UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JULIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E ENERGÉTICA DO RESÍDUO DA TERRA DIATOMÁCEA UTILIZADA COMO AUXILIAR DE FILTRAÇÃO NA INDÚSTRIA DE CERVEJA.

PAULO ALEXANDRE PIMENTEL
Químico

Dissertação apresentado à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP
Fevereiro – 2006

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JULIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E ENERGÉTICA DO RESÍDUO DA TERRA DIATOMÁCEA UTILIZADA COMO AUXILIAR DE FILTRAÇÃO NA INDÚSTRIA DE CERVEJA.

PAULO ALEXANDRE PIMENTEL
Químico

Orientador: Prof. Dr. Ademércio Antonio Paccola

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP
Fevereiro – 2006

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO - SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO UNESP - FCA - LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Pimentel, Paulo Alexandre, 1971-
P644a Análise físico-química e energética do resíduo da terra diatomácea utilizada como auxiliar de filtração na indústria de cerveja / Paulo Alexandre Pimentel. - Botucatu : [s.n.], 2006.
vii, 105 f. : il. color., gráfs, tabs.

Dissertação (mestrado)- Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu, 2006
Orientador:Ademércio Antonio Paccola
Inclui bibliografia.

1. Diatomito. 2. Cerveja. 3. Poluição. 4. Gestão ambiental. I. Paccola, Ademércio Antonio. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências Agronômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: **"ANÁLISE FÍSICO-QUÍMICA E ENERGÉTICA DO RESÍDUO DA TERRA DIATOMÁCEA UTILIZADA COMO AUXILIAR DE FILTRAÇÃO NA INDÚSTRIA DE CERVEJA"**

ALUNO: PAULO ALEXANDRE PIMENTEL

ORIENTADOR: PROF. DR. ADEMERCIO ANTONIO PACCOLA

Aprovado pela Comissão Examinadora

PROF. DR. ADEMERCIO ANTONIO PACCOLA

PROF. DR. WALDEMAR GASTONI VENTURINI FILHO

PROFA. DRA. CLAUDIA CRISTINA T. N. MENDONÇA

Data da Realização: 17 de fevereiro de 2006.

Dedicatória

Dedico este trabalho a minha esposa Patrícia e a minha filha Gabriela, pela compreensão e apoio durante a elaboração deste trabalho.

AGRADECIMENTO ESPECIAL

SENHOR, em nome de **JESUS CRISTO,** agradeço pela proteção e por me orientar durante toda a minha vida.

AGRADECIMENTOS

Manifestamos nossa gratidão a todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho, e de forma particular:

Aos professores Dr. Ademércio Antonio Paccola, Dr. Waldemar Gastoni Venturini Filho, Dr. Sérgio Hugo Benez, Dr. Ângelo Catâneo, Dra. Assunta M. M. da Silva, Dr Rogério Lopes Vieites, que sempre souberam que a única forma de conhecer é descobrir, e que fazer descobrir é a única forma de ensinar.

Professor Dr. Ademércio Antonio Paccola, pela amizade, orientação e colaboração para a realização deste trabalho.

Em especial a Prof, Dra. Cláudia Cristina Teixeira Nicolau Mendonça, pela amizade e colaboração no Exame Geral de Qualificação.

Professor Dr. Waldemar Gastoni Venturini Filho, pela amizade e sugestões apresentada na análise de cerveja.

A cervejaria Belco S/A, pela concessão do resíduo de terra diatomácea.

Ao Sr. Aparecido Pires de Campos, pela amizade e colaboração nas análises químicas.

A Sra. Selma Regina Lopes Miranda, pela amizade e atendimento prestados durante a realização deste trabalho.

Toda equipe do laboratório de bebidas, em especial ao Dr. Muris Sleiman, pela amizade e colaboração na análise de cerveja.

Ao Sr. Vlademir Antônio da Silva, pela amizade e colaboração na revisão do texto em Inglês.

A todos os funcionários da Biblioteca, pelo auxilio prestado durante as revisões bibliográficas.

Sessão de Pós Graduação da FCA.

Lazara Pedroso Mesquita, Paulo Djalma Pimentel e Maria Isabel de Mesquita pela presença constante e pelo amor com que sempre fui agraciado.

Todas as pessoas que de alguma forma contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

LISTA DE QUADROS..... V
LISTA DE FIGURAS..... VI
LISTA DE ABREVIATURAS..... VII

RESUMO..... 01
SUMMARY..... 03

1. INTRODUÇÃO 05

2. REVISÃO DA LITERATURA 09
2.1. Sistema de Gestão Ambiental..... 09
2.2. Política Ambiental no Brasil 11
2.3. Premissas para o SGA 13
2.3.1. Planejamento 13
2.3.2. Controle 17
2.3.2.1. Controle ambiental 19
2.3.3. Indicadores de desempenho..... 22
2.3.4. Normas ambientais 23
2.4. Desenvolvimento sustentado 25
2.5. Poluição Ambiental 27
2.5.1. Impacto ambiental 27
2.5.1.1. Causas dos impactos ambientais 30
2.5.1.2. Classificação dos impactos ambientais..... 31
2.5.2. Meio terrestre..... 32
2.5.2.1. Solo..... 32
2.5.2.2. Poluição do solo 33
2.5.2.3. Conseqüências da poluição do solo..... 34
2.5.3. Meio aquático 35
2.5.3.1. Poluição hídrica 35

2.5.3.2. Conseqüências da poluição hídrica 37
2.5.4. Meio atmosférico 39
2.5.4.1. Poluição do ar atmosférico 3
2.6. Análise para Gerenciamento 40
2.6.1. Descrição e terminologia da diatomita 40
2.6.2. Origem da diatomita 42
2.6.3. Propriedades gerais da diatomita 43
2.6.4. Lavra da diatomita 45
2.6.5. Beneficiamento da diatomita 47
2.6.6. Reservas de terra diatomácea 48
2.6.7. Aplicações da terra diatomácea 49
2.6.8. Produção e consumo da terra diatomácea 50
2.6.9. Aplicações da terra diatomácea na indústria cervejeira 53
2.6.9.1. Filtração 54
2.6.9.2. Tipos de filtro 56
2.6.10. Características dos agentes de filtração 57
2.6.10.1. Propriedades físicas 57
2.6.10.2. Propriedades químicas 59
2.6.11. Mercado cervejeiro 60
2.6.12. Tratamento do RTD na cervejaria 61

3. MATERIAL E MÉTODOS 63
3.1. Material 63
3.2. Métodos 64
3.2.1. Planejamento experimental 64
3.2.2. Protocolo de recuperação do resíduo de terra diatomácea 64
3.2.3. Protocolo de filtração 65
3.3. Análises físico-química para o resíduo de terra diatomácea 66
3.3.1. Determinação da DQO 66
3.3.2. Determinação de sólidos totais 67
3.3.3. Determinação sólidos voláteis 67

3.3.4. Determinação sólidos totais fixos 68
3.3.5. Teor de umidade 69
3.4. Análises físico-química para terra diatomácea recuperada 70
3.4.1. Extração de cátions 70
3.4.2. Determinação de óxido 70
3.4.3. Determinação quantitativa de sílica 71
3.4.4. Determinação de pH em cloreto de sódio 72
3.4.5. Determinação da matéria orgânica 72
3.4.6. Densidade aparente 73
3.4.7. Determinação da superfície específica 74
3.4.8. Cinética da decantação do resíduo de terra diatomácea 74
3.5. Análises físico-química da cerveja filtrada com TDR e TDP 75
3.5.1. Turbidez 75
3.5.2. Cor 75
3.5.3. Contagem de células de levedura 76
3.6. Avaliação energética 77
3.7. Cálculo de eficiência 77

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO 78
4.1. Análises físico-química do resíduo de terra diatomácea 78
4.1.1. Análise de DQO 78
4.1.2. Teor de umidade 81
4.1.3. Análise de sólidos totais 81
4.1.4. Análise de sólidos voláteis 82
4.1.5. Análise de sólidos totais fixos 82
4.2. Análises físico-química da terra diatomácea recuperada 83
4.2.1. Análises químicas 83
4.2.2. Análises físicas 85
4.3. Análises da cerveja filtrada com TDR e TDP 89
4.3.1. Análise turbidez 89
4.3.2. Análise cor 90

4.3.3. Contagem de células de leveduras 91
4.4. Análises físico-química do efluente líquido da terra diatomácea recuperada 92
4.4.1. Análise micro-nutrientes 92
4.4.2. Análise macro-nutrientes 93
4.5. Avaliação energética 94
4.5.1. Cinética da decantação do resíduo de terra diatomácea 94
4.5.2. Calcinação em mufla do resíduo de terra diatomácea 95

5. CONCLUSÕES 96

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRAFICAS 98

LISTA DE QUADROS

Quadros Páginas

1 Composição química do minério de diatomita 44
2 Reservas de terra diatomácea no Brasil 48
3 Terra diatomácea beneficiada e comercializada no Brasil 50
4 Produção de terra diatomácea 51
5 Uso final de terra diatomácea nos Estados Unidos 51
6 Produção de terra diatomácea no Brasil 52
7 Características físicas 58
8 Composição química da diatomita 59
9 Análise de DQO da fração líquida do resíduo de terra diatomácea 78
10 Análise da DQO da fração sólida do resíduo de terra diatomácea pós-secagem 80
11 Análise do teor de umidade do resíduo de terra diatomácea 81
12 Análise de sólidos totais do resíduo de terra diatomácea 82
13 Análise de sólidos voláteis do resíduo de terra diatomácea 82
14 Análise de sólidos fixos do resíduo de terra diatomácea 83
15 Análises químicas da terra diatomácea recuperada 84
16 Análises físicas e pH da terra diatomácea recuperada 86
17 Análise física da densidade aparente 87
18 Análise física da superfície específica 88
19 Análise de turbidez da cerveja filtrada 89
20 Análise de cor da cerveja filtrada 90
21 Análises química de micro-nutrientes do efluente líquido 92
22 Análises química de macro-nutrientes do efluente líquido 93

LISTA DE FIGURAS

Figuras Páginas

1 Modelo atual de desenvolvimento 06
2 Premissas do planejamento 14
3 Ciclo do PDCA 16
4 Processo de controle e o inter-relacionamento 18
5 Características dos principais processo de controle 21
6 Modelo de desenvolvimento sustentável 26
7 Minério de diatomita 40
8 Esquema de filtração 55
9 Produção brasileira de cerveja 60
10 Interface da cinética da decantação 94

LISTA DE ABREVIATURAS

CETEM ..... Centro de Tecnologia Mineral.

CETESB ..... Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental.

Ciemil ..... Comércio, Indústria e Exportação de Minérios Ltda.

CV ..... Coeficiente de variância.

EBC ..... European Brewery Convenction.

DQO ..... Demanda química de oxigênio.

RTD ..... Resíduo de terra diatomácea.

SGA ..... Sistema de gestão ambiental.

Sindicerv ..... Sindicato Nacional da Indústria de Cervejas.

TDR ..... Terra diatomácea recuperada.

TDR – G ..... Terra diatomácea recuperada grossa.

TDR – M ..... Terra diatomácea recuperada média.

TDR – F ..... Terra diatomácea recuperada fina.

TDP – G ..... Terra diatomácea padrão grossa.

TDP – M ..... Terra diatomácea padrão média.

TDP – F ..... Terra diatomácea padrão fina.

RESUMO

É sabido da existência de limites no meio ambiente e da capacidade de absorver e reciclar matéria ou resíduos, diante desta problemática, o escopo deste projeto de pesquisa foi desenvolver uma metodologia capaz de reutilizar os RTD de cervejaria, uma vez que não existe um tratamento e/ou uma destinação adequada.

Foram realizados ensaios de DQO para determinar o potencial de poluição do RTD; análises de sólidos totais e sólidos totais fixos; umidade; tempo de decantação em provetas; seguidos de calcinação em mufla do RTD. Nas análises de sólidos totais, sólidos totais fixos e umidade foram determinados a eficiência no processo de recuperação do RTD. Na etapa de decantação foram estudados o tempo necessário para separar o RTD do sobrenadante. Nos ensaios de calcinação foram estudados a diferença no tempo de residência em mufla e comparados com o processo CETEM. A TDR obtida do processo de calcinação foram submetidas a análises de densidade aparente, superfície específica, umidade, perda ao fogo, pH, teor de sílica, aluminio, ferro, cálcio, sódio, potássio, magnésio e comparadas com as terras diatomáceas de uso corrente no mercado. A TDR e a TDP foram classificadas em peneiras vibratórias e submetidas a ensaios tecnológico de filtração a nível laboratorial com cerveja do tipo Pilsen sem filtrar produzida no Laboratório

de Bebidas da Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu. O filtrado resultante foram submetidos a análises de turbidez, cor e contagem de células e comparados com a testemunha.

Nas análises realizadas foram obtidos os seguintes resultados: DQO 121.667 mg L^{-1} e 62.500 mg L^{-1}; sólidos totais 28,37%; sólidos totais fixos 22,17%; umidade 71,65%; tempo de decantação de 80 minutos; diferença no tempo de calcinação de 0,5 horas, reduzindo em 66,70% o consumo de energia elétrica; sílica 98,70% na TDR; filtrado apresentou aceitabilidade nas análises de turbidez, cor e contagem de células.

Conclui-se com a adoção do SGA podemos ter um controle efetivo do RTD; diminuir o impacto ambiental e substituir parcialmente e/ou totalmente a terra diatomácea de uso corrente no mercado.

ENERGETIC AND PHYSICAL-CHEMICAL ANALYSIS OF THE DIATOMACEOUS EARTH WASTE MADE USEFUL AS FILTER AIDS IN THE BEER INDUSTRY. Botucatu, 2006. 105p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: PAULO ALEXANDRE PIMENTEL

Adviser: ADEMÉRCIO ANTONIO PACCOLA

SUMMARY

It is known that there is a limit in the environment an the capacity to absorb and recycle substance or waste, hence, the purpose of this research was to develop a method which could reuse RTD in the beer industry.

It was accomplished DQO test to determine the pollution potential of the RTD; total solid, fixed total solid and humidity analysis, period of the decantation in cylinder test; followed by calcination in the oven of the RTD. In the total solid, fixed total solid and humidity test it was determinated efficiency on the process of recuperation of RTD. Yet, in the stage of decantation it was studied the necessary time to separate the RTD of that solution. And in the calcination test it was studied the difference in the residence time period in oven and compared with CETEM process. The TDR obtained from the calcination process was analyzed its apparent density, specific surface, humidity, fire loss, pH, silicon, aluminium, iron, calcium, sodium, potassium, magnesium and it was compared with diatomaceous earth of the commercial current use. The TDR and TDP were classified in vibrant strainer and submitted to the technological filtration test in laboratory scale with beer type Pilsen before being filtered which has been produced in beverage laboratory of that Science Agronomic Faculty in Botucatu. The filtered was submitted to haste, color and counting of cells analyses and compared with testimony.

In the accomplished test it was obtained the following results: DQO 121.667 mg L^{-1} e 62.500 mg L^{-1}; total solid 28,37%; fixed total solid 22,17%; humidity 71,65%; decantation time 80 minutes; calcination difference time 0,5 hour, reducing the

electronics consumpition in 66,70%; silicon 98,70% in TDR; filtered it showed acceptability in the haste analyses, color and counting of cells.

