).

Em 1972 o prof. James Barnard testou em Pretória, África do Sul, uma modificação do processo dos lodos ativados de baixa capacidade, capaz de remover até 95% do nitrogênio e simultaneamente precipitar até 97% de fosfatos, sem adição de produtos químicos. A este processo denominou-se Bardenpho, originário de "**Barnard Denitrification and Phosphorus Removal**" (JORDÃO; PESSÔA, 1995).

O processo Bardenpho original, para remoção de nitrogênio, consiste de quatro estágios em seqüência anóxico-aeróbio-anóxico-aeróbio, com um reciclo interno do primeiro estágio aerado ao primeiro estágio anóxico. Posteriormente Barnard propôs o uso de uma zona anaeróbia instalada posteriormente ao processo Bardenpho, para remoção simultânea de nitrogênio e fósforo, que foi denominado de "Processo Bardenpho Modificado" (U.S. EPA, 1987).

Após o funcionamento da planta piloto do processo Bardenpho, inúmeros outros processos de lodo ativado foram modificados para investigar a exequibilidade da remoção biológica do fósforo, por meio do desligamento dos aeradores na entrada dos reservatórios para criar um ambiente anaeróbio (U.S. EPA, 1987). A conversão para o sistema biológico foi realizada com a simples construção de paredes divisórias nos tanques e instalação de misturadores nas zonas anaeróbias (MESERB, 2005).

Uma variante do processo Bardenpho, o processo A²/O (anaeróbio – anóxico – aerado) remove nitrogênio e fósforo, e tem sua origem no processo A/O (anaeróbio – aerado) que foi preliminarmente projetado para a remoção de fósforo. É utilizado reciclo interno que pode variar de 100 a 300% da zona aerada (estágio da nitrificação) para adicionar nitrato na zona anóxica (estágio da desnitrificação) (U.S. EPA, 1987).

As eficiências na remoção de nitrogênio e fósforo estão relacionadas à porcentagem e o conteúdo da taxa de reciclo do líquido à zona anóxica e a taxa do retorno do lodo para a zona anaeróbia (WEF e ASCE/EWRI, 2006, apud U.S. EPA, 2007).

Das alternativas existentes para adequar sistemas de tratamento de efluentes convencionais já existentes para processos biológicos para remoção de nutrientes, a opção mais comumente usada é o processo A²O (MESERB, 2005).

Segundo Metcalf & Eddy (2003), para a remoção biológica de fósforo, tanques anaeróbios têm sido instalados em frente a muitos tipos diferentes de processos aerados, como por exemplo, de lodos ativados.

A remoção de fósforo até recentemente era efetuada através da precipitação química de fosfato, usando-se cal ou sais de alumínio ou ferro. Tendo-se em vista os custos elevados e a complexidade do processo, nos últimos anos há uma mudança acelerada para a remoção biológica de fósforo. Hoje na grande maioria, quando se projeta sistemas de remoção de fósforo, os métodos químicos são auxiliares ao método biológico (van HAANDEL; MARAIS, 1999).

Sistemas de remoção biológica de fósforo requerem maior investimento inicial e menores despesas com a operação e manutenção, ao passo que os sistemas de tratamentos químicos requerem investimento inicial mais baixo, porém as despesas com operação e manutenção são mais elevadas (MESERB, 2005).

Comparado com a remoção biológica do fósforo, os processos químicos possuem custos operacionais maiores, produzem mais lodo, e resultam na adição de químicos no lodo (METCALF & EDDY, 2003). Quando níveis de fósforo são necessários perto de $0,1 \text{ mg L}^{-1}$, uma combinação de processos biológico e químico tem menor custo do que um ou outro processo sozinho (U.S. EPA, 2007).

As principais vantagens da remoção biológica do fósforo são a redução dos custos com produtos químicos e a menor geração de lodo, se comparado com a precipitação química (JORDÃO; PESSÔA, 1995; METCALF & EDDY, 2003).

Baseado nos resultados de uma recente pesquisa junto às atuais estações de tratamento biológico nos EUA, somente 40% delas não utilizavam algum tipo de produto químico para atingir concentrações de fósforo em seus efluentes abaixo de $1,0 \text{ mg L}^{-1}$. A necessidade de usar produtos químicos está mais relacionada às características dos afluentes do que com os projetos de remoção biológica (MESERB, 2005).

2.7 Avaliação do desempenho ambiental de processos industriais

Uma metodologia desenvolvida para avaliação do desempenho de processos industriais foi baseada nas recomendações descritas pela norma ISO 14.004:2005. Esta metodologia envolve todas as fases de uma Análise do Ciclo de Vida (ACV).

Com o intuito de avaliar o desempenho ambiental de um processo foram desenvolvidos índices ambientais, que utilizam no seu cálculo o atendimento à legislação ambiental e a disponibilidade de recursos naturais e energia. Os índices encontram-se listados a seguir, enquanto o índice de eutrofização e o índice de destruição de oxigênio dissolvido são descritos mais detalhadamente, pois possuem relação direta com o consumo de água e geração de efluentes conforme Santos (2006):

- Índice de aquecimento global;
- Índice de destruição da camada de ozônio;
- Índice de acidificação;
- Índice de formação de oxidantes químicos;
- Índice de toxicidade;
- Índice de consumo de recursos naturais;
- Índice de consumo de energia;
- Índice de distúrbio local por material particulado.

2.7.1 Índice de eutrofização - IE

A eutrofização pode ser definida pelo crescimento excessivo das plantas aquáticas a níveis tão altos que podem ser causadores de interferências com os usos desejáveis do corpo d'água (SANTOS, 2006).

Quando se introduzem elevadas concentrações de nutrientes, principalmente fósforo e nitrogênio, há um grande crescimento da população de algas, que obtêm sua fonte de energia pelo processo de fotossíntese. Em períodos de grande insolação, a superpopulação de algas impede a passagem de raios solares nas camadas inferiores do corpo d'água, provocando a morte de algas dessa região, causando anaerobiose. Há então, um aumento da concentração de bactérias heterotróficas, que se alimentam da matéria orgânica das algas e de outros microorganismos mortos. Essas bactérias consomem o oxigênio dissolvido na água causando mortandade de peixes e dissolução de compostos tóxicos (SANTOS, 2006).

Potenciais de eutrofização têm sido desenvolvidos para comparar as emissões de diferentes compostos. O potencial de eutrofização é a relação entre o número de moles de nitrogênio atômico liberado de uma molécula da substância em questão no meio ambiente dividido pela massa molecular da mesma, multiplicado pela massa molecular do íon nitrato (NO_3^-), que é 62 g mol^{-1} e dividido por 1, que é o número de moles de nitrogênio atômico liberados pelo íon nitrato (NO_3^-). Pode também ser considerado o íon fosfato (PO_4^{-3}) e o gás oxigênio (O_2) (SANTOS, 2006).

O índice de eutrofização é calculado dividindo as emissões totais do processo, medidas em íon nitrato (NO_3^-) equivalente, pela emissão máxima permitida. Quando não há valor para emissão máxima, utiliza-se o valor de 3358 mg L^{-1} , que é o valor máximo permitido pela *Environmental Protection Agency* (EPA) dos Estados Unidos para indústrias de fertilizantes (SANTOS, 2006).

2.7.2 Índice de destruição do oxigênio dissolvido - IDOD

A matéria orgânica da água é necessária aos seres heterótrofos, para sua nutrição e aos autótrofos como fonte de nutrientes e gás carbônico. Porém, em grandes quantidades, pode provocar redução do teor de oxigênio dissolvido, pois bactérias fazem uso do oxigênio dissolvido em seus processos respiratórios (SANTOS, 2006).

O cálculo do índice de destruição de oxigênio dissolvido é feito pelo somatório da divisão das emissões de DQO do processo pela emissão máxima permitida de cada efluente. Deve-se ter, também, dados de vazão de cada efluente (SANTOS, 2006).

2.7.3 Índice de pressão ambiental - IPA

O índice de pressão ambiental é resultado da agregação de todos os outros índices criados para medir o desempenho ambiental de um processo. Ele é calculado pelo somatório do produto de cada índice por seu respectivo peso. O peso dos índices para a composição do resultado final do índice de pressão ambiental é

calculado em função da pressão ambiental relativa de cada índice, baseada nos níveis de emissão permitidos pela legislação ambiental (SANTOS, 2006).

O índice de pressão ambiental é um número adimensional, que representa a performance ambiental de um processo com relação à legislação ambiental. O ideal é que o valor do índice varie de 0 a 1, sendo o valor unitário a pressão máxima permitida pela legislação ambiental (SANTOS, 2006).

2.7.4 Software SAAP - Sistema de Avaliação Ambiental de Processos

O programa computacional SAAP foi desenvolvido visando padronizar e facilitar a utilização de uma metodologia para avaliar o desempenho ambiental de processos industriais, baseadas na ACV e na norma ISO 14.031 (SANTOS, 2006).