At the end of the research it was established that with the adoption of the SGA it is possible to have effctive control of the RTD; reducing the environmental impact and to substitute partially and/or totally the diatomaceous earth of the commercial current use.

Keywords: kieselghur recycled, *beer*, *environmental impact*, *environmental management system*.

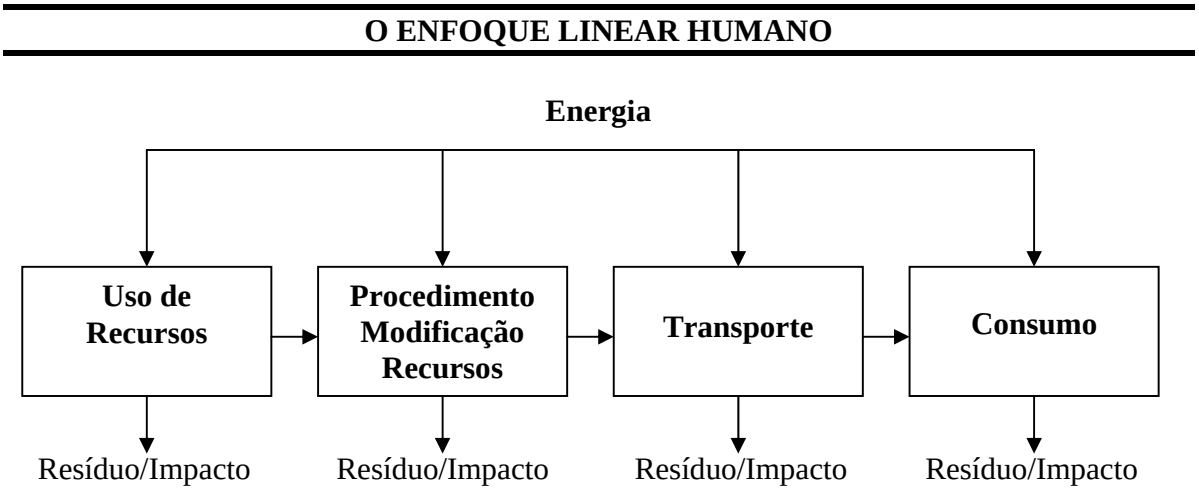
1. INTRODUÇÃO

No princípio, as organizações precisavam preocupar-se apenas com a eficiência dos sistemas produtivos. Está foi a mentalidade predominante na prática administrativa, refletindo a noção de mercados e recursos ilimitados.

O modelo de desenvolvimento escolhido pela sociedade humana até atingir seu atual estágio pode ser representado na figura 1. O modelo representa um sistema aberto, que depende de um suprimento contínuo e inesgotável de matéria e energia que depois de utilizada, é devolvida ao meio ambiente (jogado fora). Para que tal modelo possa ter sucesso de desenvolvimento, segundo Braga (2002), as seguintes premissas teriam de ser verdadeiras:

- Suprimento inesgotável de energia;
- Suprimento inesgotável de matéria;
- Capacidade infinita do meio de reciclar matéria e absorver resíduos.

Figura 1. Modelo atual de desenvolvimento.



Fonte: Braga et al. (2002).

Em curto espaço de tempo, essa noção revelou-se equivocada, porque ficou evidente que o crescimento desordenado e casuístico das cidades brasileiras, o intenso êxodo rural que ocorreu no país, a partir da década de 50, e com o desenvolvimento dos parques industriais, principalmente nas grandes cidades da Região Sudeste, levou ao crescimento das populações nas cidades. Esse crescimento sem planejamento fez com que as administrações públicas entrassem em colapso e a qualidade de vida e conservação do meio ambiente fossem cada vez menos atendidas, surgindo assim, um dos grandes flagelos da sociedade: a poluição.

Todavia, o termo poluição, em sua acepção específica referido à deterioração ambiental, significa um estágio em que a saúde e o bem estar geral entram em risco (RIBEIRO, 1977).

De acordo com Fellenberg (1980), a idéia de poluição ambiental abrange uma série de aspectos, que vão desde a contaminação do ar, das águas e do solo, à desfiguração da paisagem, erosão de monumentos e construções.

Para Jardim et al. (1995), a poluição ambiental ocorre dos resíduos das atividades humanas, considerados pelos geradores como inúteis, indesejáveis ou desacatáveis, apresentando sob o estado sólido, semi-sólido ou semilíquido.

A poluição gerada pelos resíduos sólidos segundo a NBR 10004, citada pela ABNT (2005), é caracterizada como: “Todos os resíduos, nos estado sólido e semi-sólido, que resultam de atividades da comunidade de origem: industrial, doméstica, hospitalar, comercial, agrícola, de serviços e de varrição. Ficam incluídos nessa definição os lodos provenientes de sistemas de tratamento de água, aqueles gerados em equipamentos e instalações de controle de poluição, bem como determinados líquidos cujas particularidades tornem inviável o seu lançamento na rede pública de esgotos ou corpos de água ou exijam para isso soluções técnica e economicamente viáveis, face à melhor tecnologia disponível.”

Segundo Jardim et al. (1995), a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (PNSB) – 1989, realizada pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE e editada em 1991, a disposição final do lixo nos municípios brasileiros assim se divide:

- 76% em lixões;
- 13% em aterros controlados e 10% em aterros sanitários;
- 1% passam por tratamento (compostagem, reciclagem e incineração).

Porém, o inventário realizado pela CETESB, em 1999, o Estado de São Paulo produziu 512.196 toneladas de resíduos sólidos perigosos, dos quais 53% foram tratados, 31% armazenados e 16% depositados no solo.

De acordo Viterbo Júnior (1998), a pesquisa realizada em trezentas empresas de portes médios ou pequenos da região sul-sudeste do Brasil, pelo Sebrae, INEM (International Network of Environmental Management) e da GTZ (uma associação alemã que investe na educação em desenvolvimento), mostrou dados alarmantes:

- 70% das empresas não controlam emissões para a atmosfera;
- 67% das empresas não têm tratamento de efluentes;
- 54% não fazem inventário de geração e destinação de resíduos;
- 76% das empresas não se preocupam com treinamento;
- 59% das empresas não possuem um responsável por questões ambientais.

O retrato da disposição de resíduos sólidos gerados pela população e principalmente pelo setor industrial é preocupante e exige solução imediata. A análise da

situação ambiental brasileira nos remete a uma realidade bastante preocupante. Existe no Brasil uma política e estrutura de gestão ambiental implantada, porem com eficácia variável na adoção de medidas preventivas e corretivas para controlar a emissão de poluentes e a proteção dos ecossistemas. Diante desta problemática, o escopo deste projeto de pesquisa foi desenvolver uma metodologia capaz de reutilizar os resíduos da terra diatomácea de cervejaria, uma vez que não existe um tratamento e/ou uma destinação adequada.

.

2. REVISÃO DA LITERATURA

2.1. Sistema de Gestão Ambiental

Podemos definir como gestão ambiental, o conjunto de ações a serem desenvolvidas visando à utilização racional e otimizada dos recursos naturais, de forma a garantir estes recursos às comunidades e as atividades produtivas.

Tais recursos naturais devem ser manejados de forma técnica e responsável, aplicando-se todo conhecimento tecnológico existente à disposição do meio ambiente.

Com isso, polinômio mais importante, que tem de ser manipulado corretamente, reúne terra, água, tecnologia e técnicas de produtividade, capazes de garantir o insumo básico para o desenvolvimento sustentado, (PINHEIRO E MONTEIRO, 1992).

O gerenciamento dos resíduos industriais e domésticos deve englobar padrões de armazenamento, manuseio, transporte e tratamento para que possam ser dispostos de maneira adequada, a evitar danos ambientais e a saúde pública, em aterros sanitários e industriais, (PINHEIRO E MONTEIRO, 1992).

Gestão ambiental integrada é o conjunto de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento, que o setor administrativo de uma organização desenvolve, baseado em critérios sanitários, ambientais e econômicos para coletar, tratar os resíduos com as tecnologias mais compatíveis com a realidade local, dando–lhe um destino final ambientalmente seguro, tanto no presente, como no futuro. Para obter eficiência no modelo de gerenciamento integrado de resíduos deve-se: dar um destino adequado para os resíduos; buscar formas de tratamentos; fazer campanhas ou implantar programas educacionais voltados a conscientizar e incentivar atividades que visam diminuir a geração de resíduos, (JARDIM et al., 1995).

Para Carneiro et al. (2004), o gerenciamento integrado, é um conjunto articulado de ações normativas, operacionais, financeiras e de planejamento que uma organização desenvolve com base em critérios sanitários, ambientais e econômicos, para coletar, segregar, tratar e dispor os resíduos finais, com eficiência e qualidade, evitando danos ambientais e de saúde pública.

O gerenciamento ambiental preditivo, integrado e adaptativo, implica em um conjunto de ações estratégicas de planejamento, participação de usuários e organização institucional e a implementação de tecnologias diferenciadas, avançadas (ecotecnologia) e de baixo custo, (TUNDISI, 2003).

Segundo Rotstein (1996), gestão ambiental é o estudo da viabilidade sócio-técnico-econômica, para fundamentar corretamente os processos de decisão, onde as variáveis são os recursos naturais e a sua exploração e uso pelo homem.

Para Reinold (1997), o sistema de gestão ambiental, é quando uma organização busca atingir a excelência, com base num sistema coerente e eficaz.

De acordo com Maimom (1999), um sistema de gerenciamento ambiental pode ser definido como sendo o conjunto de medidas que visam à redução e o controle dos impactos provocados por atividades e intervenções humanas sobre o meio ambiente.

Para a implementação de um modelo de gestão ambiental de acordo com Donaire (1999), é necessário não enveredar por uma inquisição ou um tipo qualquer de imperialismo ambiental, ou seja, é preciso que os problemas sejam tratados na sua dimensão correta, sem nenhum desvio ou exagero acentuado, capaz de desvirtuar as condições de

desenvolvimento sócio-econômico, em função de uma abordagem inadequada da problemática ambiental.

Para aplicar sistema de gerenciamento ambiental, deve considerar a politica ambiental, impactos de produção, legislação pertinente, programas ambientais, comunicação com as partes interessadas, treinamento e auditorias, (KUNTZ, 2004).

Segundo a mesma fonte para obter eficiência no sistema gestão ambiental deve considerar três aspectos importantes:

- Recuperação do meio ambiente degradado;
- Avaliação da degradação futura do meio ambiente;
- Potencialização de recursos ambientais.

De acordo com Nuvolari et al. (2003), a finalidade do gerenciamento ambiental, é assegurar requisitos de qualidade, custo e prazo, envolvendo o campo técnico, administrativo e financeiro, com atividades de planejamento, organização, coordenação, comando e controle.

2.2. Política Ambiental no Brasil

Uma política ambiental seja por meio de regulamentação que estabeleça padrões de emissão, de lançamento, de ocupação e uso do solo dos recursos em geral, seja por meio de mecanismos econômicos, como a taxação das cargas poluidoras, deve ter como resultado mínimo uma redução da deterioração da qualidade ambiental, quando comparada com o que ocorreria caso essa política não fosse implantada.

O marco referencial da Gestão Ambiental no Brasil se consolidou através da Lei Federal nº 6938, de 31 de agosto de 1981, ao estabelecer os princípios, objetivos e instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente.

Segundo Silva et al. (1999), a constituição brasileira, promulgada em outubro de 1988 abordou amplamente a questão ambiental dedicando à mesma, não apenas todo o seu Capitulo VI, como a inserindo em quase todos os setores da vida brasileira, ao contemplar a matéria em inúmeros dispositivos ao longo de seu texto. No que respeita à

competência para legislar e atuar na proteção ao meio ambiente e no uso e exploração dos recursos naturais.

Pela Lei número 6938, de 31.8.81, art. 2º, a Política Nacional do Meio Ambiente tem por objetivo a preservação, melhoria e recuperação da qualidade ambiental propícia à vida, visando assegurar, no País, condições ao desenvolvimento sócio-econômico, aos interesses da segurança nacional e à proteção da dignidade da vida humana, atendidos os seguintes princípios:

- "Ação governamental na manutenção do equilíbrio ecológico, considerado o meio ambiente como patrimônio público a ser necessariamente assegurado e protegido, tendo em vista o uso coletivo;
- Racionalização do uso do solo, do subsolo, da água e do ar;
- Planejamento e fiscalização do uso dos recursos ambientais;
- Proteção dos ecossistemas, com a preservação das áreas representativas;
- Controle e zoneamento das atividades potenciais ou efetivamente poluidores;
- Incentivos ao estudo e à pesquisa de tecnologias orientadas para o uso racional e a proteção dos recursos ambientais;
- Acompanhamento do estado da qualidade ambiental;
- Recuperação de áreas degradadas; e
- Educação ambiental em todos os níveis de ensino, inclusive a educação ambiental da comunidade, objetivando capacitá-la para participação ativa na defesa do meio ambiente".

As diretrizes da Política Nacional do Meio Ambiente foram formuladas em normas e planos, como diretrizes, destinados a orientar a ação do Governo da União, dos Estados, do Destrito Federal, dos Territórios e dos Municípios no que se relaciona com a preservação da qualidade ambiental e manutenção do equilíbrio ecológico.

A política do meio ambiente, estabelecida pelo Governo brasileiro, reflete ainda a necessidade de preservação dos recursos naturais do país, através do uso correto

do potencial de ar, água, solo, subsolo, flora e fauna, com vistas a possibilitar a ocupação efetiva e permanente do território brasileiro, em defesa do patrimônio existente, evitando ações predatórias espoliativas desses recursos, (RIBEIRO, 1977).

Segundo Silva et al. (1999), a nova Constituição do Brasil, ao contrário da anterior, revelou-se bastante descentralizadora consagrando a co-responsabilidade da União, dos Estados e dos Municípios. Portanto ao se examinar com maior atenção o conjunto da legislação de proteção ambiental brasileira, freqüentemente detecta-se a existência de um grande número de normas dispondo sobre o controle da poluição, uso e exploração dos recursos naturais, unidade de conservação e tanta outras.

Atualmente, existe uma farta legislação de proteção ambiental e de gestão de recursos ambientais, o que, em tese, poderia parecer suficiente para assegurar sua preservação e manejo sustentado. Dentre essas leis, decretos, normas, alguns atendem plenamente a sua finalidade enquanto outras merecem revisão e atualização para adequá-los às necessidades de gestão ambiental de cada estado, (SILVA et al., 1999).

Verifica-se que há nítida tendência por parte do governo para adotar uma nova filosofia de ação, apoiada, fundamentalmente, na premissa de que o desenvolvimento econômico do país deve fazer-se sem prejuízo da qualidade de vida e do bem-estar da população, conciliando-se os imperativos de crescimento econômicos com os princípios básicos indispensáveis à proteção e melhoria do meio ambiente, (RIBEIRO, 1977).

2.3. Premissas para SGA

2.3.1. Planejamento

O planejamento é geralmente considerado a função principal desempenhada dentro do processo administrativo, as organizações não trabalham na base da improvisação, quase tudo é planejado antecipadamente.

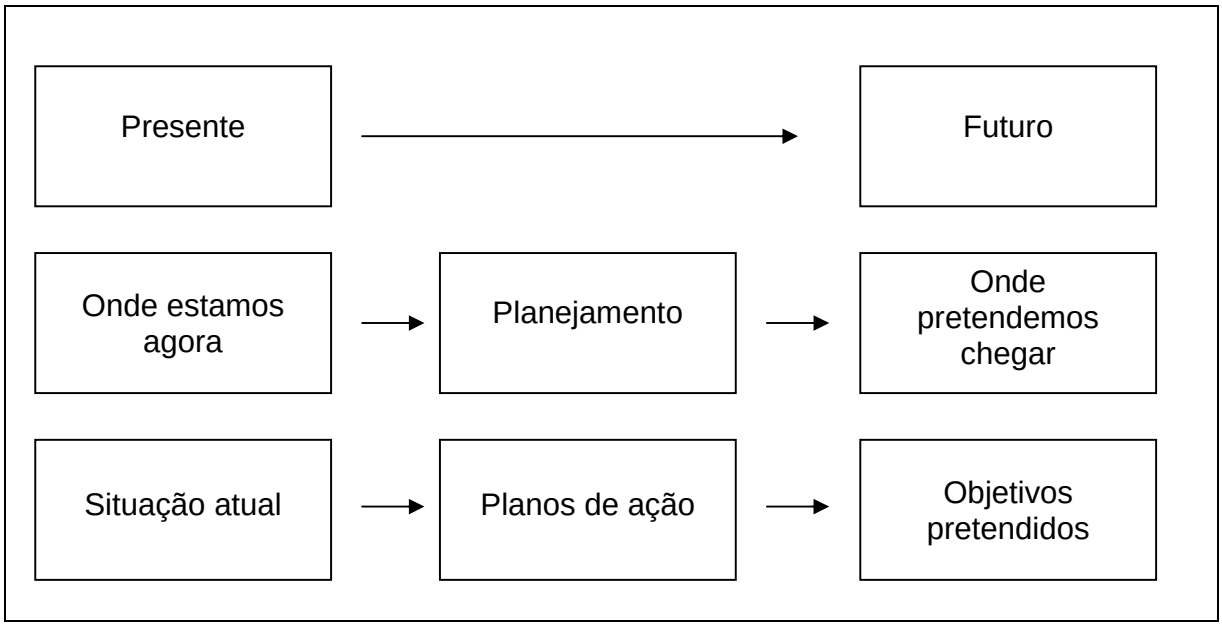
O planejamento de acordo com Ghinato (1996), envolve a identificação de alternativas potenciais de ação que possam satisfazer um objetivo e a avaliação dos meios para a implementação destas alternativas.

Segundo Carneiro et al. (2004), a inexistência de um planejamento técnico, operacional e econômico para a atividade de controle da poluição ambiental, bem como, a ausência ou insuficiência do planejamento, implicam em indicadores operacionais insatisfatórios.

O planejamento segundo Tundisi (2003), deve ser integrado para desenvolver uma visão abrangente dos planos, políticas públicas, tecnológicas e de educação a fim de promover um processo de longo prazo que conte com a participação de usuários, autoridades, cientistas e do público em geral, além das organizações e instituições públicas e privadas, para garantir o desenvolvimento sustentável.

Para Chiavenato (2000), o planejamento é a função administrativa que determina antecipadamente quais são os objetivos que devem ser atingidos e como se deve fazer para alcança-los, pois se trata de um modelo teórico para ação futura. A figura 2, mostra as premissas do planejamento.

Figura 2. Premissas do planejamento.



Fonte: Chiavenato (2000).

Segundo Kwasnicka (1981), a função de planejar é definida como a análise de informações relevantes do presente e do passado e a avaliação dos prováveis

desenvolvimentos futuros, de forma que um curso de ação seja determinado e que torne possível à organização atingir seus objetivos já determinados, ou seja, o planejamento é o processo de pensar no trabalho a ser feito, considerando as tarefas em termos de equipamentos, pessoas, facilidades e outros recursos, e apresentar os planos necessários para delinear qual a melhor forma de executar as tarefas no presente para atingir um futuro desejado.

No entanto, para a autora, há cinco atividades fundamentais que são básicas ao processo de planejamento:

1. Avaliação das condições atuais – para reconhecer as inadequações que influem na mudança;
2. O fator tempo – com o propósito analítico, pode ser visto a curto prazo, médio prazo, bem como a longo prazo;
3. Os problemas de previsão – reúne um corpo de procedimentos e técnicas para predizer condições e eventos possíveis de ocorrer no futuro;
4. A coleta e análise de dados – planejamento eficaz depende da qualidade e quantidade dos dados disponíveis ao planejador;
5. A coordenação dos planos – os planos se inter-relacionam entre si tanto horizontalmente quanto verticalmente, porém os planos devem obedecer a uma hierarquia correspondente aos níveis organizacionais.

Segundo Nuvolari et al. (2003), planejar é estabelecer metas a serem alcançadas, os planos de ataque, as metodologias mais adequadas e dimensionar os recursos necessários, em termos de pessoal e equipamentos a serem mobilizados.

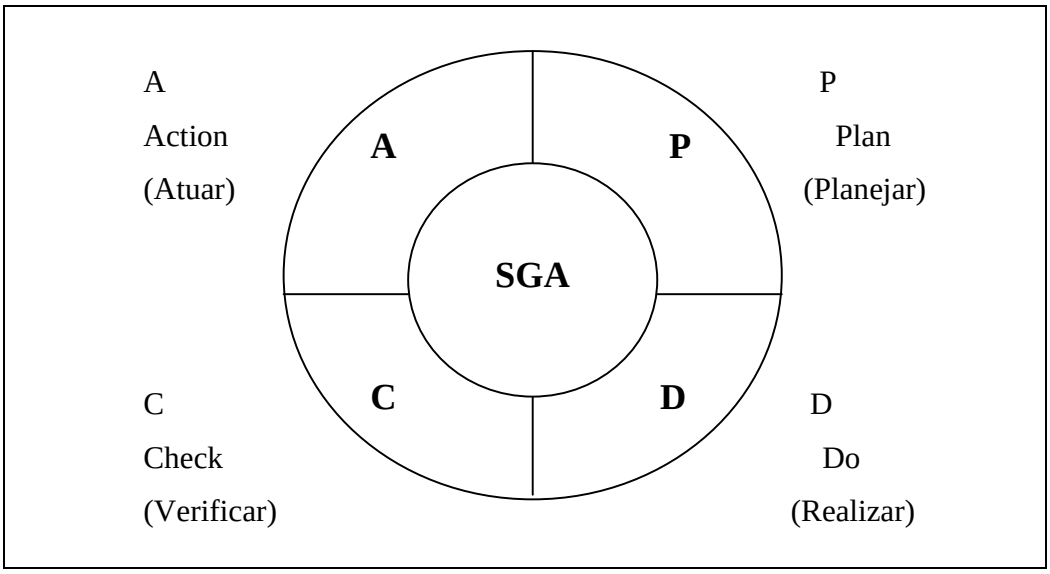
Estipulada às metas, de acordo com a situação organizacional, uma série de ações devem ser planejadas com o intuito de atingir estas metas, ações que devem ser executadas de maneira integrada. A execução das ações planejadas, de forma racional e integradas, leva a um gerenciamento adequado e melhoria continua, (JARDIM et al., 1995).

De acordo com Straskraba e Tundisi (2000), o horizonte temporal, distingue três tipos de planejamento para o sistema de gerenciamento ambiental:

1. Horizonte a curto prazo – gerenciamento corretivo, porque nem os gerentes, nem público anteviram os problemas como sérios até a hora em que os mesmos se tornaram catastróficos;
2. Horizonte a médio prazo – com o gerenciamento dirigido para a prevenção do aparecimento de problemas;
3. Horizonte a longo prazo – com o gerenciamento auto-sustentado, ou seja, o desenvolvimento que atenda às necessidades do presente, sem, no entanto, comprometer a capacidade das gerações futuras de vir a atender as suas necessidades.

Segundo Moura (2002), o planejamento é nada mais nada menos do que os planos de ação para atingir as metas estabelecidas, no entanto, todo o planejamento deve ser um sistema cíclico e interminável, visando buscar a melhoria continua é o ciclo do PDCA, também conhecido como *Ciclo de Deming*, compostos por quatro grandes passos de Plan (Planejar); Do (Realizar); Check (Verificar); e Action (Atuar para corrigir), conforme mostra a figura 3.

Figura 3. Ciclo PDCA.



Fonte: Moura (2002).

Segundo a mesma fonte seria conveniente se o planejamento não precisasse ser mudado, uma vez que ele foi definido. Mas, em virtude das condições externas sempre variáveis, o planejamento deve ser um processo contínuo envolvendo noções de percepção, análise, pensamento conceitual, comunicação e ação. Por essa razão flexibilidade é um fator importante no processo de planejamento e auxilia determinar onde a organização terá sucesso.

2.3.2. Controle

A finalidade da função controle é assegurar que os resultados das operações se ajustem tanto quanto possível aos objetivos previamente estabelecidos pelas organizações, permitindo ações corretivas a fim de evitar a recorrência de falhas. A ação do controle determina se os objetivos e planos estão ou não alcançando os resultados planejados, (PIMENTEL, 2001).

Controlar segundo Moura (2002), significa tomar ações para que as atividades e operações sejam realizadas de acordo com o padrão estabelecido, realizando-se os ajustes necessários quando o sistema começa a se afastar desse padrão.

Para Tommasi (1977), o controle é a realização de processos de observações sistemáticas para fins bem definidos de um ou mais fatores indicadores de um problema específico para obter informações sobre as características desse problema no tempo e no espaço, e utilizando-se para isso métodos comparáveis de amostragem, análises e de sensoriamento.

Segundo Plossl (1993), controle significa a habilidade de desenvolver planos válidos e executá-los de maneira adequada.

Para Kwasnicka (1981), controlar é o esforço sistemático de estabelecer padrões de desempenho, estabelecer sistema de informação, comparar o atual desempenho com os padrões determinados e medir o grau de significância dos desvios apontados, tomando ações corretivas para assegurar que a organização possa atingir seu grau de eficácia quanto aos objetivos definidos no planejamento.

De acordo com Chiavenato (2000), o controle pressupõe a existência de objetivos e planos que definam o que deve ser feito. O controle verifica se a execução está

de acordo com aquilo que foi planejado: quanto mais completos, definidos e coordenados forem os planos, e tanto maior o período para o qual foram feitos, tanto mais completo será o controle.

Martins (2000) define a função controle como sendo o processo administrativo que consiste em acompanhar o desenvolvimento da execução do planejamento, medir e corrigir seu desempenho, para assegurar a perfeita sincronia dos planos delineados, e atingir os objetivos previamente estabelecidos.

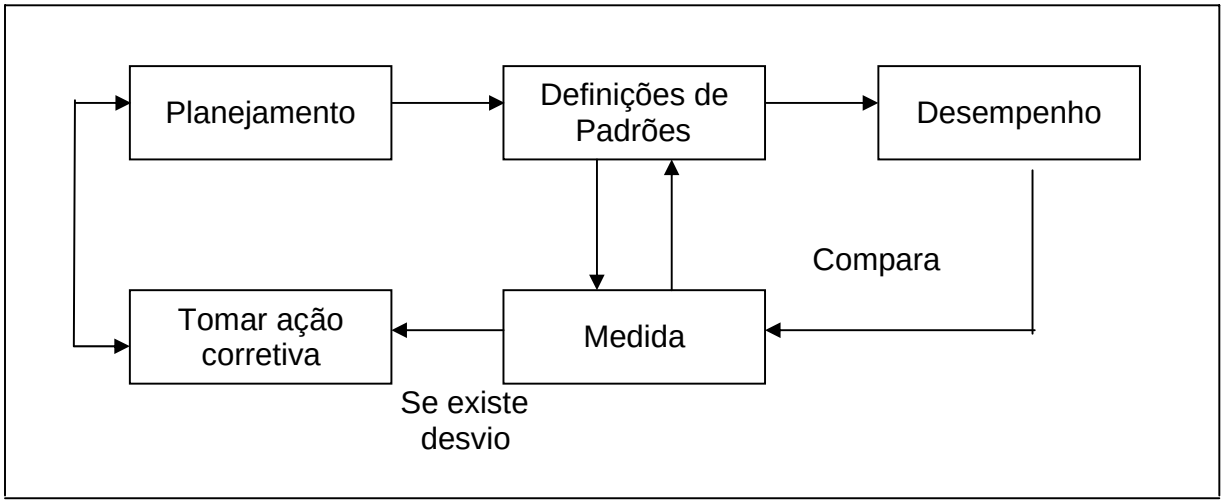
Complementando, a autora destaca que o controle significa conhecer a realidade, compará-la com que deveria ser, tomar conhecimento rápido das divergências e suas origens e tomar atitudes para sua correção.

O processo de controle segundo Plossl (1993), envolve quatro fases descritas a seguir:

- Estabelecimento de padrões;
- Mensuração do desempenho;
- Comparação dos resultados com os padrões;
- Ações corretivas quando ocorrem desvios.

A figura 4 evidência as etapas do processo de controle e como é feito o seu inter-relacionamento.

Figura 4. Processo de controle e o inter-relacionamento.



Fonte: Plossl (1993).

A finalidade do controle é assegurar que os resultados do que foi planejado, organizado e dirigido se ajustem tanto quanto possível aos objetivos previamente estabelecidos, isto é, reside na verificação, se atividade controlada está ou não alcançando os resultados desejados, (CHIAVENATO, 2000).

Dessa forma o autor diz que o processo de controlar envolve quatro passos lógicos:

1. Desenvolver padrões que nos digam onde deveremos estar a um dado tempo;
2. Observar e medir o desempenho;
3. Comparar o desempenho com os padrões;
4. Efetuar as ações corretivas necessárias.

2.3.2.1. Controle Ambiental

Segundo Braga et al. (2002), controle ambiental é definido por padrões e indicadores de qualidade do ar, da água e do solo que se deseja respeitar em um determinado ambiente, em função da legislação ambiental em vigor.

Na adoção de medidas de controle da poluição ambiental, segundo Mota (1981), é necessário conhecer como a mesma ocorre, suas fontes e processos, principalmente na implantação de medidas preventivas de controle.

De acordo com Branco (1984), o controle do impacto ambiental, é quando se estabelece um dado parâmetro que observado devidamente interpretado e correlacionado com outros permite a medida ou avaliação de um fenômeno.

Segundo Nuvolari et al. (2003), a avaliação do impacto ambiental também pode ser um instrumento de controle ambiental que ao identificar previamente os impactos, os analistas e projetistas podem desenhar medidas de atenuação dos impactos negativos e de valorização dos positivos, cuja eficácia deverá ser posteriormente avaliada pela implementação de um programa de acompanhamento e monitoramento ambiental.