O SAAP permite calcular os índices ambientais de cada categoria de impacto ambiental e o índice de pressão ambiental final (IPA), a partir de um inventário ambiental. Também é considerada a emissão máxima permitida de cada categoria de impacto ambiental e a disponibilidade de energia e recursos naturais para as categorias de consumo de energia e consumo de recursos naturais respectivamente (SANTOS, 2006).

2.8 Legislação ambiental

Os cursos de água são classificados de acordo com seus respectivos usos. Para cada um deles são estabelecidos limites máximos de características que a água pode apresentar chamados de *Padrões de Qualidade* (BRAGA et al., 2002).

Os dispositivos legais Federal e Estadual em vigor, relacionados ao padrão de qualidade de lançamento de efluentes, são:

- Legislação Federal

RESOLUÇÃO CONAMA 357/2005, que dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências.

- Legislação Estadual

RESOLUÇÃO CONSEMA nº 128/2006, que dispõe sobre a fixação de padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no estado do Rio Grande do Sul;

RESOLUÇÃO CONSEMA nº 129/2006, que dispõe sobre a definição de critérios e padrões de emissão para toxicidade de efluentes líquidos lançados em águas superficiais do estado do Rio Grande do Sul. Para as empresas que geram até 100 m³/dia de efluente, que é o caso da empresa investigada, esta resolução estabelece o prazo de quatro anos para que seja atendido o padrão de toxicidade aguda de seus efluentes e oito anos para que os mesmos não apresentem toxicidade aguda. Estabelece também o prazo de 12 anos para que os efluentes não apresentem toxicidade crônica e 14 anos para não apresentarem genotoxicidade. Empresas que possuem um volume maior de efluente gerado deverão atender os padrões de toxicidade em prazos menores.

3 METODOLOGIA

3.1 Delineamento da Pesquisa

A metodologia empregada envolveu o acompanhamento do processo produtivo e os principais procedimentos utilizados na empresa investigada. Observou-se o processo e realizou-se a coleta de amostras nos meses de abril, maio e junho de 2009 com o objetivo de contemplar um ciclo de produção (época de safra) do beneficiamento de tabaco. Na Figura 2 é apresentado o fluxograma metodológico.



Figura 2. Fluxograma simplificado da metodologia utilizada.

Com a intenção de se obter informações a respeito da empresa investigada buscou-se questionamentos com funcionários, operadores e supervisores de diversos setores, as quais foram imprescindíveis para obtenção de dados quantitativos para posterior análise e processamento.

Com o acompanhamento das atividades da indústria, identificaram-se pontos e setores com maior consumo de água e geração de efluentes. Esses pontos serviram de amostragem para determinação de parâmetros analíticos nos pontos considerados mais críticos e, também, com o objetivo de avaliar a eficiência do sistema de tratamento de efluentes considerando os índices de eutrofização e de destruição de oxigênio dissolvido. As análises foram realizadas a fim de ter resultados em época de safra do beneficiamento do tabaco no ano de 2009.

3.2 Metodologia Analítica

As coletas, preservação e análises das amostras foram realizadas seguindo a metodologia do APHA/AWWA/WEF-*Standard methods for the examination of water and wastewater* (1998). As análises foram realizadas na Central Analítica da Universidade de Santa Cruz do Sul. Os seguintes parâmetros, foram analisadas, DBO₅, DQO, fósforo total, fosfato, nitrato, nitrogênio amoniacal, nitrogênio total *Kjeldahl*, oxigênio dissolvido, coliformes termotolerantes, pH e sólidos suspensos. A metodologia utilizada está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2. Métodos analíticos para caracterização dos efluentes.

Parâmetro	Método
DQO	Método Dicromatométrico
DBO ₅	Incubação a 20 °C por 5 dias
Nitrogênio total <i>Kjeldahl</i>	Método de <i>Nessler</i>
Nitrato	Espectrometria UV-Visível
Nitrogênio amoniacal	Método de <i>Nessler</i>
Oxigênio dissolvido	Método de <i>Winkler</i>
Fósforo total	Espectrometria Visível
Fosfato	Espectrometria Visível
Sólidos suspensos	Método Gravimétrico
pH	Método Potenciométrico
Coliformes Termotolerantes	Tubos Múltiplos/ Princípio de Diluição para Extinção/Equação de <i>Thompson</i>

3.3 Determinações qualitativas e quantitativas de indicadores ambientais

Para identificar e compreender seus aspectos ambientais é recomendado que a organização colete dados quantitativos e/ou qualitativos sobre as características de suas atividades, produtos e serviços, tais como entradas e saídas de materiais ou energia, processos e tecnologias utilizadas, instalações e localizações, métodos de transporte e fatores humanos (ABNT NBR ISO 14.004:2005).

Segundo a ABNT NBR ISO 14001:2004, é recomendado que a organização estabeleça critérios e um método para determinar aqueles impactos que serão considerados significativos. Não há um método único para que os aspectos ambientais significativos sejam determinados. Contudo a norma recomenda que o método utilizado forneça resultados coerentes e inclua o estabelecimento e a aplicação dos critérios de avaliação, tais como aqueles relativos às questões ambientais, questões legais e às preocupações das partes interessadas internas e externas.

3.3.1 Matriz de Leopold

As análises e avaliações foram feitas com base na identificação dos processos advindos das diversas formas de usos no empreendimento com o conseqüente surgimento de processos e impactos ambientais no meio físico, biótico e antrópico.

A identificação e caracterização qualitativa dos impactos foram feitas a partir da utilização do método Matriz de Interação Derivada da Matriz de Leopold (LEOPOLD et al., 1971).

A avaliação de impacto ambiental é um procedimento complexo que envolve a contribuição de inúmeras técnicas, além de ciências econômicas e humanas. A evolução da matriz de Leopold é baseada no julgamento subjetivo de profissionais experientes (ANILE; DEODATO; PRIVITERA, 1995). Uma crítica feita à metodologia da matriz de interação foi a subjetividade na quantificação da interação (MUNN, 1979, BOJÓRQUEZ-TAPIA et al., 1998, apud MAVROULIDOU; HUGHES; HELLAWELL, 2004).

Os prováveis impactos ao meio físico, biótico e antrópico decorrentes das atividades ou ações consideradas e representadas na matriz de interação, foram listados em consonância a cada elemento do meio. A identificação dos impactos se deu a partir da relação entre a ação prevista (linha) e o fator ambiental considerado (coluna) e sua caracterização qualitativa.

A vantagem da metodologia da matriz de interação é sua habilidade para investigar as interações de cada elemento com outro elemento do sistema individualmente, bem como a interação de cada elemento do sistema com o sistema como um todo (MAVROULIDOU; HUGHES; HELLAWELL, 2007).

A qualificação dos impactos seguiu os seguintes critérios, conforme apresentado por Silva (1996):

Características de valor:

- a) *Impacto positivo*: quando uma ação causa melhoria da qualidade de um parâmetro;
- b) *Impacto negativo*: quando uma ação causa dano à qualidade de um parâmetro.

Características de ordem:

- a) *Impacto direto*: quando resulta de uma simples relação de causa e efeito;
- b) *Impacto indireto*: quando é uma reação secundária em relação a ação.

Características espaciais:

- a) *Impacto local*: quando a ação circunscreve-se ao próprio sítio e suas imediações;
- b) *Impacto regional*: quando um efeito se propaga por uma área além das imediações;
- c) *Impacto estratégico*: o componente é afetado coletivo, nacional ou internacional.

Características temporais:

- a) *Impacto em curto prazo*: quando o efeito surge no curto prazo (três meses);
- b) *Impacto em médio prazo*: quando o efeito se manifesta no médio prazo (seis meses);
- c) *Impacto em longo prazo*: quando o efeito se manifesta no longo prazo (um ano).

Características dinâmicas:

- a) *Impacto temporário*: quando o efeito permanece por um tempo determinado;
- b) *Impacto cíclico*: quando o efeito se faz sentir em determinados períodos (ciclos);
- c) *Impacto permanente*: executada a ação, os efeitos não cessam de se manifestar num horizonte temporal conhecido.

Características plásticas:

- a) *Impacto reversível*: a ação cessada, o fator ambiental retorna às condições originais;
- b) *Impacto irreversível*: quando cessada a ação, o fator ambiental não retorna às suas condições originais, pelo menos num horizonte de tempo aceitável pelo homem.

3.3.2 Índices de Impacto Ambiental

Para as avaliações de indicadores de impacto ambiental foi utilizada a metodologia e *software* do Sistema de Avaliação Ambiental de Processos Industriais-SAAP (SANTOS, 2006). Foram determinados os índices de eutrofização (IE), índice de destruição do oxigênio dissolvido (IDOD) e índice de pressão ambiental (IPA). As referências de limites de legislação seguiram a Portaria N. 128/2006-SSMA/RS e as recomendações de Santos (2006).

O índice de eutrofização foi calculado dividindo as emissões totais nos meses de coleta, medidas em íon nitrato (NO_3^-) equivalentes, pela emissão máxima permitida, e comparados a legislação brasileira a Portaria N. 128/2006-SSMA/RS.

Para o IDOD utilizaram-se os valores de emissão de DQO nos meses de caracterização e o limite máximo de emissão da resolução conforme Portaria N. 128/2006-SSMA/RS.

Já o IPA envolveu o estabelecimento dos pesos dos dois índices de impactos ambientais determinados (IE e IDOD), o que foi feito também pela aplicação do *software* SAAP. O programa executou automaticamente a compilação dos índices e o estabelecimento dos pesos (SANTOS, 2006).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Perfil produtivo da indústria

A Figura 3 apresenta de forma resumida o fluxograma do processo produtivo do beneficiamento do tabaco, com o detalhamento das atividades ao lado.

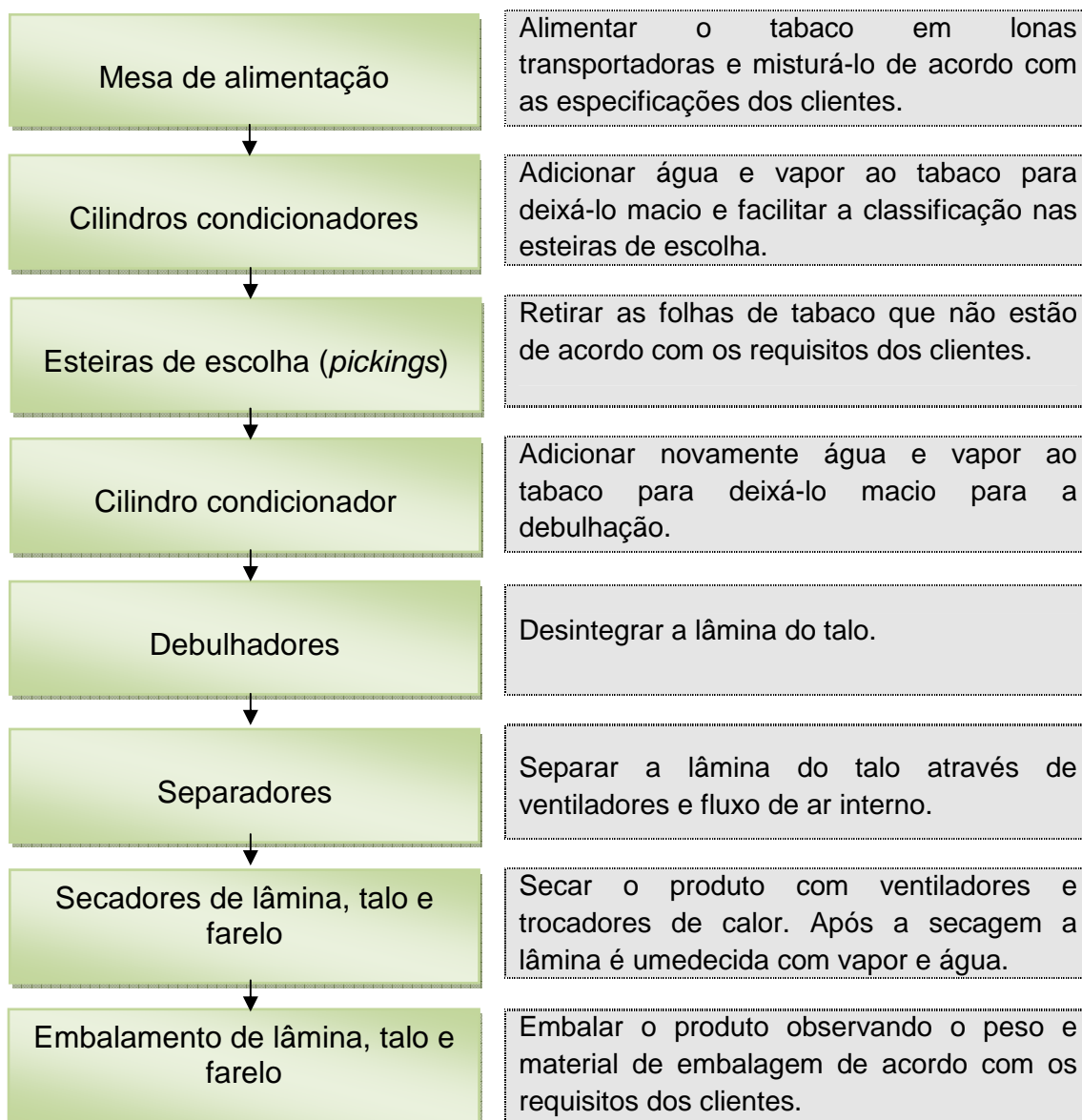


Figura 3. Fluxograma do beneficiamento do tabaco.

As máquinas do processo de beneficiamento de tabaco que geram efluentes são os cilindros condicionadores, o secador de lâminas e a caldeira.

4.2 Captação e gerenciamento de águas

A empresa investigada possui um poço artesiano, um hidrômetro, dois reservatórios de água com capacidade para 50 mil litros cada, sistema de tratamento (cloração e fluoração) e ramais de distribuição da água para o refeitório, sanitários, processo industrial e caldeira. O consumo de água durante a safra é de, aproximadamente, 3.700 m³ ao mês.

A qualidade da água é monitorada diariamente, em que é realizado o ensaio de cloro residual. Também são realizados ensaios por laboratório credenciado para o atendimento dos requisitos do Termo de Compromisso com a Secretaria Municipal de Saúde (Vigilância Sanitária) e a Portaria 233/2005 do DRH - Departamento de Recursos Hídricos.

4.3 Estação de Tratamento de Efluentes

No projeto original da ETE, bem como dois anos após, no projeto de readequação do sistema de tratamento, não foi considerado como um objetivo explícito a remoção do fósforo. A sua alta taxa de ocorrência e o seu impacto ambiental negativo decorrente de seu lançamento no meio ambiente ressalta a grande importância que deve ser atribuída à mesma.

Existia desde o princípio uma determinação quanto ao tratamento biológico, sem a utilização de produtos químicos em qualquer que fosse a etapa do tratamento das águas residuárias.

Desde a sua fundação a empresa desenvolveu várias ações, nos moldes da Produção Mais Limpa, relacionadas ao uso das águas que culminaram na melhora da eficiência do sistema de tratamento da ETE.

Em fevereiro de 2008 foram realizadas modificações na lagoa aerada facultativa que consistiu do posicionamento dos aeradores a jusante e recirculação do afluente, tornando a dinâmica hidráulica do lago semelhante ao sistema pré-

anóxico. Esta modificação contribuiu significativamente para redução do nitrogênio do efluente final.

A ETE possui como característica principal o processo biológico e é formada por:

- Caixa de gordura;
- Peneira estática;
- Gradeamento;
- Desarenador;
- Tanque de homogeneização;
- Reator anaeróbio UASB;
- Leito de secagem do lodo;
- Filtro biológico de alta carga;
- Decantador;
- Lagoa aerada facultativa;
- Medidor de vazão.

As características dos principais equipamentos da Estação de Tratamento de Efluentes da empresa investigada são:

- Tanque de homogeneização com 75 m³ de área total, sendo dividido em dois compartimentos, um com 50 m³ e outro com 25 m³, conforme Figura 4.

A divisão proporciona o uso parcial ou total da área do tanque, de acordo com a vazão dos afluentes durante a safra e entre safra e o controle da vazão ocorre através de uma bóia e de bombas de fuso acionadas por inversores de frequência, que modulam o fluxo de acordo a vazão do esgoto afluente.



Figura 4: Tanque de homogeneização.

- Um reator anaeróbio UASB apresentado na Figura 5 tem volume total de 21 m³, com diâmetro interno de 3,0 m e altura de 3,0 m. Neste reator a biomassa cresce dispersa no meio. A própria biomassa, ao crescer, pode formar pequenos grânulos, correspondente à aglutinação de diversas bactérias. Esses pequenos grânulos, por sua vez, tendem a servir de meio suporte para outras bactérias. A produção de lodo é bem baixa e já sai estabilizado, podendo ser simplesmente desidratado em leitos de secagem.



Figura 5: Reator anaeróbio UASB.

- Um filtro biológico de alta taxa com 9,81 m³, com diâmetro interno de 2,5 m e altura de 2,0 m, conforme Figura 6. O filtro biológico compreende um leito de pedras, sobre o qual o esgoto é aplicado sob a forma de gotas ou jatos, dependendo da vazão. Após a aplicação, o esgoto percola em direção aos drenos de fundo. Esta percolação permite o crescimento bacteriano na superfície da pedra na forma de uma película fixa. O esgoto passa sobre a população microbiana aderida, promovendo o contato entre os microrganismos e o material orgânico.



Figura 6: Filtro biológico de alta taxa.