Complementando, o autor, afirma que o diagnóstico ambiental da área degradada deve refletir as condições atuais dos meios físicos, biológicos e sócio-econômicos, resultando num diagnóstico com medidas mitigadoras compensatórias e/ou de controle

ambiental que permitam a avaliação dos impactos. Essas medidas mitigadoras do controle ambiental devem visar:

- Degradação das áreas exploradas;
- Erosão e sedimentação das áreas utilizadas como destino final dos resíduos sólidos;
- Poluição do solo e dos recursos hídricos provenientes dos resíduos industriais e domésticos;
- Poluição atmosférica das atividades de manufatura.

Controle ambiental segundo Viterbo Júnior (1998), é quando quaisquer ações corretivas ou preventivas são adotadas para eliminar as causas das não-conformidades, reais ou potenciais, devendo ser adequada à magnitude dos problemas e proporcional ao impacto ambiental verificado.

Para Moura (2002), o controle deve ser concebido para assegurar que o nível de desempenho ambiental esteja de acordo com a política ambiental, objetivos e metas, devendo permitir uma verificação constante do comprimento dos requisitos e metas estabelecidos.

Segundo a mesma fonte, na ausência do controle, podem ocorrer desvios em relação aos objetivos e metas ambientais, ou da própria política ambiental.

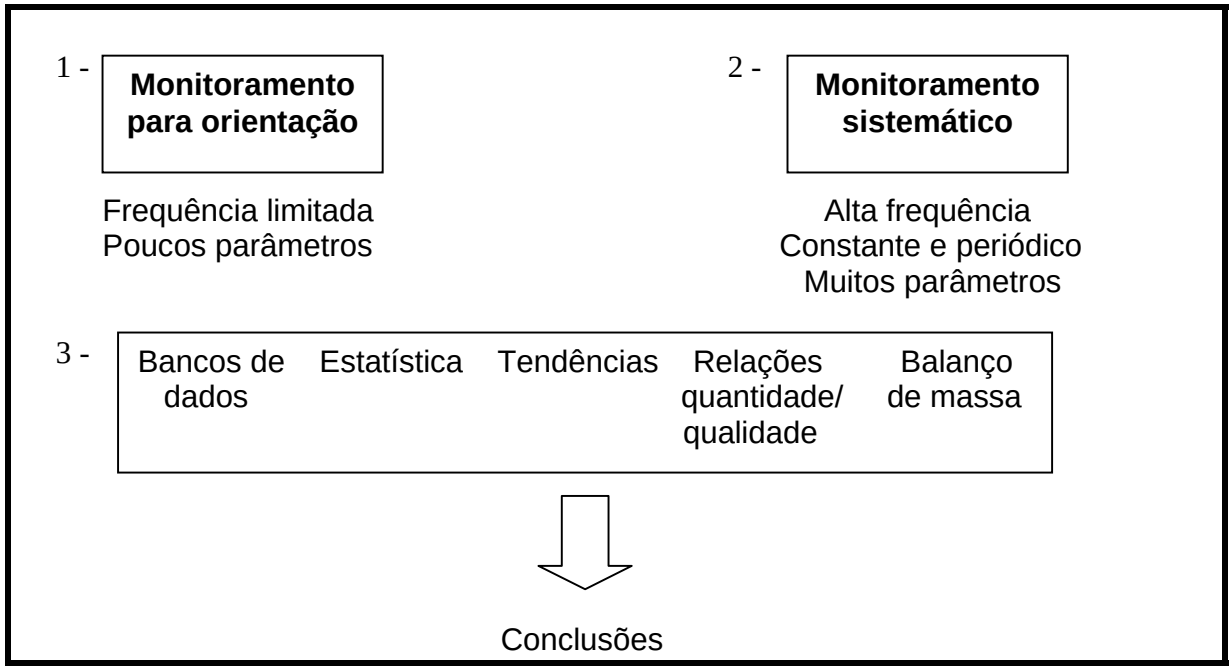
O primeiro passo para controlar um sistema de gestão ambiental é a caracterização dos efluentes (aéreos e líquidos) e dos resíduos (sólidos, líquidos e pastosos), para determinar as ações mitigadoras necessárias, os regulamentos e a legislação envolvida, complementa (VITERBO JÚNIOR, 1998).

Para Nuvolari et al. (2003), o controle ambiental de natureza técnica é feito no sentido de se obter a qualidade técnica desejável, no prazo estipulado, pelo desenvolvimento de planejamento cuidadoso e controle apropriado da execução.

Para adotar um modelo de gerenciamento ambiental eficaz, os itens de controle devem ser mensuráveis e ter objetivos quantificáveis associados a prazos, custos, replanejamento e ações corretivas, (JARDIM et al., 1995).

De acordo com Tundisi (2003), o controle é o primeiro passo importante para elaboração de um banco de dados confiável e adequado que possa ser útil ao planejamento e ao sistema de gerenciamento ambiental. A figura 5, refere-se à avaliação inicial, não permanente de um sistema, e à avaliação permanente regular de um sistema com a repetição de um conjunto de análises e informações que possibilitem verificar tendências, avaliar impactos, prevenir eventos catastróficos até certo ponto e dar orientações para futuras ações.

Figura 5. Características dos principais processos de controle.



Fonte: Tundisi (2003).

Complementando, Tundisi (2003), afirma que para obter um controle efetivo, devem ser considerados:

- Definição das metas e das escalas espaciais horizontais e verticais do controle;
- Plano para coleta de dados e informações, como o período e freqüência;
- Tipo de tratamento da amostra;

- Análise de dados – tipos de distribuição estatística, relações entre variáveis;
- Interpretação dos resultados, apresentação das condições e recomendações.

2.3.3. Indicadores de Desempenho

Os indicadores de desempenho formam um conjunto de informações que monitoram as atividades de controle. As medidas do desempenho não devem somente identificar os problemas, mas também ajudar a todos os envolvidos no processo para reduzir, prever e evitar as falhas, (PIMENTEL, 2001).

O conceito de indicadores, segundo Branco (1984), é qualquer sistema utilizado, destinado à detecção de anomalias.

Segundo Moura (2002), indicadores de desempenho são formas de medir e comparar os objetivos ou metas estabelecidas, para cada tipo de variável devem ser definidas as formas de quantificar e avaliar, em se tratando de avaliações gerenciais; ou de medir, em se tratando de variáveis físicas, químicas ou biológicas de processo.

Para Ostrenga et al. (1993), os indicadores do desempenho devem evitar os seguintes tipos de medidas:

- Que não apóiam nenhum fator crítico de sucesso;
- Múltiplas, que apóiam um só fator de forma redundante;
- Desnecessariamente detalhadas;
- Que encorajam ou premiam ações que prejudicam as metas e os objetivos da organização;
- Que estão além da responsabilidade ou influência do responsável.

Segundo a mesma fonte, um sistema de medida de desempenho, deve:

- Ser simples;

- Ser abrangente para toda a organização;
- Permitir à administração monitorar o progresso;
- Auxiliar no aperfeiçoamento contínuo dos processos;
- Oferecer informações confiáveis e no momento certo.

Viterbo Júnior (1998), afirma que os indicadores de desempenho ambiental devem ser objetivos, verificáveis e reprodutíveis vejamos alguns exemplos:

- Consumo de energia elétrica (KWh);
- Geração de resíduos por total produzido (total de resíduos/ por total produzido);
- Emissões para atmosfera (gramas/ hora);
- Percentagem de ocupação do terreno;
- Percentagem de reservas naturais (área de reservas / área total).

2.3.4. Normas ambientais

Como a legislação ambiental é diferente nos diversos países e regiões, surgiu a necessidade de uma linguagem comum para expressar a conformidade. Com essa necessidade, surgiram à partir da década de 80, os Sistemas ISO, que são formados por uma variedade de séries padrão.

Segundo Moura (2002), a ISO (Organização Internacional de Normalização – *International Organization for Standartization*) é um órgão técnico vinculado a ONU (Organizações das Nações Unidas), criado em 1946 em Genebra na Suíça. Este órgão é responsável por normas técnicas de todos segmentos industriais, seu objetivo principal é preparar e emitir normas referentes à qualidade com à finalidade de facilitar as transações econômicas e possibilitar maior transparência nas relações entre produtores e consumidores dos mais diversos ramos de atividades.

De acordo com os dados coletados pela Internatinal Standart Organization (ISO), citada por Kuntz (2004), até o final do ano de 2003 havia quase 37 mil selos distribuídos, sendo que a grande maioria, mais de 18 mil, estaria na Europa, porém o

Brasil foi único país da América Latina colocado entre o dez que aumentaram o número de certificações, ocupando o sétimo lugar no ranking mundial.

Segundo Silva (2004), o Brasil participa da ISO através da ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, uma sociedade privada, sem fins lucrativos, fundada em 1940, reconhecida pelo governo brasileiro como o Fórum Internacional de Normalização, com o objetivo principal de promover a elaboração de normas em diversos domínios de atividades.

É um documento estabelecido por consenso e aprovado por um organismo reconhecido que fornece, para uso comum e repetitivo, regras, diretrizes ou características para atividades ou seus resultados, visando à obtenção de um grau ótimo de ordenação em um dado contexto, (JARDIM et al., 1995).

Segundo Jardim et al. (1995), as normas podem ser elaboradas basicamente em três níveis, conforme descritos nos itens abaixo:

a) Internacional – International Organization for Standardization ISO;

b) Nacional – Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT;

c) Empresas governamentais ou privadas – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental – CETESB.

Para o sistema de gerenciamento ambiental a ISO 14000 é a série de normas que regulamenta a certificação tendo como base às diretrizes definidoras da qualidade, buscando a melhoria contínua do processo produtivo.

Um bom sistema de gerenciamento ambiental, além de diminuir riscos de acidentes ecológicos, diminuir os impactos ambientais, melhora a administração de recursos energéticos, materiais e humanos, (SILVA, 2004).

Segundo Viterbo Júnior (1998), as normas aplicadas em uma organização apresentam algumas vantagens, promove o desenvolvimento sustentável, a melhoria dos processos e a racionalização do consumo de matérias-primas e a diminuição do consumo de energia.

Estabelecer normas, segundo Moura (2002), é importante pois apresenta algumas vantagens:

- Permitem comunicar na mesma linguagem;
- Fornecem especificações necessárias para uma boa qualidade dos serviços;
- Orientam através de critérios como construir e operar sistemas e serviços.

De acordo com Viterbo Júnior (1998), a aplicação de um sistema de gestão ambiental que visa abranger os requisitos da ISO 14001, obrigatoriamente, leva a organização a se preocupar com metas mais relevantes, proporcionando a busca por processos de gestão cada vez mais eficazes, para possibilitar que os resultados necessários sejam atingidos.

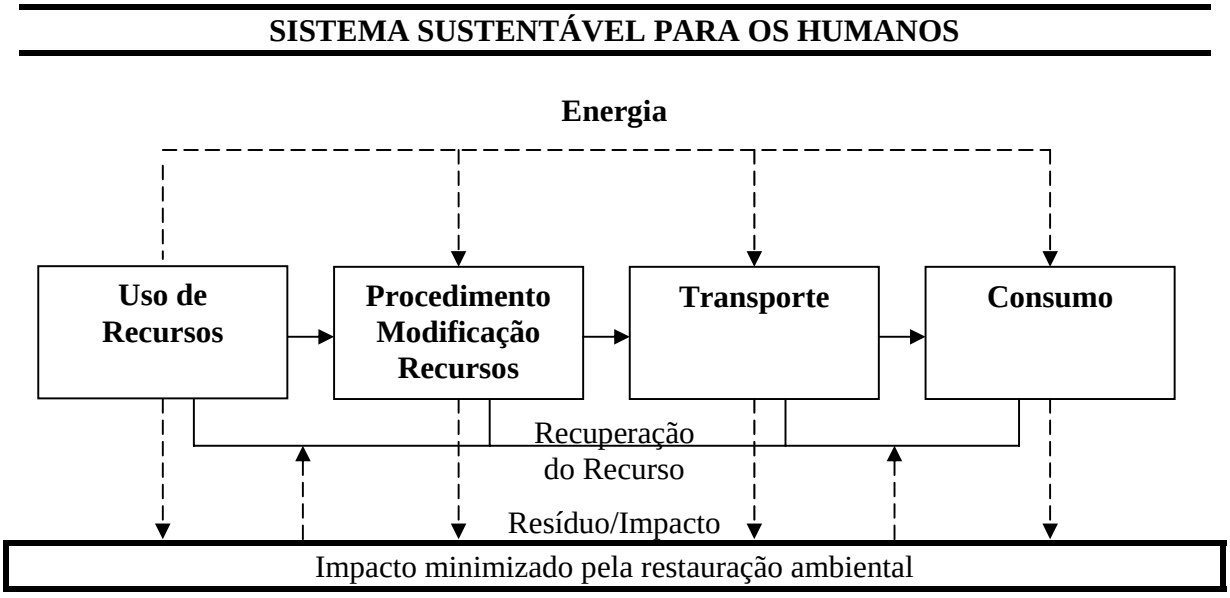
2.4. Desenvolvimento Sustentado

O desenvolvimento sustentado visa garantir, um desenvolvimento controlado capaz de garantir a manutenção, a longo prazo, dos recursos naturais e minimizar os efeitos adversos sobre esses e outros recursos, que não esgotem opções para um desenvolvimento futuro, que a eficiência no uso dos recursos seja o elemento chave da estratégia, (STRASKRABA E TUNDISI, 2000).

A figura 6 mostra como deve ser o modelo de desenvolvimento sustentável.

Segundo Viterbo Júnior (1998), para obter o desenvolvimento sustentado eficaz, um modelo de gestão ambiental deve ser incorporado nas organizações, preocupando-se com a prevenção da geração de resíduos, evitando a sua formação no decorrer do processo e não somente no seu final, evitando assim perdas e custos com tratamento e deposição de resíduos.

Figura 6. Modelo de desenvolvimento sustentável.



Fonte: Braga (2002).

Para Jardim et al. (1995), um dos princípios básicos para reduzir o impacto ambiental e atingir o desenvolvimento sustentado é o conceito dos três Rs:

- Reduzir – reduzir a quantidade de resíduo que gera, quando possível, para combater o desperdício dos produtos, isto resulta na redução de custos e preserva os recursos naturais;
- Reutilizar – existem inúmeras formas de reutilizar os mesmos objetos, por motivos econômicos;
- Reciclar – forma o terceiro tripé, sendo a alternativa quando não é mais possível reduzir nem reutilizar.

Reutilizar ou reciclar, complementa o autor, é uma série de atividades através da qual materiais que se tornariam lixo, ou estão no lixo, são desviados, sendo coletados, separados, e processados para serem usados como matéria-prima na manufatura de bens, feitos anteriormente apenas com matéria-prima virgem.

Quando reutilizamos os resíduos provenientes das atividades industriais ou humanas, as mesmas apresentam alguns benefícios, como:

- Diminuição da quantidade de resíduos;
- Preservação dos recursos naturais;
- Economia de energia;
- Diminuição da poluição do solo, do ar e das águas;
- Gera empregos, através da criação de industrias recicladoras.

Segundo Viterbo Júnior (1998), além dos princípios dos três Rs citado por Jardim et al (1995), deve levar em conta um quarto R, para promover o desenvolvimento sustentado, ou seja, o princípio dos quatros Rs:

- Reutilização (de matérias-primas e de resíduos);
- Redução (da geração de resíduos, através de melhorias nos processos);
- Reciclagem (de produtos e embalagens);
- Substituição (Replacement) (de matéria-prima e de processos).

De acordo com Silva (2004), a prática moderna de controle deve ser no começo de processo (begining of the line), onde o enfoque é centrado na redução do consumo de energia, mudanças dos processos, matérias-primas e equipamentos. O modelo atual, quando obrigadas a atender à legislação ambiental, adota o controle no final do processo (end of the line).

2.5. Poluição Ambiental

2.5.1. Impacto Ambiental

Segundo o IPEA (1975), impacto ambiental é toda matéria ou energia que, introduzida pelo homem no meio ambiente, ou ocorrendo devido a sua omissão, torna-se prejudicial ou perigosa, de maneira direta ou indireta, para a saúde, o bem estar, ou os recursos naturais.

Qualquer interferência direta ou indireta no ciclo de energia do ecossistema marinho, terrestre, dos rios e lagos, agravando em problemas de ordem ecológica, é definido por Tommasi (1977), como impacto ambiental.

A norma BS 7.750 define como impacto ambiental qualquer modificação do meio ambiente, adversa ou benéfica que resulte, no todo ou em parte, das atividades, produtos ou serviços de uma organização, (MOURA, 2002).

Para Moura (2002), impacto ambiental são quaisquer mudanças no meio ambiente que ocorrem como resultado das atividades de uma organização, quase sempre associado à geração de eventos indesejáveis.

Os conjuntos do ar, da água, do solo, do subsolo, da flora e da fauna constituem, cada um, um sistema harmônico em si mesmo, todos, entretanto reciprocamente condicionados, formando um mecanismo complexo de que o homem é parte integrante. Mas quando ocorre mudança drástica que alterem radicalmente um ecossistema e destruam seu equilíbrio, seja fenômeno de origem natural ou operada pelo homem, Ribeiro (1977), define como impacto ambiental.

A poluição ou impacto ambiental é uma modificação desfavorável do meio natural, que se apresenta no todo ou em parte como um subproduto da ação humana, através de efeitos diretos ou indiretos que vão alterar os critérios de distribuição dos fluxos de energia, dos níveis de radiação, da constituição físico-química do meio natural e da abundância de espécies vivas. As modificações podem afetar o homem, seja diretamente, seja pela diminuição dos recursos em produtos agrícolas, em água e em outros produtos biológicos. Podem afetá-lo, também, alterando os objetos físicos que o rodeiam, as possibilidades recreativas do seu meio, ou ainda desfigurando a natureza, (CHARBONNEAU et al., 1979).

Impacto ambiental segundo Mellanby (1982), é quando o homem introduz no meio ambiente substâncias tóxicas provavelmente com algum efeito nocivo e que possa ser reconhecido.

O impacto ambiental pode ser definido como qualquer alteração das características de um ambiente (água, ar ou solo) de modo a torná-lo impróprio às formas de vida que ele normalmente abriga. Estas modificações podem ser resultantes da presença, lançamento ou liberação, no ambiente, de matéria ou energia, em quantidade ou intensidade tais que o tornem impróprio, (MOTA, 1981).

Qualquer elemento indicador de prejuízo sanitário, econômico e de ordem estética, que pode afetar de maneira nociva, direta ou indiretamente, a vida e o bem estar dos humanos, é definido por Branco (1983), como impacto ambiental.

Para Pinheiro e Monteiro (1992), impacto ambiental caracteriza-se por alterações significativas no meio ambiente, decorrente de atividade antrópica ou natural, que podem levar ao comprometimento das utilizações dos recursos naturais ar, solo e água.

O impacto ambiental representa, qualquer influência poderosa exercida sobre o meio ambiente, provocando o desequilíbrio do ecossistema natural, (BRANCO, 1984).

Segundo Leite (1995), praticamente toda atividade humana gera resíduos de consistências sólidas, líquidas ou gasosas. A disposição desses recursos na natureza de forma inadequada e em concentrações superiores à capacidade de assimilação do ambiente passou a ser chamado de poluição.

De acordo com Rotstein (1996), análise que se impõe, em termos de poluição e destruição do meio ambiente, o ciclo vai desde a preparação do solo, cultivo, colheita, transporte, processamento industrial, até a geração de lixo sólido em função do consumo.

Segundo Milaré (1998), a resolução CONAMA nº 001/86, considera como impacto ambiental qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente afetam:

- a saúde, a segurança e o bem estar da população;
- as atividades sociais e econômicas;
- a biota;
- as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente;
- a qualidade dos recursos ambientais.

De acordo com Varela (1987), existe uma diferença entre poluição e contaminação, consideram-se poluições às alterações das propriedades físicas, químicas e biológicas da biosfera, em decorrência da ação isolada ou combinada de poluentes, causando prejuízos às características ecológicas do meio, enquanto a contaminação é caracterizada pela

introdução no meio de elementos em concentrações nocivas a saúde humana, como microrganismos patogênicos, substâncias tóxicas ou resíduos radioativos.

A poluição é uma alteração indesejável nas características físicas, químicas ou biológicas da atmosfera, litosfera ou hidrosfera que cause ou possa causar prejuízo à saúde, à sobrevivência ou as atividades dos seres humanos e outras espécies ou ainda deteriorar materiais, (BRAGA et al., 2002).

Segundo Manahan (1994), afirma que os poluentes são resíduos gerados pelas atividades humanas, causando um impacto ambiental negativo, ou seja, uma alteração indesejável, isto é devido ao enorme avanço tecnológico alcançado no século atual, fazendo com que o homem de simples componente de um sistema ecológico, passasse a dominador do espaço natural, implantando uma progressiva desarmonia no conjunto.

2.5.1.1. Causas dos Impactos Ambientais

Na procura das causas da poluição ambiental, de acordo com Fellenberg (1980), deparamos com dois fatores básicos:

- Tendência do homem a mecanização, para transformar as matérias primas em artefatos úteis, formando quantidades apreciáveis de resíduos inúteis constituindo num dos componentes principais da poluição;
- O crescente aumento da população, força uma crescente produção de alimentos, para tanto é necessário uma eficiente produção de fertilizantes e praguicidas tornando o segundo componente da poluição ambiental.

De acordo com Varela (1987), as causas das poluições podem ser naturais. Como a erosão, degradação de rochas, material orgânico em vários estágios de biodegradação, partículas minerais, entre outras; e provenientes das atividades humanas em função da expansão das produtividades industriais, realizadas sem que se leve em conta os princípios ecológicos e a integridade dos cursos de água, do solo e do ar, afetando

sensivelmente o meio ambiente, violando os ecossistemas, sua capacidade de auto-regulação e renovação, resultando em progressiva deterioração das condições de vida.

Segundo Nuvolari et al. (2003), as principais causas de impactos ambientais, são devidos ao progressivo crescimento populacional e econômico, aonde o homem vem dilapidando a natureza, seja para dela extrair os recursos necessários a esse crescimento, seja lançando nela os detritos e as sobras resultantes das suas atividades. Assim é que o solo, o ar e a água foram sendo progressivamente conspurcados pela poluição.

Contudo, o mau gerenciamento e a disposição inadequada dos resíduos sólidos urbanos e/ ou industriais diretamente nos cursos de água e solo podem resultar em problemas ambientais relevantes, como a produção de lixiviado/ percolados potencialmente tóxicos, causando graves impactos ambientais, (CARNEIRO et al., 2004).

Para Kuntz (2004), as conseqüências gerais dos impactos ambientais são atribuídos aos esgotamentos dos recursos naturais, escassez de água potável, poluição atmosférica, desertificação, extinção de espécies animais e vegetais promovendo o desequilíbrio ecológico comprometendo a vida de gerações futuras.

2.5.1.2. Classificação dos Impactos Ambientais

Os impactos ambientais, causados pela disposição inadequada dos resíduos podem ser classificados de acordo com Lima (19_?), em agentes de poluição:

- Física – são desenvolvidas a partir do momento em que os despejos industriais e domésticos são lançados indiscriminadamente nos cursos de água, como forma de destino final;
- Química – em função de despejos industriais como detergentes não-biodegradáveis e resíduos tóxicos, e pelo uso intensivos de herbicidas e fungicidas;
- Bioquímica – é propiciada por uma série de fenômenos naturais como lixiviação, percolação, arrastamento e dissolução.

Segundo Sparks (1995), existe dois tipos de poluição – pontual e difusa. As poluições pontuais são provenientes de fontes como área industrial, tanque séptico

ou estações de tratamento de águas residuais. A poluição difusa resulta de diversas fontes (atividades humanas ou naturais) e de grandes áreas. As fontes de poluição não pontual incluem agricultura, urbanização, atividades de mineração, erosão geológica e variação na quantidade de nutrientes do solo.

2.5.2. Meio Terrestre

2.5.2.1. Solo

O solo é um meio muito particular, que se encontra entre a litosfera e a atmosfera. Por isso, numerosos ciclos biogeoquímicos nele se desenvolvem: ciclo da água, do nitrogênio, do enxofre, do fósforo, do ferro, etc. O solo é um meio vivo, no qual as bactérias, os vegetais e os animais desempenham um papel considerável, sobretudo assegurando a manutenção de sua fertilidade, (CHARBONNEAU et al., 1979).

Em ecologia, de acordo com Pinheiro e Monteiro (1992), o solo é definido como sendo a rocha finamente particulada associada à matéria orgânica, onde as plantas encontram apoio e nutrientes para se desenvolverem.

Para Amaral (1984), os solos de maneira geral possuem quatro componentes básicos para o desenvolvimento da vida dos animais e vegetais que são: substâncias minerais, matéria orgânica, água e ar.

De acordo com a mesma fonte o solo é um organismo vivo e não um corpo morto e estável como poderia imaginar, sendo constituído de micro e macro vidas, no entanto, é a parte que mais sofre ou se beneficia com o trabalho do homem.

Segundo Braga et al. (2002), o solo pode ser conceituado como um manto superficial formado por rocha desagregada e, eventualmente, cinzas vulcânicas, em mistura com matéria orgânica em decomposição, contendo ainda água, ar em proporções variáveis e organismos vivos.

2.5.2.2. Poluição do solo

As atividades que o homem desenvolve sobre o solo, alterando as suas características naturais, seja através de mudanças na sua estrutura física, seja pelo lançamento de resíduos em sua superfície, podem resultar na poluição do solo, (MOTA, 1981).

O acúmulo de detritos nos grandes centros de consumo e de produção, acompanhado de um processo de depauperamento e desvitalização dos solos que cercam esses centros, segundo Branco (1983) é definido como poluição do solo.

Para Lima (19_?), a poluição do solo é caracterizada como todo resíduo disposto de forma inadequada, sem qualquer tratamento alterando suas características físicas, químicas e biológicas, constituindo-se num problema de ordem estética e numa séria ameaça a saúde publica.

A poluição do solo segundo Manahan (1994), ocorre devido a todo resíduo perigoso ou substância potencialmente perigosa que tenha sido descartado, abandonado, negligenciado, libertado ou designado como um material residual, ou um material que possa interagir com outras substâncias tornando uma ameaça.

A utilização do solo pelo homem, gera um desequilíbrio no ambiente natural levando à destruição parcial ou total de ecossistemas estáveis é chamado de poluição do solo, (PINHEIRO E MONTEIRO, 1992).

A erosão, sendo um processo de modificação da estrutura do solo, é entendida por Mota (1981), como uma forma de poluição.

De acordo com Mota (1981), as fontes de poluições do solo são provenientes:

- Despejos de resíduos sólidos ou líquidos, resultantes das atividades domésticas ou industriais;
- Aplicação de fertilizantes e defensivos agrícolas;
- Atividades que resultem na erosão do solo.

2.5.2.3. Conseqüências da poluição do solo

De acordo com Mota (1981), quando os resíduos sólidos domésticos ou industriais são despejados em aterros a céu aberto, a poluição do solo pode resultar em:

- Aspecto estético desagradável;
- Maus odores, resultantes da decomposição dos detritos;
- Poluição da água subterrânea ou superficial, através da infiltração de líquidos e carreamento de impurezas por escoamento superficial.

Para Fellenberg (1980), a disposição inadequada de resíduos, não constitui somente um problema de ordem estética, pois representa uma série ameaça ao homem tais como:

- Diminuição do espaço útil disponível;
- Ameaça direta à saúde, por agentes patogênicos;
- Danos indiretos a saúde, por causa do comprometimento do ar e das águas superficiais e subterrâneas.

Segundo Mota (1981), a perda de material do solo em função da erosão causa sérios prejuízos à produtividade média da terra, pois provoca o desequilíbrio hidrogeológicos, produzindo variações drásticas na composição e estrutura da fauna. Por outro lado, constitui um mecanismo de poluição das águas, pois o carreamento de pequenas partículas de solo, no processo de erosão, provoca alterações na qualidade da água, resultando em desequilíbrios ecológicos.

Para Amaral (1984), o aumento da a acidez dos solos, através de atividades poluidoras, é prejudicial, pois diminui a ação dos microrganismos do solo, e também reduz, a disponibilidade de cálcio, magnésio e potássio, insolubiliza o boro, o fósforo, o cobre e o zinco, surgindo quantidades tóxicas de alumínio, ferro e manganês.

2.5.3. Meio Aquático

2.5.3.1. Poluição hídrica

A poluição dos recursos hídricos é definida por Ribeiro (1977), quando ocorre o lançamento indiscriminado nos cursos de água de despejos urbanos e industriais, ocasionando uma série de danos econômicos e sociais.

Os resíduos líquidos provenientes das atividades humanas sejam elas para uso pessoal, uso doméstico ou outras atividades, os quais voltam novamente aos recursos hídricos, é definido por Mota (1981), como poluição hídrica.

Segundo a mesma fonte, a água que precipita e carreia impurezas do ar e do solo para as águas superficiais ou subterrâneas, alterando a sua qualidade, é tido como poluição hídrica.

A poluição hídrica segundo Dajoz (1983), é proveniente das águas de esgotos domésticos e detritos industriais, demasiadamente abundantes para poderem ser depuradas pelos processos naturais.

Para Branco (1983), o lançamento à água de elementos que sejam diretamente nocivos à saúde do homem ou de animais e vegetais que consomem essa água, independentemente do fato de estes viverem ou não no ambiente aquático, é definido como poluição hídrica.

O lançamento a um rio, das águas residuárias de uma indústria contendo compostos químicos, partículas em suspensão ou com temperatura elevada, pode provocar diversas alterações de composição e características químicas e físicas do ambiente aquático, o que constituirá a causa de um desequilíbrio do seu ecossistema. Esse tipo particular de impacto ambiental é denominado poluição hídrica, (BRANCO, 1984).

Segundo a mesma fonte, a água infiltrada no solo, a partir das precipitações, dos cursos d’água, dos lagos e reservatórios, contribui para a formação dos aqüíferos subterrâneos, porém quando este líquido, é originado de águas poluídas, ou tendo percolado através de um meio contendo impurezas, constitui uma fonte de poluição da água subterrânea.

Para Pinheiro e Monteiro (1992), a poluição hídrica é caracterizada por alterações estéticas que levam a um comprometimento do ecossistema aquático quanto ao seu fornecimento de água potável e alimento.