- Um decantador secundário do tipo *Dortmund* com volume total de 1,77 m³, com diâmetro interno de 1,5 m e altura de 1,5 m, construído abaixo do nível do solo em função do desnível do terreno. A razão para a instalação do decantador ao final do processo é que o lodo acumulado até certo período no fundo da unidade de decantação é constituído, em sua maioria, por bactérias ainda ativas do ponto de vista da capacidade de assimilar a matéria orgânica. Deste modo, é atrativa a idéia de se utilizar estas bactérias para auxiliar na remoção da matéria orgânica. Portanto, caso se retorne o lodo sedimentado, de maior concentração (lodo ativo) ao reator, o sistema poderá assimilar uma carga maior de DBO. Esta recirculação tem também o importante papel de aumentar o tempo médio que os microrganismos permanecem no sistema.
- Uma lagoa aerada facultativa com o espelho d'água com 21,3 m de comprimento e 10,7 m de largura e 2 metros de profundidade, conforme Figura 7. A lagoa possui recirculação de líquido da zona aerada para a zona anóxica, para que ocorra a desnitrificação. *Facultativo* é o processo de tratamento biológico onde os organismos podem agir na presença ou ausência de oxigênio molecular. Nas lagoas aeradas facultativas, a energia fornecida pelos aeradores por unidade de volume, é suficiente somente para a difusão de oxigênio na massa líquida, mas insuficiente para manter os sólidos em suspensão. Conseqüentemente, a parte superior da lagoa será aeróbia, mas a inferior será completamente anaeróbia, pela sedimentação dos sólidos, originando assim o nome de *facultativa*. O vertedouro triangular está localizado a montante da lagoa aerada facultativa.



Figura 7: Lagoa aerada facultativa

- Uma lagoa paisagística após a ETE, conforme Figura 8, onde há instalada uma bomba de água com recirculação de líquido para a lagoa aerada facultativa ou para o tanque de homogeneização. Esta recirculação auxilia na manutenção do sistema biológico nos períodos de férias coletivas, quando há uma redução significativa de alimento para as bactérias.



Figura 8: Lagoa paisagística.

- Um *wetland* natural otimizado, de 70 metros de comprimento, com uma zona de escoamento superficial e outra com infiltração sub-superficial, formada por uma camada de brita nº 1, com 30 cm de altura e 3 metros de largura, povoada por plantas macrófitas, conforme Figura 9.



Figura 9: *Wetland* natural otimizado.

O projeto arquitetônico da ETE da empresa investigada se vale do desnível do terreno para escoar o efluente por gravidade, evitando com isso a utilização de motores e bombas. Sua configuração é conforme a Figura 10.

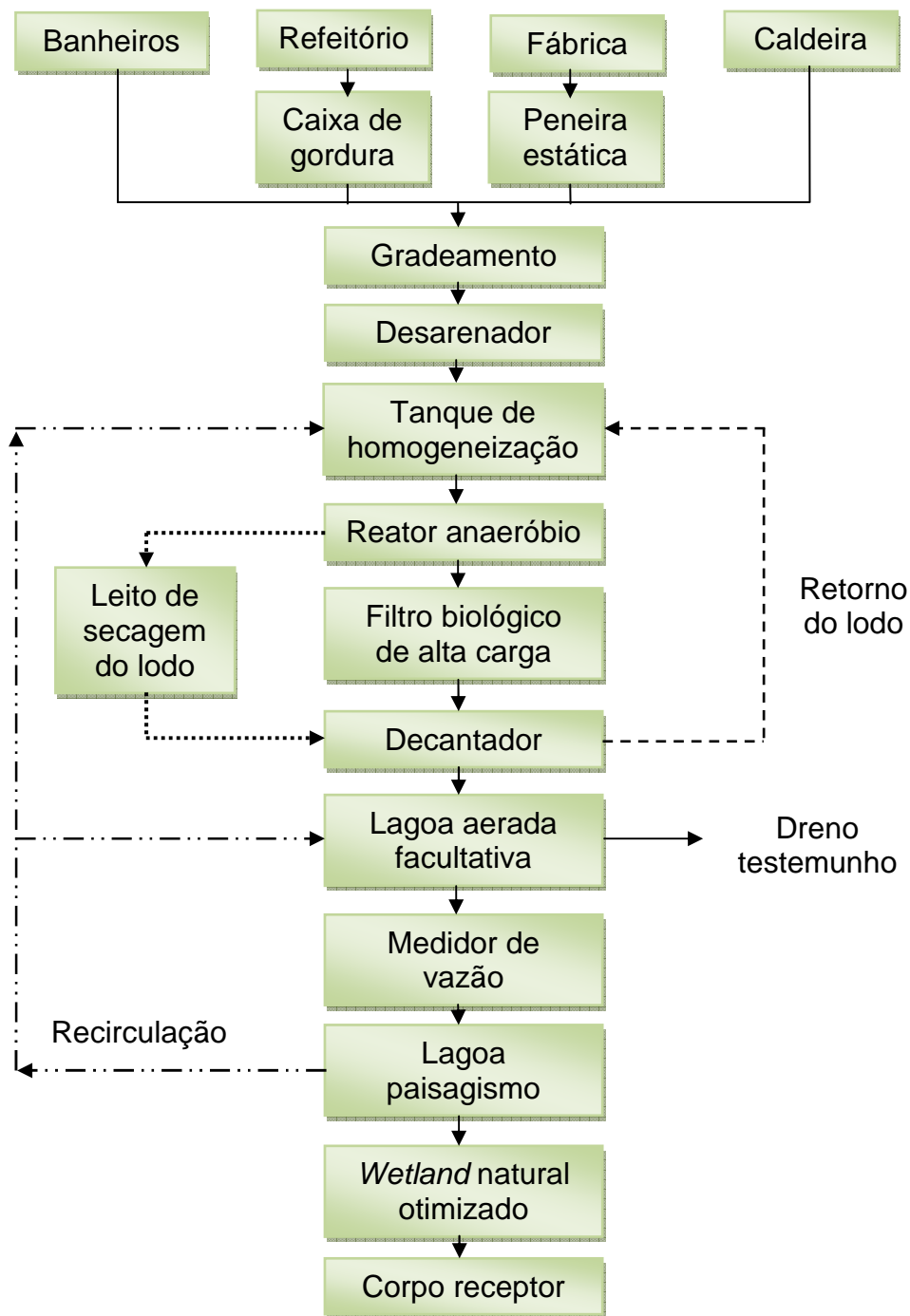


Figura 10. Fluxograma do curso dos efluentes e da ETE.

4.4 Vazão do efluente da empresa investigada

Na Tabela 3 são apresentados os dados referentes a vazão no período de safra, operando em três turnos.

Tabela 3. Vazão típica do efluente.

Geração	m³ dia⁻¹	% de contribuição
Refeitório e sanitários	20,4	53
Purga da caldeira	12,0	31
Industrial	6,0	16
TOTAL	38,4	100

Fonte: Planilha de acompanhamento do técnico responsável pela ETE.

As características típicas da variação da vazão do efluente nos períodos de safra, comuns às empresas fumageiras, podem ser consideradas como:

- Variações bruscas na vazão do efluente em função de mudanças no número de funcionários (sanitários e lavagens no refeitório) e lançamento do efluente industrial, devido ao início e término de turnos, bem como da existência ou não de sub-processos, como por exemplo, a destala manual;
- Variações nas características físicas do efluente industrial oriundas do secador de lâminas (condensação do vapor), devido aos diferentes tipos de fumos;
- Aproximadamente 53% do efluente gerado tem a característica do esgoto doméstico (sanitários, refeitório, lavagens) e 47% de líquido é proveniente do processo industrial (purga da caldeira, secador de lâminas e cilindros condicionadores).

E, as características típicas da variação da vazão do efluente nos períodos de entre-safra podem ser consideradas como:

- Redução considerável na vazão do efluente devido ao reduzido número de funcionários e devido às férias coletivas;
- Lavagem de máquinas;

- Obras civis em determinadas épocas, aumentando com isso o número funcionários terceirizados na planta e conseqüentemente maior geração de esgoto;
- Cem por cento do efluente têm a característica do esgoto doméstico.

Para amenizar impactos negativos relacionados às variáveis mencionadas acima, a empresa possui um tanque de homogeneização e equalização da vazão, que opera com uma bóia para medição do nível do líquido, interligada com bombas de fuso acionadas por inversores de frequência, que modulam o fluxo de acordo com a vazão do esgoto efluente.

A Melhoria Contínua do Sistema de Gestão Ambiental está presente em todos os processos da empresa investigada. Abaixo estão relacionados alguns dos projetos desenvolvidos na empresa que estão relacionados à gestão hídrica:

- Projeto de readequação da ETE, onde foram construídos um tanque de homogeneização/equalização e a lagoa aerada facultativa;
- Desenvolvimento de um novo sistema de bicos atomizadores no secador de lâminas, que reduziu em 50% a emissão de efluente industrial;
- Manutenção sistemática nos registros e válvulas dos sanitários para evitar desperdícios de água;
- Mudanças em procedimentos no refeitório que diminuíram o consumo de detergentes e água;
- Resfriamento da água da purga da caldeira antes do seu lançamento para a ETE;
- Automação no tratamento da água da caldeira para reduzir o lançamento de fosfato no seu efluente;
- Otimização de um *wetland* natural com um trecho de escoamento superficial e outro trecho com infiltração sub-superficial com pedra brita nº 1, com 30 cm de espessura e 3 m de largura e 70 m de comprimento, povoada com plantas macrófitas.