Poluição hídrica segundo Rozenthal (1998), é qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas das águas, que possa constituir prejuízo à saúde, à segurança e ao bem estar das populações e ainda possa comprometer a fauna ictiológica e a utilização das águas para fins comerciais, industriais e recreativos.

Segundo Varela (1987), os agentes físicos causadores dos impactos ambientais nos recursos hídricos são: temperatura, cor, turbidez, tensão superficial, potencial hidrogeniônico, radioatividade; enquanto os agentes químicos são: gases, sais minerais, matéria orgânicas e agentes biológicos.

Para Viterbo Júnior (1998), deve-se considerar que uma água está poluída, quando a sua composição ou seu estado está de tal modo alterado que já não reúnem as condições necessárias (propriedades físicas, químicas e biológicas) para as utilizações para as quais estava destinada no seu estado natural.

Segundo Braga et al. (2002), entende-se por poluição da água a alteração de suas características por quaisquer ações ou interferências, sejam elas naturais ou provocadas pelo homem.

Para Nuvolari et al. (2003), a poluição hídrica ocorre, quando os resíduos de origem industriais ou domésticos são lançados *in natura* nos corpos d'água, isto é, sem receber um prévio tratamento, dependendo da relação entre a vazão de resíduos lançados e do corpo receptor, pode-se esperar sérios prejuízos à qualidade dessa água.

De acordo com Fellenberg (1980), a poluição das águas é proveniente de três fontes principais:

- Águas residuárias urbanas – provenientes dos esgotos urbanos contendo essencialmente carboidratos, gorduras, materiais protéicos, detergentes, fosfatos e bactérias;
- Águas residuárias de origem agropecuária – resultante dos detritos orgânicos de origem animal, águas de limpeza das instalações, ensilagem para alimentar animais, fertilizantes e praguicidas;

- Águas residuárias industriais – responsável pela maioria das diferentes substâncias poluentes (orgânicos ou inorgânicos), devido a peculiaridade em função das atividades particulares de manufatura.

Os resíduos líquidos provenientes dos processos industriais têm composição bastante variada, porém peculiar a suas atividades particulares de manufaturamento, ou seja, são caracterizados em sua maioria, pela presença preponderante de matéria orgânica (proteínas, carboidratos e lipídios), que servem de alimento a animais, a fungos e bactérias, (AYLESWORTH, 1971).

2.5.3.2. Conseqüências da poluição hídrica

Para Branco (1983), os efeitos resultantes da introdução de poluentes no meio aquático dependem da natureza e da forma (pontual ou difusa), do poluente introduzido, do caminho que esse poluente percorre no meio e do uso que se faz do corpo de água.

O arrastamento de materiais do solo para os rios é que causa sua turbidez e outras alterações de caráter estético. A presença de partículas em suspensão, causando turbidez, ou de substâncias pigmentadas em solução, causando cor, além do aspecto visual desagradável, concorrem para limitar a penetração de raios luminosos na água, restringindo ou abolindo totalmente a possibilidade do desenvolvimento de algas e a realização da fotossíntese. Ao mesmo tempo em que ocorre o intenso e acelerado consumo das reservas de oxigênio das águas, há uma total inibição da reposição do teor de oxigênio por atividade fotossintética, afetando a sobrevivência dos seres de vida aquática; exalação de gases mal cheirosos e possibilidade de contaminação de animais e seres humanos pelo consumo ou contato com essa água, (BRANCO, 1983).

Segunda Braga et al. (2002), a presença de matéria orgânica biodegradável em quantidade superior a capacidade de assimilação, causa à redução do oxigênio dissolvido na água que os recebe. O consumo do oxigênio, conseqüência da estabilização da matéria orgânica complexa (proteínas e gorduras) em compostos mais simples (amônia, aminoácidos e dióxido de carbono) pelas bactérias resultando numa diminuição ou

extinção do oxigênio dissolvido na água, provocando o desequilíbrio ecológico do meio, com prejuízos para os organismos aquáticos. O oxigênio dissolvido é um dos constituintes mais importantes dos recursos hídricos. Embora não seja o único indicador de qualidade de água existente, é um dos mais usados porque está diretamente relacionado com os tipos de organismos que podem sobreviver em um corpo de água. Quando ausente, permite a existência de organismos anaeróbios que liberam substâncias que conferem odores fortemente ofensivos, sabor e aspecto indesejáveis à água.

Porém de acordo Branco (1983), quanto maior a concentração de poluentes, maior a proliferação de bactérias, maior a atividade total de respiração e maior, por conseguinte, a demanda de oxigênio, causando o desequilíbrio do meio aquático.

Segundo a legislação do estado de São Paulo, através da Lei Número 997, de 31 de maio de 1976, o artigo 18º, item V, citado pela CETESB (2005), fica estabelecido que os efluentes de qualquer fonte poluidora somente poderão ser lançados, direta ou indiretamente, nas coleções de água, se a DBO 5 dias, 20 ºC for no máximo de 60 mg L^{-1} (sessenta miligrama por litro).

De acordo com a CETESB (2005), este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluentes, onde o sistema de tratamento de águas residuárias possa reduzir a carga poluidora em termos de DBO 5 dias, 20 ºC do despejo em no mínimo 80% (oitenta por cento).

Um aumento excessivo da concentração de sais de nitrogênio e fósforo contribui para a formação de um ecossistema diferenciado, resultante do aumento da concentração de algas, primeiro elo da cadeia alimentar e que provoca alterações nos elos subseqüentes, (NUVOLARI et al., 2003).

Para Coelho (2000), o aumento desequilibrado da produção primária nos corpos d'água, devido ao aporte excessivo de nutrientes, é chamado de eutrofização.

Para Braga et al. (2002), a eutrofização é o enriquecimento das águas com fósforo/ e ou nitrogênio, nutrientes necessários ao crescimento da vida vegetal aquática, porém a eutrofização acelerada é causada pelo aporte de fósforo que provém principalmente dos esgotos domésticos, esgotos industriais e fertilizantes agrícolas.

A eutrofização dos ecossistemas aquáticos continentais, das águas costeiras marinhas e das águas subterrâneas é resultado do enriquecimento com nutrientes de

plantas, principalmente fósforo e nitrogênio, que são despejados de forma dissolvida ou partículas em lagos, represas e rios e são transformados em partículas orgânicas, matéria viva vegetal, pelo metabolismo das plantas. Cerca de oito vezes mais nitrogênio do que fósforo é requerido pelas plantas, portanto, o fósforo limita a eutrofização se o nitrogênio for oito vezes mais abundante na água, enquanto o nitrogênio limita a eutrofização se a sua concentração for oito vezes menor do que a do fósforo na água, (TUNDISI, 2003).

Complementando o autor afirma que existem dois tipos de eutrofização; a natural resultado da descarga natural de fósforo e nitrogênio e a eutrofização "cultural", proveniente dos despejos de esgotos domésticos e industriais e da descarga de fertilizantes aplicados na agricultura.

Segundo a mesma fonte a erosão provocada por práticas agrícolas inadequadas e atividades de mineração, acarretam o assoreamento das águas pluviais e o aumento do material em suspensão, ocasionando a perda da diversidade aquática.

2.5.4. Meio Atmosférico

2.5.4.1. Poluição do ar atmosférico

A poluição do ar atmosférico, segundo Ribeiro (1977), é causada pela difusão de gases, partículas em suspensão, poeiras radioativas e substâncias odoríferas, que afetam diretamente os processos fisiológicos.

Para Fellenberg (1980), poluidores atmosféricos são todas as substâncias desprendidas para o ar atmosférico, como gases, vapores, poeira ou fumaça, que de modo geral provoquem prejuízos à saúde do homem, animais e plantas.

Segundo Tommasi (1977), as fontes de poluição do ar são classificadas em especificas e múltiplas. As especificas são em especial as indústrias, que apresentam particularidades nas emissões de poluentes em função de seu ramo de atividade e as múltiplas são aquelas que dificilmente podem ser avaliadas, pois estão dispersas pelas comunidades.

Para Viterbo Júnior (1998), existe poluição do ar quando a presença de uma substância estranha, ou a variação importante na proporção dos seus constituintes tem a possibilidade de provocar efeitos prejudiciais ou doenças.

2.6. Análise para Gerenciamento

2.6.1. Descrição e Terminologia da diatomita

Segundo Abreu (1973), diatomito, Kieselguhr, ou terra diatomácea, é um material pulverulento, muito leve, de estrutura alveolar, formado de minúsculas frústulas silicosas de algas diatomáceas*.

De acordo com Pollock (1987), a diatomita, auxiliar de filtração, é obtida industrialmente a partir da transformação industrial da terra diatomácea (restos fossilizados de diatomos).

Para Antonides (1998) e Dolley (2003), a diatomita parece um giz macio, friável, bem granulado, de rocha sedimentar silícicosa, normalmente de cor clara.

A figura 7 mostra o minério de diatomita de uma fonte de exploração localizado em Vitória da Conquista no estado da Bahia.

Figura 7. Minério de diatomita.

Fonte: Ciemil (2004).

---

* A terra diatomácea ou kieselguhr é um acúmulo de organismo de vegetais inferiores mortos, de origem atual ou antiga (Terciário), sendo, nesse último caso, material fossilizado. É considerado no seu conjunto, como uma rocha.

Segundo Pollock (1987), a terra diatomácea quando em seu estado natural, apresenta coloração que varia do branco ao cinza escuro.

O depósito de diatomita segundo Dolley (2003), resulta do acúmulo nos oceanos e água doce de sílica amorfa hidratada ($SiO_2.nH_2O$) nas paredes de células de diatomos mortos.

De acordo com a mesma fonte os restos dos esqueletos fossilizados variam entre 1 μm a 1 mm em tamanho, mais tipicamente entre 10 a 200 μm de diâmetro.

Segundo Pollock (1987), a célula de diatomos contém um esqueleto elaborado de silício interno, que consiste em duas válvulas que se ajustam chamado de frústulas. Os restos dos esqueletos fossilizados variam entre 2 a 100 μm em tamanho.

Segundo Souza (1973), a fixação do silício pela diatomácea esta ligada a história geoquímica da decomposição das argilas cauliníticas por via biológica, presumindo que ela se apoderou da sílica das argilas para constituir seu material de estrutura. As espécies encontradas são carapaças com estruturas variando o diâmetro entre 10 a 100 μm e com forma bastante variadas dependo do gênero específico a que pertence a carapaça.

De acordo com Antonides (1998), existem mais de 10.000 espécies de diatomos, algumas extintas e outras vivas.

Segundo Souza (1973), os diatomos tem diâmetro que variam de 10 a 500 micra, com mais de 12.000 espécies diferentes e uma estrutura geralmente dilatada e superfície irregular.

Reinold (1995), cita que existe cerca de 15.000 espécies diferentes de diatomos.

Os diatomos têm uma variedade larga de formas, segundo Dolley (2003), estas formas podem ser redondas ou ovais/ e ou formas de agulhas ou lanças, para Pollock (1987), além da formas redonda ou oval/ e ou formas de agulhas ou lanças citadas, as frústulas pode ser de forma elíptica, quadrada, triangular ou poligonal, com suas membrana celulósica freqüentemente incrustada por sílica.

Para a Ciemil (2004), as diatomáceas são algas microscópicas unicelulares de tamanho que varia entre 10 a 500 micra e com vida média de 24 horas. Possui

alta capacidade de reprodução, podendo um indivíduo dar origem a 100 milhões de descendentes num período de 30 dias.

2.6.2. Origem da diatomita

De acordo com Souza (1973), a diatomita ou kieselguhr é um material de origem sedimentar, que ocorre nos terrenos de sedimentação, principalmente em zonas de formação de lacustre ou oceânica, dispostos em camadas delgadas ou espessas de argilas, constituído principalmente de uma acumulação de esqueletos ou frústulas, fósseis de diátomos. Os diátomos são organismos do reino vegetal, planctônico, possuindo células completas, com membrana, núcleo e protoplasma, pertencente ao reino Bacillariophita.

Para Kavalco (1998), os diatomos são organismos unicelulares componentes importantíssimos do fitoplâncton, pertencente a classe bacilariófito, são fontes alimentar primária para a fauna aquática, tanto marinha como continental. A maioria das espécies desta classe é planctônica, mas algumas ocorrem no sedimento ou sobre outras algas ou plantas.

Segundo a mesma fonte as diatomáceas não possuem flagelos e tem a parede celular divida em duas metades. Seus plastídeos são acastanhados, com clorofila *a* e *c* e fucoxantina. Podem ser penadas com simetria bilateral ou cêntricas com simetria radial.

Para Ciemil (2004), a diatomita é uma rocha de origem sedimentar, rica em sílica amorfa hidratada (opala), constituída essencialmente por carapaças de algumas diatomáceas.

As ocorrências de diatomita estão intimamente relacionadas a um controle geomorfológico e paleoclimático, constituindo depósitos lacustres formados em depressões sobre superfícies de aplainamento elaboradas no Tércio-Quartenário. São originadas a partir de acumulações de carapaças produzidas por plânctons ricos em frústulas diatomáceas que se desenvolveram em antigas lagoas temporárias, (LIMA et al. 1981).

De acordo com Abreu (1973), as jazidas conhecidas no Brasil são de formações pleistocênicas ou recentes contendo carapaças de água doce. A terra diatomácea tem sido encontrada nas baixadas, nos terrenos pantanosos e no fundo de lagoas, formando camadas pouco ou muito contaminadas por argilas. Há também depósitos em terras enxutas e

lugares elevados onde, em épocas pretéritas, foram acumuladas no ambiente aquoso, porém o maior depósito de terra diatomácea de Lompoc, na Califórnia, são de origem marinha e de idade terciária.

Segundo Antonides (1998) e Dolley (2003), o vasto depósito mundial de exploração comercial são reportados principalmente a lagoas de água doce (lacustre) de idade mioceno para pleistocene, formados entre 24 milhões e 10 mil anos atrás.

2.6.3. Propriedades gerais da diatomita

De acordo com Antonides (1998) e Dolley (2003), a terra diatomácea é um material muito fino, de estrutura porosa, baixa condutividade térmica, elevado ponto de fusão, elevada área superficial, baixa densidade e essencialmente inerte a maioria dos líquidos e gases químicos.

A sílica de diatomos é complexa, segundo Pollock (1987), outros compostos inorgânicos como alumina, ferro, metais alcalinos e alcalinos terrosos estão associados com a terra diatomácea.

Antonides (1998) e Dolley (2003), citam que após a secagem em formo, a análise do minério de terra diatomácea, utilizada em diversas aplicações comerciais, mostraram conter de 80 a 90% de sílica (SiO_2), podendo em alguns casos conter até 95%; a quantia de alumina (AlO_2) esta entre 2 a 4% atribuída a argila misturada ao minério de diatomita e hematita (Fe_2O_3) entre 2 a 4%.

Segundo Antonides (1998) e Dolley (2003), a densidade aparente do minério de terra diatomácea após a secagem da umidade é da ordem de 320 a 640 gramas por litros, com 80 a 90% de porosidade, enquanto a diatomita moída e sem umidade em água têm densidade aparente entre 80 a 250 gramas por litro.

Pollock (1987), cita que a porosidade é máxima (80 a 85%) quando os diatomos são completos e não têm impurezas obstruindo as cavidades.