4.5 Caracterização dos efluentes

4.5.1 Caracterização do Efluente Bruto e Tratado

Quando se pretende implantar um sistema de melhoria de efluentes torna-se importante conhecer as suas características, tanto em termos de parâmetros físico-químicos convencionais de monitoramento (pH, DQO, DBO₅, turbidez, surfactantes, coliformes termotolerantes entre outros), como também, e principalmente, em relação aos parâmetros que estão diretamente relacionados com este tipo de efluente como o Nitrogênio e o Fósforo. Esta caracterização do efluente é apresentada na Tabela 4 e foi realizada através de amostras coletadas junto à Estação de Tratamento de Efluente da empresa investigada.

Observando a Tabela 4 em termos de valores finais do efluente tratado, a maioria dos parâmetros analisados encontra-se dentro das faixas exigidas pela lei em vigor, a portaria N. 128/2006-SSMA.

De fevereiro a abril a empresa operou na jornada de dois turnos, sendo que de maio a julho em três turnos e no mês de agosto novamente em dois turnos.

Na safra de 2009 houve um incremento de 20% no número de funcionários safristas que não estava previsto, em função de incremento nas vendas, bem como um incremento de 8% na capacidade produtiva em comparação com a safra passada, contribuindo com o aumento da geração de efluente industrial.

Tabela 4. Dados referentes a estação de tratamento do efluente bruto e tratado nos meses de abril, maio e junho.

Parâmetro	Abril		Maio		Junho		Resolução CONSEMA 128/2006
	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado	Bruto	Tratado	
DBO ₅ (mgL ⁻¹ (O ₂))	980	168	694	71	803	94,0	150
DQO (mgL ⁻¹)	1.297	212	956	236	1.103	229	360
Fosfato (mgL ⁻¹)	11,35	12,64	1,50	1,43	28,37	23,62	-
Fósforo total (mgL ⁻¹)	3,70	4,12	0,50	0,43	9,25	7,70	4
Nitrato (mgL ⁻¹ (N-NO ₃ ⁻))	37,8	76,4	6,0	6,6	7,6	3,9	-
Nitrogênio Amoniacal (mgL ⁻¹)	90,6	19,7	80,7	87,9	86,3	100,6	20
Nitrogênio total <i>Kjeldahl</i> (mgL ⁻¹)	91,1	23,0	86,1	89,0	105,3	100,6	20
NMP de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	610	81	200	400	1.500	47.000	100.000
Oxigênio dissolvido (mgL ⁻¹)	<0,1	2,2	0,8	0,7	0,1	3,4	-
pH	8,0	7,3	7,6	7,6	7,8	7,8	Entre 6,0 e 9,0
Sólidos suspensos (mgL ⁻¹)	200	46,7	200,0	64,0	287,5	87,5	155
Temperatura (°C)	-	20	-	28	-	18	≤ 40

Conforme observado na Tabela 4, os parâmetros de DBO_5 , DQO e sólidos suspensos apresentaram redução satisfatória após o tratamento, apesar do aumento do número de funcionários com o início do terceiro turno.

O parâmetro pH apresentou resultados satisfatórios em todos os meses analisados, tanto no efluente bruto quanto no tratado.

Nos meses abril e junho o parâmetro fósforo total não atingiu o padrão da Resolução CONSEMA 128/2006. Os resultados das análises indicaram para o mês de junho os maiores valores de $7,70 \text{ mg L}^{-1}$ para fósforo total, o que se justifica a partir da maior demanda na utilização da ETE.

Nitrogênio amoniacal não atingiu o padrão da legislação nos meses de maio e junho.

Também o parâmetro Nitrogênio Total *Kjeldahl* não atendeu o padrão da legislação nos meses de abril, maio e junho. Os valores mais elevados foram da ordem de $89,0 \text{ mg L}^{-1}$ para a amostra de maio e $100,6 \text{ mg L}^{-1}$ para a amostra de junho, valores estes muito acima da legislação vigente para o efluente tratado na ETE. Os valores apresentados configuram o potencial eutrofizante e demonstra ineficiência do sistema para remover nitrogênio total e fósforo total.

Os coliformes termotolerantes apresentam em maio e junho valores mais elevados para o efluente tratado que no bruto, mostrando claramente que a ETE não comporta a demanda imposta nestes meses, embora que os valores do efluente tratado estejam de acordo com a portaria N. 128/2006-SSMA.

O uso indevido da bomba de reciclo da lagoa paisagística para a lagoa aerada facultativa aumentou a vazão e, conseqüentemente, contribuiu para a redução da eficiência na remoção dos coliformes termotolerantes. Após detectar este problema foi realizado novamente, em agosto, análise de coliformes termotolerantes e constatou-se que os valores reduzem após o tratamento, conferindo com o esperado para este tipo de tratamento.

O aumento do número de funcionários acima do orçado e a diminuição da temperatura do efluente em junho, contribuíram para a redução da eficiência da ETE.

4.5.2 Caracterização do efluente da caldeira

A caldeira flamotubular marca Aalborg, modelo 28 LC, que usa como combustível a lenha e que tem a capacidade para 8,0 ton/hora de geração de vapor saturado, é o maior contribuinte pontual de fósforo no efluente da ETE.

Os produtos químicos utilizados para o tratamento da água da caldeira são fornecidos pela empresa GE Betz do Brasil Ltda., que pertence à Divisão *Water & Process Technologies* da GE. Os mesmos estão em conformidade para aplicação em indústrias alimentícias, e tem seus ativos aprovados pelo FDA – *Food and Drug Administration* dos EUA para uso direto do vapor em alimentos. As normas estabelecidas pelo FDA são aceitas mundialmente.

Segundo Fernandes (2007), o tratamento químico da água da caldeira é realizado com a finalidade de prevenir e controlar os processos de corrosão, arraste e incrustações.

Para a melhor compreensão da relação entre o tratamento químico e a geração de fósforo da descarga da água da caldeira, se faz necessária uma breve explicação dos processos mencionados no parágrafo anterior.

Corrosão: É um processo eletro-químico onde os metais (no caso o ferro da tubulação da caldeira) perdem elétrons passando da forma metálica para a forma solúvel, causando o desgaste do material ao longo do tempo.

Arraste: É o processo em que há a saída de água da caldeira, na forma de névoa ou de jorro. Esta água é indesejável, pois causa danos aos equipamentos e contamina os produtos, no caso da empresa investigada, o tabaco. Ocorre quando há supersaturação de sólidos totais dissolvidos na caldeira ou alcalinidade total extremamente elevada ou ainda pela presença de contaminantes orgânicos, como por exemplo, óleos vegetais e gorduras animais. Podem-se ter, também, como causas do arraste, problemas mecânicos na caldeira, problemas operacionais e falhas do equipamento.

Incrustação: Ocorre quando é ultrapassado o limite de solubilidade de um determinado composto químico na temperatura e pressão de operação da caldeira. Os compostos potencialmente incrustantes são a sílica, ferro total e sais de cálcio e de magnésio.

Segundo Baird (2002) íons de cálcio e/ou magnésio são os principais responsáveis pela dureza total da água.

4.5.2.1 Tratamento químico da água da caldeira

A *corrosão* é controlada com seqüestrante de oxigênio à base de sulfito de sódio, com álcalis para controle de pH e aminas voláteis para controle da corrosão na pós-caldeira. O tratamento para controle da corrosão não contribui com a geração de resíduos de fósforo.

O *arraste* é controlado com as descargas de fundo da caldeira, portanto não é empregado produto químico.

A *incrustação* ocorre quando a dureza da água de reposição da caldeira é superior a 10 mg L⁻¹. Neste caso a água deve ser tratada com fosfatos e dispersantes, ou ainda com compostos com elevados teores de fósforo.

Especificamente na empresa investigada, onde a água de reposição da caldeira possui valores médios de 25 mg L⁻¹ de dureza de cálcio, são empregados produtos à base de tripolifosfato de sódio e dispersantes (o dispersante utilizado não contém fósforo).

O tripolifosfato de sódio sob a temperatura da caldeira reverte a ortofosfatos que reagem com o cálcio, produzindo um composto chamado de hidroxiapatita de cálcio e, ainda, se mantém um residual de segurança de ortofosfato de 30 a 50 mg L⁻¹. Tanto o ortofosfato quanto a hidroxiapatita são eliminados pela purga da caldeira e são os compostos contribuintes de fósforo para a ETE.

4.5.2.2 Geração de fósforo na purga da caldeira

A contribuição diária de fósforo oriundo da caldeira, com regime de trabalho em três turnos, é de 194 g diluídos no volume de 12 m³ dia⁻¹ de líquido da purga, gerando uma concentração de fósforo na ordem de 16,2 mg L⁻¹.