As análises químicas de dez amostras do minério de diatomácea do maior e mais importante depósito do mundo, localizado em Lompoc no estado da Califórnia, é citada por Pollock (1987), no quadro 1.

Quadro 1. Composição química do minério de diatomita.

Mineral	Percentual	
	Mínimo	Máximo
Sílica – SiO_2	58	90
Alumina – Al_2O_3	0,5	8,0
Óxido de Ferro – Fe_2O_3	0,2	3,2
Óxido de cálcio – CaO	0,3	1,4
Óxido de sódio – Na_2O	0,2	1,2
Óxido de magnésio – MgO	0,3	4,5
Óxido de titânio – TiO_2	0,2	3,5

Fonte: Pollock (1987).

Complementando, Antonides (1998) descreve que o minério de diatomita contém de 10 a 65% de água, sendo que de 2 a 10% da água esta na estrutura opalina do material. Após o beneficiamento do minério de diatomita, a terra diatomácea pode absorver de 1,5 a 3,0 vezes seu peso em água.

Segundo Abreu (1973), as partículas minúsculas e porosas de sílica amorfa hidratada da terra diatomácea, conferem ao material propriedade particular descrita a seguir:

- *Peso específico aparente* – é da ordem de 200 a 500 gramas por decímetro cúbico;
- *Peso específico real* – é da ordem de 190 a 220 gramas por decímetro cúbico;
- *Porosidade* – é da ordem de 80 a 90% para o material acamado sem compressão;
- *Permeabilidade* – é alta em função do entrelaçamento das partículas individuais das diatomáceas e ao fato de cada uma por si

mesma dispor de poros e canais finíssimos que permitem a vazão dos fluídos;

- *Abrasividade* – apresenta dureza moderado entre 5,5 a 6,5;
- *Condutibilidade térmica* – apresenta condutibilidade térmica muito baixa, entre 0,49 a 0,77 kcal/hora/cm^2/cm/ºC, devido a grande porosidade.

Segundo Lemons Junior (1996), estas propriedades permitem as terras diatomácea diversas aplicações industriais, como meio de filtração para várias bebidas, substâncias químicas orgânicas e inorgânicas e como absorvente para acaricie de lixo e derramamento de óleo.

2.6.4. Lavra da diatomita

De acordo com Souza (1973), o minério de terra diatomácea apresenta-se puro, maciço e estratificado, friável e poroso, de densidade aparente muito baixa, por ser encontrado principalmente nas baixadas, terrenos pantanosos, fundo de lagoas e riachos, formando camadas pouco ou muita contaminada de materiais.

Os contaminantes do minério de terra diatomácea são descritos por Abreu (1973), como matéria orgânica, argilas, areias, óxido de ferro, carbonatos de cálcio e magnésio, cinzas vulcânicas e outros materiais em menores quantidades.

Os métodos de lavra conhecidos são quase todos a céu aberto. A distribuição da diatomita condiciona o método de lavra adequado para o melhor aproveitamento do minério, estes métodos são descritos a seguir por Souza (1973):

- Nos depósitos de terreno seco e/ ou lagoas secas (meio lodoso). O desmonte é feito com pá manual ou escavadeira. O material *in natura* é levado para um terreno seco e posto a secar no sol a fim de perder a umidade em água, a diatomita in natura, possui 50% de umidade em peso de água ao ser extraída.

- Nos depósitos submersos utiliza-se de um mergulhador, que extrai o minério por meio de uma pá e o traz à tona, colocando em uma barca ou jangadas e/ou dragas, em seguida é colocada em um terreno seco, para perder a umidade em água.

Nos depósitos localizados em baixadas alagadas, a terra diatomácea, ao ser extraída, contém cerca de 80% de água, e a primeira operação é, submete-la a secagem natural ao sol, pois a eliminação artificial de grandes quantidades de água é uma operação onerosa, (ABREU, 1973).

O processo de produção de diatomita empregado pela CIEMIL, segundo França e Luz (2002), consta de lavra da diatomita, remoção da argila e secagem ao sol, realizadas na fazenda mina Ponte de propriedade da CIEMIL, onde esta localizada a mina de diatomita, enquanto a calcinação e classificação pneumática são realizadas no Distrito Industrial de Vitória da Conquista no estado da Bahia.

Segundo a mesma fonte, a preparação da frente se inicia com a retirada da vegetação e da matéria orgânica, presente na superfície da mina. A diatomita é lavrada de forma manual, com auxilio de pás é colocada com água em tanques agitadores para formação de uma polpa. A seguir é feito o bombeamento para tanques de decantação, onde se separam as argilas da diatomita.

Essa separação ocorre em batelada e o tempo de permanência da polpa nas caixas de decantação é variável entre 24 a 72 horas, dependendo das condições climáticas. Decorrido esse período, o sobrenadante das caixas de sedimentação, rico em argilas e matéria orgânica, é extravasado por gravidade, retornando para as áreas já mineradas. O decantado é constituído principalmente de minério de terra diatomácea. O minério de terra diatomácea é retirado manualmente com o auxílio de pás, colocado na carroceria de um trator e transportada para o pátio onde é espalhada para secagem ao sol. Ao atingir umidade entre 10 a 20% é transportada de caminhão (280 km) para a usina de calcinação em Vitória da Conquista no estado da Bahia, (FRANÇA E LUZ, 2002).

2.6.5. Beneficiamento da diatomita

Segundo Abreu (1973), em princípio, realizam-se as seguintes operações para o beneficiamento do minério de terra diatomácea: calcinação em temperatura moderada para eliminar a matéria orgânica; moagem e seleção do material calcinado e classificação em tipos de partículas de diferentes tamanhos.

O processo de calcinação do minério de terra diatomácea empregado pela CIEMIL é o citado por França e Luz (2002) onde a diatomita, com umidade entre 10 a 20%, é misturada com a barrilha (Na_2CO_3) a uma concentração de 2% em peso. A terra diatomácea com umidade entre 10 a 20% quando misturada com barrilha que tem a função de auxiliar na aglomeração das partículas de diatomita, bem como na escorificação das impurezas; em seguida a mistura é alimentada ao forno de calcinação. A temperatura de calcinação varia de 800 a 1000 ºC de acordo com o teor de matéria orgânica presente no minério de terra diatomácea. A terra diatomácea calcinada, proveniente do forno, passa por um resfriador cilíndrico, cai em um ventilador para ser desagregada e segue para a etapa de classificação pneumática.

Segundo França e Luz (2002) o tempo de residência utilizado em planta piloto para calcinar toda a matéria orgânica presente no minério de terra diatomácea a 800 ºC é de 0,75 horas, enquanto na mufla o tempo é de 1 hora.

As perdas de matérias orgânicas por combustão são chamadas de calcinação, porém quando se deseja obter modificações nas propriedades filtrantes da terra diatomácea, como redução da área de superfície das carapaças diatomáceas por unidades de volume e clarificação, adiciona-se ao minério de diatomita bruto, de 3 a 10% em peso de hidróxido de sódio, carbonato de sódio ou cloreto de sódio, processo descrito por Souza (1973), como fluxo-calcinação.

Segundo Antonides (1998), Dolley (2003) e Founie (2004), a alocação do custo de produção do minério de diatomita informada aos Estados Unidos em 1983, é que 10% esta atribuída na fonte de exploração, 60% no processo de beneficiamento e 30% na embalagem e transporte.

Segundo as mesmas fontes no final de 1990 um relatório declarou que o custo de energia é de 25 a 30% do custo direto de produção para os minérios de terra diatomáceas que sofrem o processo de calcinação e/ou fluxo-calcinação.

2.6.6. Reservas de Terra Diatomácea

A reserva mundial segundo estimativa apresentada por Antonides (1998) e Dolley (2003), é da ordem de 800 milhões de toneladas, cerca de 400 vezes a estimativa de produção mundial, que é de 2 milhões de toneladas por ano, enquanto Founie (2004), cita que as reservas mundiais são da ordem de 920 milhões de toneladas, cerca de 450 vezes a estimativa de produção mundial, que é de 1,93 milhões de toneladas por ano.

Os Estados Unidos são considerados os maiores detentores de recursos de diatomita do mundo, suas reservas somavam em 2003 cerca de 500 milhões de toneladas, sendo que, cerca de 250 milhões de toneladas da reserva mundial estimada, estão em Lompoc no estado da Califórnia, cita (ANTONIDES, 1998; DOLLEY, 2003; FOUNIE, 2004).

O Brasil, em se tratando de reservas oficiais (medidas + indicadas), estima-se que as mesmas sejam da ordem de 3,3 milhões de toneladas, (COSTA, 2004).

Segundo Costa (2004), as reservas de terra diatomácea, estão distribuídas pelos estados do Brasil, conforme mostra o quadro 2.

Quadro 2. Reservas de terra diatomácea no Brasil.

Estados	Reservas	
	10^3 toneladas	Percentual – (%)
Bahia	1506	45,5
Rio Grande do Norte	1138	34,4
Ceará	598	18,2
Rio de Janeiro	38	1,1
São Paulo	19	0,6
Santa Catarina	7	0,2

Fonte: Costa (2004).

2.6.7. Aplicações da terra diatomácea

A terra diatomácea foi usada pelos Gregos na antiguidade como abrasivo e na construção de tijolos e blocos de menor peso. A terra diatomácea tornou-se de interesse industrial na Europa Ocidental em 1886, quando foi utilizada como absorvente e estabilizante da nitroglicerina por Alfred Nobel, (FOUNIE, 2004).

Atualmente, a terra diatomácea possui uma extensa e variada utilização, sendo que Souza (1973), relaciona os seguintes usos mais freqüentes:

- Agente de filtração – na clarificação e classificação de açúcar, sucos de frutas, bebidas alcoólicas ou não, ácidos, compostos de petróleo, vernizes, goma-laca, ceras, graxas, resinas, óleos minerais, vegetais e animais, gelatina, antibióticos, etc. Isto é resultado da elevada permeabilidade e da capacidade de retenção do material sólido entre as partículas de terra diatomácea.
- Agente isolante de calor – isolamento das paredes de edifícios, caldeiras, fornos, condutos, som e temperatura em forma de tijolos ou pó. Isto se prende ao fato da terra diatomácea possuir baixo coeficiente de condutividade térmica e conter ar aprisionado entre as minúsculas partículas de que é composta.
- Agente de carga industrial – na fabricação de papel, borracha, tintas, sabões, sabonetes, massa de fósforos, secantes e plásticos diversos.
- Agente suporte absorvente – em inseticidas, fungicidas, pilhas elétricas, dinamite, ar liquido explosivos, líquidos catalisadores em virtude da alta porosidade.
- Agente abrasivo – em líquidos e pastas para limpar e polir metais;
- Uso variado – como matéria–prima silicosa para fabricação de silicato de cálcio sintético, silicato de sódio, azul ultramar, material

anti-sonoro, concreto e argamassas leves para cúpulas, lajes e cascos de navios.

De acordo com Costa (2004), a produção brasileira em toneladas/ ano de terra diatomácea beneficiada e comercializada foi segmentada dentre os seus três campos de aplicação comerciais descrita no quadro 3.

Quadro 3. Terra diatomácea beneficiada e comercializada no Brasil.

Aplicações	Toneladas por ano				
	2000	2001	2002	2003	2004
Agente de carga	4302	3628	1593	637	684
Filtração	2282	3110	3369	6033	6301
Isolante térmico	617	238	873	250	215
Total	7201	6976	5835	6920	7200

Fonte: Costa (2004).

Segundo Souza (1973), a indústria de diatomita do Brasil, tem se desenvolvido principalmente em função de sua utilização como agente de filtração, isolante térmico e agente de carga industrial, para Pollock (1987), do total do minério de diatomita processado, 50% são usados na filtração.

2.6.8. Produção e Consumo de Terra Diatomácea

A produção mundial de terra diatomácea é de meio milhão toneladas por ano, sendo que cerca de metade é produzida nos Estados Unidos da América, no depósito de Lompoc na Califórnia, (ABREU, 1973).

Segundo Dolley (2003) e Founie (2004), atualmente a produção mundial de terra diatomácea é superior a 1,9 milhões de toneladas por ano sendo que 32% da produção mundial é produzida nos Estados Unidos, seguido pela China com 20%, Denmark

com 12%, Japão com 7%, França com 4%, Nações dos Estados Independentes com 4%, México com 3%, e a soma dos outros 20 países com 18%.

O quadro 4 sumariza a produção mundial e a produção dos Estados Unidos de terra diatomácea expressos em toneladas por ano, enquanto o quadro 5 mostra a distribuição percentual de terra diatomácea em função das aplicações comerciais nos Estados Unidos.

Quadro 4. Produção de terra diatomácea.

Ano	10^3 toneladas/ ano	
	Produção Mundial	Produção dos Estados Unidos
2000	1970	677
2001	1950	644
2002	1880	624
2003	1910	620
2004	1930	635

Fonte: Dolley (2003) e Founie (2004).

Quadro 5. Uso final de terra diatomácea nos Estados Unidos.

Aplicações	Porcentagem por ano				
	2000	2001	2002	2003	2004
Filtração	66	69	68	71	75
Absorventes	14	14	14	11	8
Carga	14	11	12	13	12
Outros	6	6	6	5	5

Fonte: Dolley (2003) e Founie (2004).

De acordo com Costa (2004), a produção brasileira comercializada de terra diatomácea no ano de 2004 foi segmentada dentre os seus três campos de aplicação, da seguinte maneira: agente de filtração contribuiu com 6301 toneladas, agente de carga contribuiu com 684 toneladas, e como agente de isolante térmico contribuiu com 215

toneladas, sendo destacado o estado da Bahia com a participação de 87,5% da produção total utilizando como agente de filtração para clarificação de cerveja, vinho, licores, óleos, entre outros.

A produção estimada e a produção comercializada de terra diatomácea no Brasil expresso em toneladas por ano é citada por Costa (2004) no quadro 6.

Quadro 6. Produção de terra diatomácea no Brasil.

	Toneladas/ ano	
Ano	Estimada	Comercializada
2000	10164	7201
2001	10010	6976
2002	8030	5835
2003	9981	6920
2004	8847	7200

Fonte: Costa (2004).

Segundo Costa (2004), mantendo a linha de crescimento apresentada nos últimos anos, as importações efetivas de diatomita e seus derivados feitos pelo Brasil, representaram um aumento em volume de cerca de 13,6%, saltando de 18.887 toneladas em 2003 para 21.460 toneladas em 2004. Em termos de valor, essas importações representaram um acréscimo de cerca de 17,4%, saltando de US$ 8,789 milhões em 2003 para US$ 10,320 milhões em 2004.

Apesar de em menor grau, as exportações brasileiras de diatomita e de seus derivados apresentaram um aumento de volume de aproximadamente 5,8%, saltando de 4.427 toneladas em 2003 para 4.684 toneladas em 2004. Em termos de valor, essas exportações representaram um acréscimo de cerca de 12,4%, saltando de US$ 1,422 milhões em 2003 para US$ 1,598 milhões em 2004, (COSTA, 2004).