Sabendo-se que o efluente total gerado pela empresa por dia, com operação em três turnos, é de 38,4 m³, pode-se concluir que a contribuição do fósforo da caldeira no afluente da ETE é, em média, de 5,06 mg L⁻¹, conforme cálculo abaixo:

$$\frac{Q \text{ purga} \times P \text{ purga}}{Q \text{ total}}$$

$$\frac{12 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1} \times 16,2 \text{ mg L}^{-1}}{38,4 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}} = 5,06 \text{ mg L}^{-1}$$

A contribuição do fósforo da caldeira no efluente da empresa investigada varia de acordo com a necessidade da dosagem de produtos químicos e a frequência de purgas necessária para atingir o padrão de qualidade da água da caldeira. O controle da qualidade da água da caldeira é realizado sistematicamente por meio de ensaios de dureza da água da purga.

4.5.3 Caracterização dos efluentes dos processos industrial, caldeira, refeitórios e sanitários

Para se implantar um sistema de melhoria nos efluentes torna-se importante conhecer as suas características em termos de parâmetros físico-químicos convencionais de monitoramento de todos os setores que contribuem com efluentes. Esta caracterização do efluente dos diversos setores é apresentada na Tabela 5 e foi realizada através de amostras coletadas no mês de maio de 2009.

Tabela 5. Caracterização dos efluentes dos processos industrial, caldeira, refeitórios e sanitários, realizada em maio de 2009.

Parâmetros	Pontos de coleta		
	Industrial	Caldeira	Refeitório e sanitários
DBO ₅ (mgL ⁻¹ (O ₂))	854	9,9	778
DQO (mgL ⁻¹)	1.516	48	1.049
Fosfato (mgL ⁻¹)	1,00	11,90	1,15
Fósforo total (mgL ⁻¹)	0,30	3,90	0,40
Nitrato (mg L ⁻¹ (N-NO ₃))	6,6	5,2	6,3
Nitrogênio Amoniacal (mgL ⁻¹)	67,7	0,9	17,2
Nitrogênio total <i>Kjeldahl</i> (mgL ⁻¹)	107,4	1,2	154,9
NMP de coliformes termotolerantes (NMP/100 mL)	47	<18	24.000
Oxigênio dissolvido (mgL ⁻¹)	1,6	3,5	2,0
pH	6,3	10,5	6,9
Sólidos suspensos (mgL ⁻¹)	33,5	15,5	50,0

Os pontos industrial e refeitório e sanitários são os que mais contribuem para os parâmetros de DBO_5 e DQO para a formação do efluente bruto da ETE. O mesmo constatou-se nos parâmetros de Nitrogênio Amoniacal, Nitrogênio total *Kjeldahl*, coliformes termotolerantes e Sólidos suspensos.

O efluente da caldeira foi o que mais contribuiu nos parâmetros fosfato, fósforo total e pH.

4.6 Identificação qualitativa dos impactos ambientais

As respectivas atividades do empreendimento foram apresentadas numa Matriz de Interação de Leopold. Na Tabela 6, é apresentada a matriz onde foram identificadas 4 ações impactantes (linhas), sendo que as mesmas tiveram que ser multiplicadas por 13 fatores ambientais considerados relevantes, resultando 52 possíveis relações de impactos, e 21 impactos identificados. Dos 21 impactos identificados a partir da Tabela 6, apresentam-se os seguintes resultados para subsídio à proposição de medidas ambientais, minimizadoras ou potencializadoras conforme Figura 11:

- do total de impactos listados 100% foram negativos e nenhum impacto positivo, segundo o critério de valor ;
- com relação aos critérios de ordem, 38% foram de caráter direto e 62% de caráter indireto ;
- conforme o critério espacial, 95% foram locais e 5% estratégicos;
- para o critério de tempo, 19% foram considerados de curto prazo , 19% médio prazo e 62% longo prazo ;
- de acordo com o critério da dinâmica, 48% foram impactos temporários, 52% impactos cíclicos e nenhum impacto permanente ;
- em relação ao critério de plástica considerou-se, 100% impactos reversíveis e nenhum impacto irreversível.

Tabela 6. Matriz de identificação qualitativa dos impactos ambientais hídricos da indústria de beneficiamento de tabaco

CARACTERÍSTICAS AMBIENTAIS HÍDRICAS RELAVANTES														
Processos	Atividades Impactantes	Meio Físico				Meio Biótico	Meio Antrópico							
		Ar		Recurso Hídrico	Recurso Edáfico	Flora/Fauna	Econômico Local	Infra-estrutura	Tecnologia	Qualidade de Vida	Saúde	Desenvolvimento Regional	Paisagismo	Qualidade do Produto Final
		Partículas Sólidas	Gases e Vapores	Contaminação	Contaminação do Solo	Diminuição da diversidade								
Beneficiamento do tabaco	Efluente do Condicionamento /Secagem	-	-	NDLCYV	NDLOYV	NILMYV	-	-	-	NILOYV	NILOYV	-	-	-
Caldeira	Efluente do Tratamento da Água	-	NIEOYV	NDLCYV	NDLOYV	NILMYV	-	-	-	NILOYV	NILOYV	-	-	-
Sanitários	Efluente	-	-	NDLCTV	NDLOTV	NILMTV	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	-
Refeitório	Efluente	-	-	NDLCTV	NDLOTV	NILMTV	-	-	-	NILOTV	NILOTV	-	-	-

LEGENDA: P – positivo; N – negativo; D – direto; I – indireto; L – local; R – regional; E – estratégico; C – curto prazo; M – médio prazo; O – longo prazo; T – temporário; Y – cíclico; A – permanente; V – reversível; S – irreversível.

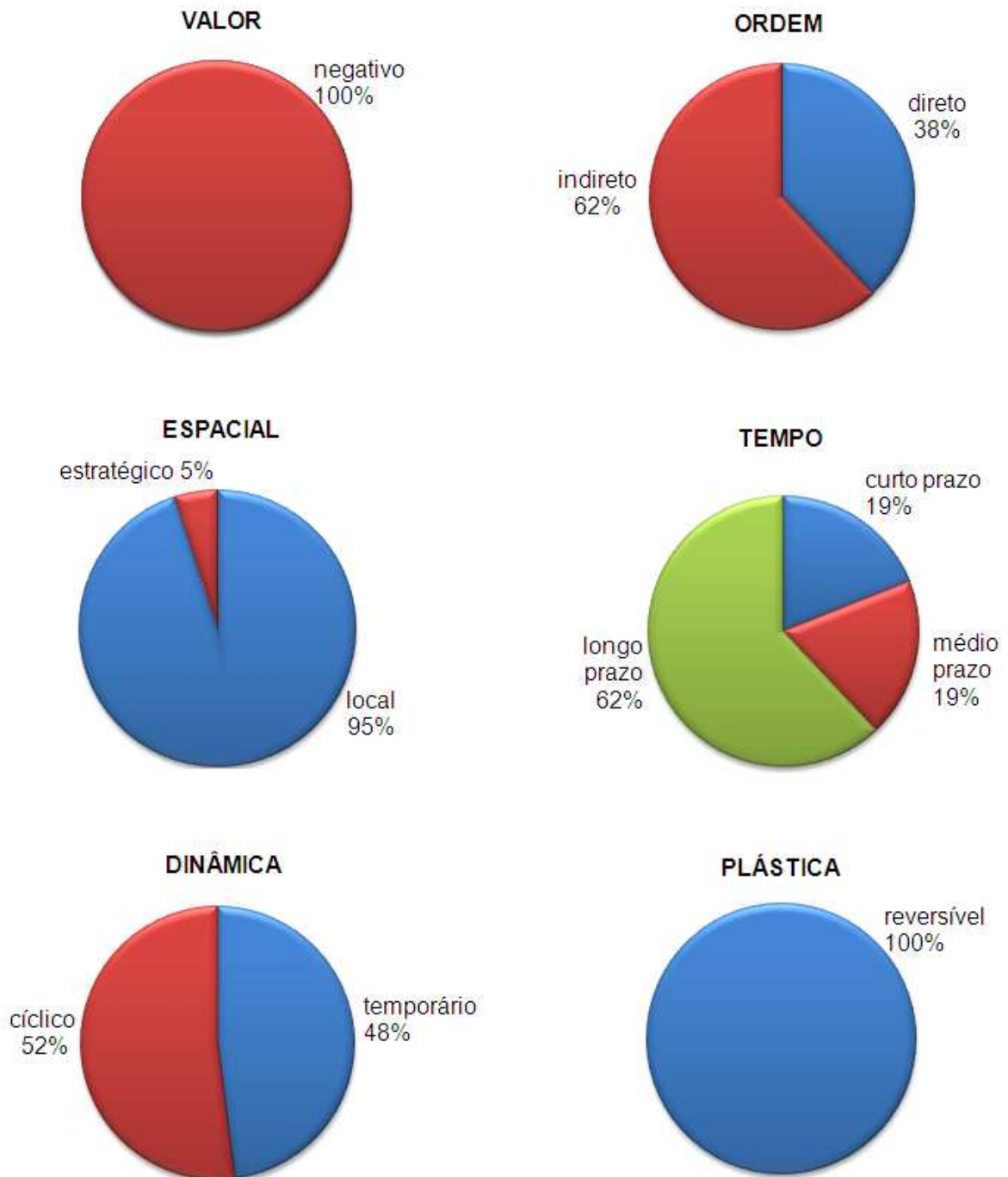


Figura 11. Representações gráficas da avaliação qualitativa de impactos ambientais, conforme os diferentes critérios.

Conforme a Figura 11 constata-se que qualitativamente os impactos ambientais, apesar de apresentarem 100% de impactos negativos estes impactos são 100% reversíveis e 62% se manifestam somente no longo prazo.

4.7 Identificação quantitativa dos impactos ambientais

Uma vez realizados os ensaios dos parâmetros que caracterizaram as águas da empresa investigada, se faz necessária uma análise crítica quantitativa de seus indicadores com o objetivo de avaliar a eco-eficiência do sistema de produção.

Para as análises de indicadores de impacto ambiental foi utilizada a metodologia e *software* do Sistema de Avaliação Ambiental de Processos Industriais - SAAP.

Os índices de impactos ambientais revelados nas tabelas 7, 8 e 9 dizem respeito ao descarte de efluentes, os quais são: o índice de destruição de oxigênio dissolvido (IDOD), índice de eutrofização (IE) e índice de pressão ambiental (IPA). Considerando que o IPA é um número adimensional que representa o desempenho ambiental de um processo com relação à legislação ambiental, o ideal é que para o efluente tratado ele varie de 0 a 1.

Com base nos dados da Tabela 4 foram determinados os índices de impactos ambientais que são apresentados na Tabelas 7, 8 e 9.

Tabela 7. Índices de impactos ambientais no uso das águas em abril de 2009.

Índice	Efluente Bruto	Efluente Tratado
IDOD	3,60	0,59
IE	2,41	1,90
IPA	3,30	1,57

Na Tabela 7 observa-se que o índice de destruição de oxigênio dissolvido (IDOD) do efluente tratado, por ser inferior a 1, é satisfatório. Já o índice de eutrofização (IE) do efluente tratado com 1,90 não está satisfatório principalmente devido à ineficiência da remoção de nitrogênio e fósforo. Conseqüentemente, o cálculo do índice de pressão ambiental (IPA) do efluente tratado ficou com 1,57.

Tabela 8. Índices de impactos ambientais no uso das águas em maio de 2009.

Índice	Efluente Bruto	Efluente Tratado
IDOD	2,65	0,66
IE	0,73	1,05
IPA	2,17	0,94

Na Tabela 8, apesar do índice de eutrofização (IE) do efluente tratado apresentar 0,5 acima do ideal, o índice de pressão ambiental (IPA) do efluente tratado de 0,94 é satisfatório.

Tabela 9. Índices de impactos ambientais no uso das águas em junho de 2009.

Índice	Efluente Bruto	Efluente Tratado
IDOD	3,06	0,63
IE	4,70	4,09
IPA	4,29	3,22

Na Tabela 9 observa-se que o IPA do efluente tratado piora, e isto pode ser explicado devido a temperaturas mais baixas do inverno e assim o sistema biológico, lodo ativado e a lagoa facultativa apresentam um menor desempenho. Neste mês também houve uma demanda maior na utilização da ETE com o aumento do número de funcionários e o aumento do processo produtivo na safra 2009.

Para o índice de pressão ambiental (IPA) conforme os valores apresentados nas Tabelas 7, 8 e 9 estão aceitáveis para a saída do efluente tratado, apenas os valores obtidos no mês de maio pois o mesmo foi inferior a 1,0. O maior peso de impacto para a gestão do uso das águas da indústria em estudo é o IE, com peso de 75% de carga poluente, enquanto que o IDOD corresponde a 25% da carga poluente.

4.8 Caracterização dos problemas e medidas ambientais

Na safra 2009 houve um incremento de 20% no número de funcionários safristas que não estava previsto, em função de incremento na produção, bem com o aumento de 8% da capacidade produtiva em comparação com a safra passada. Em função destes fatores houve um aumento da geração de efluente, em que foi constatado que no efluente tratado os parâmetros de fósforo e nitrogênio apresentaram resultados acima do permitido pelos padrões da legislação ambiental.

Abaixo seguem sugestões de medidas ambientais, considerando práticas de P+L, para mudanças do processo produtivo e também de adequação da ETE para reduzir o impacto ambiental decorrente destes fatores.

PROBLEMA 1:

Alta incidência de fósforo no efluente devido ao tratamento da água da caldeira.

MEDIDAS DE P+L PARA MINIMIZAR IMPACTO:

Opção a) Abrandamento com resinas de troca iônica: Remove a dureza de cálcio e magnésio e permite programas de tratamento com concentrações de fósforo inferiores a 1 mg L^{-1} , sem alterar o volume de $12 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$ da purga da caldeira;

Opção b) Desmineralização por resinas de troca iônica: Remove todos os cátions e ânions presentes, permitindo operar com concentrações de fósforo menores de 1 mg L^{-1} , reduzindo a purga para menos do que $2 \text{ m}^3 \text{ dia}^{-1}$;

Opção c) Desmineralização por osmose reversa: A diferença entre o processo de Desmineralização por resinas e por Osmose reversa está no fato de que a primeira é uma troca de íons entre as resinas e os compostos solubilizados na água, em que a resina catiônica cede H^+ e recebe os cátions, e a aniônica cede OH^- e recebe os ânions. É, portanto, um processo químico. Já a Osmose reversa é um processo físico, pois é uma filtração tangencial através de membranas porosas capazes de reter moléculas solubilizadas na forma iônica na água de tal forma que os compostos passam do meio mais diluído para o mais concentrado. A água precisa ser pressurizada para vencer a pressão osmótica e ainda ter pressão adicional para vencer a resistência das membranas.

Um fator importante a ser considerado é que a desmineralização por resinas gera um grande volume de efluentes ácidos e alcalinos em cada regeneração, que é realizada, em média, duas vezes por semana. Já na Osmose reversa há somente a necessidade de uma limpeza das membranas a cada seis meses, gerando aproximadamente 300 litros de efluente por regeneração. A osmose reversa permeia 75 % de água desmineralizada e rejeita 25 % com os sais que estavam presentes na água de alimentação da caldeira, contudo esta água é empregada em outros usos na indústria.

A osmose reversa tem um custo de implantação maior, porém tem um retorno sobre o investimento em tempo menor se comparado com as duas primeiras opções, devido ao seu baixo custo de manutenção. Para a indústria do beneficiamento de tabaco, em que a produção industrial acontece, em média, durante seis meses ao ano, o retorno sobre o investimento da osmose reversa se dá em três anos.

PROBLEMA 2:

Não atendimento do padrão de nitrogênio no tratamento da ETE.

MEDIDA PARA MINIMIZAR IMPACTO:

Aumentar a aeração da lagoa aerada facultativa, tornando-a uma lagoa de mistura completa, com o objetivo de promover a nitrificação e desnitrificação.

PROBLEMA 3:

Aumento dos coliformes termotolerantes após a estação de tratamento de efluentes.

MEDIDA PARA MINIMIZAR IMPACTO:

Desativar a bomba de retorno do lago paisagístico para a lagoa aerada facultativa para evitar que o efluente já tratado retorne para a ETE indevidamente, reduzindo a vazão e, conseqüentemente, a melhora da eficiência do tratamento.

5 CONSIDERAÇÕES FINAIS

A empresa investigada, por já ser certificada na norma ISO 14.001 – Sistema de Gestão Ambiental possui uma cultura e ferramentas ideais para formalizar a prática da Produção mais Limpa, com o objetivo de desenvolver cada vez mais alternativas de eco-eficiência.

Para que a P+L seja promovida e incentivada sugere-se que haja investimento em treinamento e motivação dos funcionários, para que estes possam se engajar ainda mais nesta proposta. Sugere-se que as idéias e sugestões de P+L dos funcionários, que atualmente já são registradas no formulário de “Melhoria Contínua”, sejam consideradas e valorizadas durante as avaliações de desempenho dos funcionários, realizadas anualmente.

Considerações sobre os objetivos específicos:

- A diagramação do processo produtivo da empresa com a identificação dos processos geradores de efluentes foi realizada por meio de um fluxograma detalhado de cada etapa;
- Foi elaborado um fluxograma das águas que saem da cadeia produtiva, passando pela estação de tratamento de efluentes até o corpo receptor;
- Foram realizadas análises físico-químicas de controle para amostras brutas e tratadas através de parâmetros como DQO, DBO₅, Fósforo total, Nitrogênio total, coliformes termotolerantes, pH e sólidos suspensos;
- Foi realizada uma avaliação qualitativa dos impactos ambientais das águas oriundas dos processos produtivos por meio de uma matriz de Leopold, onde se constatou que 100% dos impactos eram negativos e 100% reversíveis.

Foi realizada uma avaliação quantitativa dos impactos ambientais dos efluentes antes e após o tratamento dos mesmos com a utilização do *software* Sistema de Avaliação Ambiental de Processos - SAAP. Em junho o impacto das cargas poluentes do efluente tratado, expressas pelos índices de eutrofização e o consumo de oxigênio dissolvido, geraram um índice de pressão ambiental de 3,22 e em maio, nas melhores condições de operação

da ETE, geraram um índice de IPA satisfatório na ordem de 0,94. O estudo realizado constatou, de maneira geral, uma remoção inadequada de nutrientes no sistema de tratamento da ETE, particularmente fósforo total e nitrogênio total e, conseqüentemente, o aumento da concentração desses nutrientes no corpo receptor, contribuindo ao processo de eutrofização;

- Foram propostas alternativas para minimizar o impacto ambiental da empresa investigada por meio de mecanismos limpos, para reduzir a incidência de fósforo, nitrogênio e coliformes termotolerantes no efluente tratado.

Devido à escassez de literatura relacionada à gestão do uso das águas na indústria de beneficiamento do tabaco com ênfase na Produção mais Limpa, sugere-se que outros estudantes aprofundem a presente pesquisa.

6 REFERÊNCIAS

ANILE, A. M.; DEODATO; S.: PRIVITERA, G. Implementing fuzzy arithmetic. *Fuzzy Sets and Systems*, v. 72, p. 239-250, 1995.

APHA, American Public Health Association; AWWA, American Water Works Association; WEF, Water Environment Federations. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. Washington/DC: APHA, 19th ed., 1998.

ANDREOLI, C. V.; CARNEIRO, C. (Edit.). *Gestão integrada de mananciais de abastecimento eutrofizados*. Curitiba: Sanepar/Finep, 2005.

ANDREROLI, F. N.; BOLLMANN, H. A.; OLIVEIRA, R. K. *Estruturação de um indicador de eco-eficiência para os fluxos de massa de processos industriais*. In: 23^o CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Campo Grande/MS: ABES, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *NBR ISO 14001:2004: Sistemas de gestão ambiental – Requisitos com orientações para uso*. Rio de Janeiro, 2004.

_____. *NBR ISO 14004:2005: Sistemas de gestão ambiental – Diretrizes gerais sobre princípios, sistemas e técnicas de apoio*. Rio de Janeiro, 2005.

BAIRD, Colin. *Química ambiental*. 2. ed. Porto Alegre: Bookman, 2002.

BRAGA, B. et al. *Introdução à engenharia ambiental*. São Paulo: Prentice Hall, 2002.

BRASIL, Ministério do Meio Ambiente. Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA N^o: 357/2005) de 17 de março de 2005. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf. Acesso em: 26 fev. 2009.

CEBDS - *Produção mais limpa*, 2009. Disponível em: <http://www.cebds.org.br/cebds/eco-pmais1-conceito.asp>. Acesso em: 14 abr. 2009.

COELHO, A. et al. *Prevenção da poluição*. Brasília, SENAI/DN, 2002.

ETGES, Virgínia Elisabeta. *Sujeição e resistência: Os camponeses gaúchos e a indústria do fumo*. 1989. Dissertação (Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana – Mestrado) Universidade de São Paulo, São Paulo, 1989.

FERNANDES, Enir. *Geração de fósforo na caldeira*. Entrevista concedida ao autor desta dissertação em outubro de 2007.

FERNANDES, J. V. G. et al. *Introduzindo práticas de produção mais limpa em sistemas de gestão ambiental certificáveis: uma proposta prática*. Artigo técnico (Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 6 – N^o 3 – jul/set 2001 e N^o 4 – out/dez 2001), 2001. Disponível em: <http://www.abes-dn.org.br/publicacoes/engenharia/resaonline/v6n34/v6n34a06.pdf>. Acesso em: 9 abr. 2009.

FERREIRA, Eduardo Souto. *Técnicas de remoção de nitrogênio e fósforo em águas e efluentes*. ABES – Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – Seção RS, [2003?].

FILHO, S. A.; SANTOS, L. A. P. *Rotinas limpas nas operações das indústrias*. 2000. 134 f. Monografia (Curso de Especialização em Gerenciamento e Tecnologias Ambientais na Indústria – Escola Politécnica – Departamento de Hidráulica e Saneamento). Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2000. Disponível em: http://www.teclim.ufba.br/site/material_online/monografias/mono_avilafilho_e_santos.pdf. Acesso em: 5 abr. 2009.

FURTADO, J. S. *ISO 14001 e Produção Limpa: importantes, porém distintas em seus propósitos e métodos*, 2000. Disponível em: www.vanzolini.org.br/producaolimpa. Acesso em: 21 jun. 2007.

GONÇALVES, R. B., NASCIMENTO, L. F. *Impacto da aplicação de técnicas de produção limpa: caso Pigozzi*. ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, Gramado-RS, 1997.

GREENPEACE REPORT. *O que é Produção Limpa?*, 1997. Disponível em: http://www.greenpeace.org.br/toxicos/pdf/producao_limpa.doc. Acesso em: 22 abr. 2009.

IBPS - Instituto Brasileiro de Produção Sustentável e Direito Ambiental. *Desenvolvimento Sustentável*, 2002. Disponível em: <http://ibps.com.br/?cat=7>. Acesso em: 25 abr. 2009.

JANZEN, J. G.; SCHULZ, H. E.; LAMON, A. W. Medidas da concentração de oxigênio dissolvido na superfície da água. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 13, n. 3, p. 278-283, 2008.

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

LEOPOLD, L. B.; CLARKE, F. E.; HANSHAW, B. B.; BALSEY, J. R. A procedure for evaluating environmental impact. Washington, D.C., *Geological Survey Circular*, 1971. 645p.

MACHADO, Ênio Leandro. *Gestão e tecnologia ambiental*. Material Didático. Santa Cruz do Sul, 2006.

MAVROULIDOU, M.; HUGHES, J. S.; HELLAWELL, E. E. A qualitative tool combining an interaction matrix and a GIS to map vulnerability to traffic induced air pollution. *Journal of Environmental Management*, v. 70, p. 283-289, 2004.

_____. Developing the interaction matrix technique as a tool assessing the impact of traffic on air quality. *Journal of Environmental Management*, v. 84, p. 513-522, 2007.

MESERB. *Wastewater phosphorus control and reduction initiative*. University of Washington, Seattle, WA, USA, 2005. Disponível em: <http://www.meserb.org/phosphorus.htm>. Acesso em: 10 jun. 2007.

METCALF & EDDY. *Wastewater engineering, treatment and reuse*. 4. ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2003.

MORETTI, G. N.; SAUTER, D. S.; AZEVEDO, J. A. M. ISO 14001: Implementar ou não?. Uma proposta para a tomada de decisão. *Engenharia Sanitária e Ambiental*. v. 13, n. 4, p. 416-425, 2008.

RIO GRANDE DO SUL. Resolução CONSEMA nº 128, de 24 de novembro de 2006. Porto Alegre, RS: 24 nov. 2006. Disponível em: <http://www.aquaflot.com.br/legislacao.html>. Acesso em: 10 nov. 2008.

_____. Resolução CONSEMA nº 129, de 24 de novembro de 2006. Porto Alegre, RS: 24 nov. 2006. Disponível em: <http://www.aquaflot.com.br/legislacao.html>. Acesso em: 10 nov. 2008.

SANTOS, Luciano Miguel Moreira. *Avaliação ambiental de processos industriais*. 2.ed. Ouro Preto/MG, ETFOP, 2006.

SENAI, *Implementação de programa de produção mais limpa*. Porto Alegre, Centro Nacional de Tecnologias Limpas SENAI-RS/ UNIDOS/INEP, 2003a.

_____, *Princípios básicos de produção mais limpa em matadouros e frigoríficos*. Serie manuais de produção mais limpa. Porto Alegre, Centro Nacional de Tecnologias Limpas, 2003b.

SILVA, G. C. S.; MEDEIROS, D. D. Metodologia de Checkland aplicada à implementação da produção mais limpa em serviços. *Gestão & Produção*, v. 13, n. 3, p. 411-422, 2006.

TECLIM - Rede de Tecnologias Limpas da Universidade Federal da Bahia, 2009. Disponível em: <http://www.teclim.ufba.br/site/index.php>. Acesso em: 30 abr. 2009.

UNEP. *Entendendo a Produção mais Limpa*, 2009. Disponível em: <http://www.unep.fr/scp/cp/understanding/>. Acesso em: 26 abr. 2009.

UNIDO. *Integrating Environmental Management System (EMS), quality, health & safety and labour-related components within Cleaner Production programmes*. Disponível em: <http://www.unido.org/index.php?id=o5139>. Acesso em: 12 abr. 2009.

U.S. EPA. *Biological nutrient removal processes and costs*. U.S. EPA office of water. Washington, DC, 2007. Disponível em: <http://www.epa.gov/waterscience/criteria/nutrient/files/bio-removal.pdf>. Acesso em: 9 jul. 2007.

_____. *Design manual, phosphorus removal*. U.S. EPA office of research and development, Cincinnati, OH, 1987. Disponível em: <http://www.p2pays.org/ref/21/20205.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2007.

VAN HAANDEL, A.; MARAIS, G. *O comportamento do sistema de lodo ativado*. Campina Grande: UFP, 1999.

VON SPERLING, Marcos. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos*. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 1996.

_____. *Lodos ativados*. 2. ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 2002.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)