Segundo a mesma fonte o consumo aparente de diatomita e seus derivados tem apresentado comportamento ascendente nos três últimos anos, o aumento em volume foi de 12,1% (21.380 toneladas em 2003 para 23.976 toneladas em 2004), sendo o

estado de São Paulo o maior centro consumidor de diatomita beneficiada do Brasil, destacando-se as industrias de tintas, esmaltes e vernizes como as principais consumidores de agente de carga e, as indústrias de bebidas como as principais consumidores de agente de filtração.

O preço médio da terra diatomácea beneficiada em 2004, utilizada como agente de filtração segundo Costa (2004), foi de US$ 461,00 a tonelada.

2.6.9. Aplicação da terra diatomácea na indústria cervejeira

Após o término da maturação, várias substâncias que foram formadas durante as etapas anteriores, e a própria levedura ainda estarão em suspensão no chope. Estas substâncias serão as principais responsáveis pela turbidez da cerveja.

O objetivo da filtração segundo Reinold (1995) é remover do chope todos os componentes que provocam ou irão provocar posterior turbidez, retirar também células de levedura, resinas de lúpulo, complexos protéicos e eventuais bactérias, produzindo uma cerveja límpida, com brilho e estável quanto à microbiologia, espuma, odor, paladar e turbidez.

Turbidez em termos práticos é a redução da transparência da cerveja devido a presença de material particulado em suspensão. A turbidez é avaliada a partir da medida da quantidade de luz refletida, dando a ordem de grandeza dos sólidos em suspensão em uma determinada amostra, (POLLOCK, 1987).

O tamanho das substâncias provocadoras de turbidez é de vital importância para a filtrabilidade da cerveja, sendo classificado por Reinold (1995), em três grupos:

a) Dispersões grandes ou graúdas – as partículas são maiores que 0,1 μm sendo visíveis ao microscópio, estas partículas são as leveduras, bactérias, substâncias sólidas diversas e proteínas coaguladas;

b) Colóides – partículas do tamanho entre 0,001 e 0,1 μm, são visíveis apenas através de microscópio eletrônico, são geralmente proteínas ou combinações tanino-proteícas;

c) Dispersões moleculares – partículas menores que 0,001 μm, não são mais visíveis, são as próprias moléculas ou combinações simples de proteínas de médio peso molecular e aminoácidos.

2.6.9.1. Filtração

Segundo Venturini Filho e Cereda (2001), sob o processo de maturação ocorre a sedimentação por gravidade das células de levedura e do complexo coloidal proteína-tanino, reduzindo sua turbidez em dez vezes, como nem toda turbidez é eliminada na maturação, é necessário clarificar a cerveja maturada através da filtração.

Esta operação é responsável pela retirada de complexos protéicos precipitados e fermento remanescente, obtendo-se um líquido livre de turvação e com maior estabilidade físico-química, (SLEIMAN, 2002).

Segundo Pollock (1987), os filtros usados nas industrias de cervejas e bebidas são chamados de “filtros de clarificação”, sendo utilizados para separar sólidos com baixa concentração nos líquidos, não excedendo 0,1%.

De acordo com Ruiz (1994), a separação de sólidos de líquidos e/ ou líquidos de líquidos, em mistura, é realizada por vários processos. O melhor deles é indicado pelo tamanho das partículas a serem separadas.

Segundo a autora, na filtração convencional a pressão conduz o fluido totalmente para o meio filtrante e a alimentação é feita perpendicularmente à superfície do elemento filtrante, alguns sólidos permanecem no meio filtrante ou passam para o filtrado, quando os poros se entopem, de tanto reterem sólidos, o meio filtrante deve ser renovado.

Para Reinold (1995), a combinação entre filtros de placas (horizontais e/ ou verticais) e terra diatomácea utilizada para clarificar o chope, obedece a dois princípios:

- “Efeito de peneira” as partículas grandes aglomeram-se na superfície da camada filtrante, não penetrando nos poros, sendo retirados somente as partículas que são maiores que os poros.
- Efeito de adsorção as partículas menores são retiradas, através da incorporação de uma substância à superfície de outra. Esta

propriedade consiste na diferenciação das cargas elétricas entre o material filtrante e os provocadores de turvação, que apresentam carga elétrica negativa.

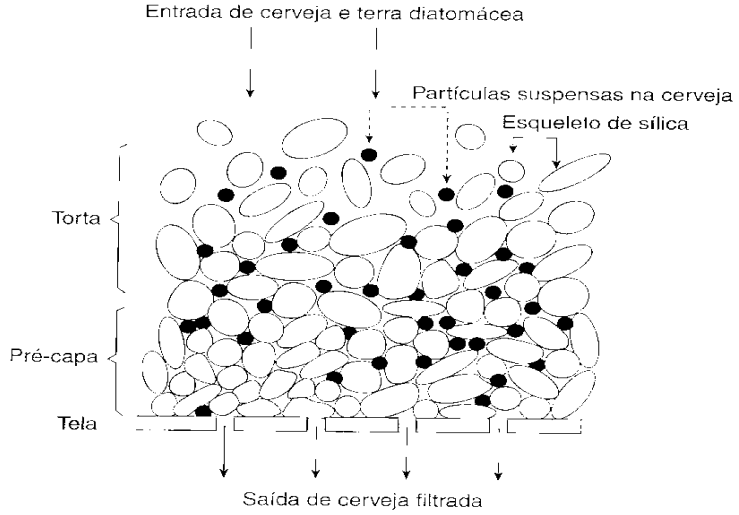
Na prática, de acordo Reinold (1995), o processo de filtração, utilizando a terra diatomácea consiste basicamente de duas etapas: a formação da pré-capa e a dosagem. A função da pré-capa é proteger a tela do filtro de entupimentos por sólidos contidos no líquido a ser filtrado, facilitando o processo de limpeza e operação do filtro, além de estabelecer e manter um grau adequado de brilho e clarificação do chope, em concorrência com uma maior velocidade de filtração.

Segundo Gonçalves (1999), a pré-capa, é formada por uma suspensão homogênea de auxiliar de filtração em água ou com o próprio produto a ser filtrado.

Complementando Venturini Filho e Cereda (2001), a formação de uma pré-camada de terra diatomácea é de aproximadamente 1,5 mm de espessura sobre a malha de cada filtro. Para evitar o entupimento da camada filtrante, a terra diatomácea suspensa em água ou cerveja é dosada, por bombeamento, na cerveja turva que entra no filtro, sendo proporcional a turbidez da cerveja.

A figura 8 mostra o detalhe da camada filtrante de um filtro de terra diatomácea descrita por Hough (1985).

Figura 8. Esquema de filtração.



Fonte: Hough (1985).

Para Reinold (1995), a dosagem é a etapa da filtração propriamente dita, onde se procura manter vazão e pressão do filtro adequadas e estáveis através da adição da terra diatomácea mais finas no líquido a ser filtrado, formando uma fina camada sobre a pré-capa impedindo que pequenas partículas de impurezas penetrem nos poros da pré-capa evitando sua obstrução e garantindo uma maior limpeza e polimento do chope filtrado.

Complementando, o autor destaca que através de uma correta mistura ou dosagem de sílica (terra diatomácea fina e/ou grossa), consegue separar partículas turvadoras menores que 0,1 μm de diâmetro. Reinold (1997), cita que no processo de filtração a quantidade de terra diatomácea utilizada é da ordem de 130 a 150 gramas por hectolitro chope filtrado.

2.6.9.2. Tipos de filtros

Segundo Venturini Filho (2000), os tipos de filtros mais utilizados pelas cervejarias são os filtros de terra diatomácea, os quais podem ser constituídos de placas verticais ou horizontais. Complementando Reinold (1997) cita outros tipos de filtros, tais como filtro de massa, filtro de velas e filtro *bag*. Para Venturini Filho (2000) podem ser usados filtros de membranas orgânicas ou minerais, que são capazes de reter leveduras e bactérias, eliminando a operação de pasteurização do processo de produção da cerveja.

De acordo com Gonçalves (1999), o filtro de pré-capa é um sistema de filtração que opera sob pressão e de forma descontinua. É utilizado em processos que necessitam de sanitização, altas taxas de filtração e de retenção de sólidos de até 0,3 μm. Nas industrias de refrigerante e/ou cerveja são largamente empregado, sobrepondo-se a qualquer outro nesta aplicação. A filtração é principal operação após o processo de maturação do chope. De acordo com autores, as vantagens desse filtro são: possibilidade de realizar o pré – revestimento e a filtração ser automatizada, baixo custo de operação, sanitização completa, sistema completamente hermético, facilidade na preparação da pré-capa com o auxiliar de filtração e suas tubulações de interligações, dotada de válvulas, podem ser operadas manual ou automaticamente.

2.6.10. Características dos agentes de filtração

2.6.10.1. Propriedades físicas

Para uma boa eficiência no processo de filtração é necessário que a terra diatomácea apresente características físicas, químicas e microbiológicas intrínsecas, para não alterar a qualidade do produto final.

Pollock (1987), cita algumas propriedades físicas importantes da terra diatomácea industrial usada como auxiliar filtração na indústria de cerveja:

- Porosidade e poder de absorção – na maioria das diatomitas as propriedades de porosidade e poder de absorção estão relacionadas à densidade, quanto menor a densidade maior o poder de absorção; a porosidade da diatomita de boa qualidade varia entre 80 a 85%.
- Densidade – a densidade da terra diatomácea comercial varia entre 250 a 350 gramas por centímetros cúbicos.
- Superfície específica – a superfície específica representa a distribuição granulométrica em relação à área superficial expressa em $m^2\ g^{-1}$, se comparada com o carvão a terra diatomácea tem baixa superfície específica e menor poder de adsorção para a diatomita ter alta superfície específica deve ter muitas partículas finas, conseqüentemente diminui a porosidade tornando anti econômico a filtração.
- Adsorção – encontrou valores de adsorção entre 0 a 21 mg g^{-1}, expressos em miligramas de azul de metileno por grama de diatomita.

Segundo Souza (1973), do ponto de vista físico, as características do minério que estão relacionadas a filtrabilidade são: tipo de frústula diatomácea presente, sua forma e tamanho, e porcentagem de carapaças partidas. Estes dois fatores estão relacionados, principalmente, à granulometria do minério e sua densidade aparente. Estas duas propriedades

físicas se inter-relacionam em proporcionalidade invertida, de tal modo que quanto maior a porcentagem de finos maior a densidade aparente e menor permeabilidade.

Para Reinold (1995), as formas das sílicas determinam o poder de clarificação do chope, as sílicas em formas de agulhas e/ou lanças têm maior poder de clarificação, porém com menor rendimento no processo de filtração; enquanto as sílicas com formas arredondadas e/ou ovais, têm menor poder de clarificação, com rendimento maior.

O quadro 7 mostra as características físicas da terra diatomácea de acordo com os padrões de qualidade (CIEMIL, 2004).

Quadro 7. Características físicas.

Análises	Terra diatomácea	
	Mínimo	Máximo
Umidade (%)	0	5
Densidade Aparente (g L^{-1})	130	320
Diâmetro Médio (µm)	27,4	41,2
Superfície Específica m^2 g^{-1}	5,4203	8,7365
pH	7,00	9,00

Fonte: CIEMIL (2004).

Segundo Souza et al. (2003), as características físicas para o material diatomáceo natural obtida de uma lagoa de água doce da região de Campos dos Goytacazes no estado do Rio de Janeiro, foram: 5,96% para umidade; 0,33 g cm^{-3} para a massa aparente e 18,35 m^2 g^{-1} para a superfície específica.

2.6.10.2. Propriedades químicas

A terra diatomácea do ponto de vista químico, utilizado como auxiliar de filtração deve apresentar alto teor de sílica e baixos teores de impurezas, normalmente alumina 10%, óxido de ferro 2% e óxidos alcalinos terrosos 2%, percentuais máximos para estas impurezas, segundo Souza (1973), a alumina interfere na velocidade de filtração do filtrante; o óxido de ferro atua como oxidante no filtrado aumentando a turbidez; e os óxidos alcalinos terrosos aumentam o pH dos líquidos a serem filtrados, complementando Pollock (1987), cita que elevadas concentrações de cálcio na terra diatomácea forma oxalato de cálcio aumentando a turbidez, o quadro 9 mostra a composição química da diatomita.

Quadro 8. Composição química da diatomita.

Material	Minério de Diatomita – (%)	Diatomita	
		Calcinada – (%)	Fluxo-calcinada – (%)
SiO_2	80 – 90	85 – 95	85 – 95
Al_2O_3	0,5 – 5	0,5 – 5	0,5 – 5
Fe_2O_3	0,5 – 3	0,2 – 2	0,2 – 2
CaO	0,5 – 2	0,5 – 2	0,5 – 2
Na_2O	1 – 2	1 – 2	0,5 – 3
MgO	0 – 5	0 – 5	0 – 5
H_2O	1 –5	0,1 – 0,5	0 – 1
Perda por calcinação	3 – 4	0,2 – 0,4	0,2 – 0,4

Fonte: Pollock (1987).

Segundo Pollock (1987), a composição química da terra diatomácea calcinada têm coloração rosa ou cinza, a coloração rosa é em função da oxidação do ferro

presente; a terra diatomácea fluxo – calcinada têm coloração branca devido a conversão do ferro em complexo de sódio-alumínio-silicato de ferro.

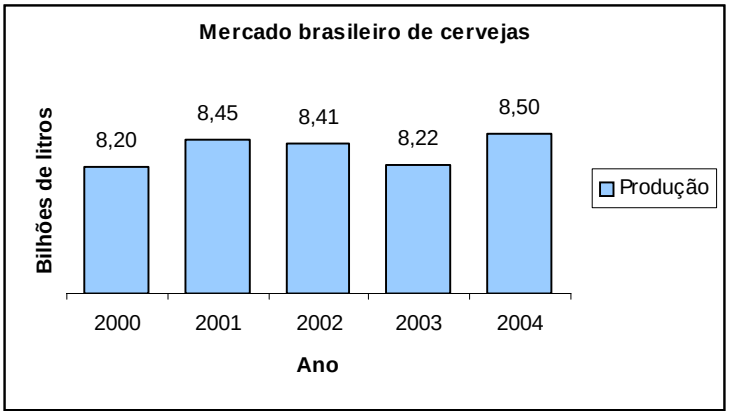
Segundo Souza et al. (2003), a perda ao fogo para material diatomáceo natural obtida de uma lagoa de água doce da região de Campos dos Goytacazes no estado do Rio de Janeiro, foi de 11,75% relacionada principalmente com a presença de impurezas na amostra, tais como argilominerais, hidróxidos e matéria orgânicas.

2.6.11. Mercado cervejeiro

O Brasil com uma produção de 8,5 bilhões de litros de cerveja tornou-se o quinto produtor mundial de cerveja em 2004, ficando atrás da China com 27 bilhões litros/ano; EUA com 23,6 bilhões litros/ano; Alemanha com 10,5 bilhões litros/ano e Rússia com 9 bilhões de litros/ano, conforme (SINDICERV, 2005).

A figura 9 mostra a produção brasileira de cerveja nos últimos cinco anos, (SINDICERV, 2005).

Figura 9. Produção brasileira de cerveja.



Fonte: Sindicerv (2005).

Este setor emprega mais de 150 mil postos diretos e indiretos constituindo-se como um importante segmento econômico e social no país. Nos últimos cinco anos, as indústrias cervejeiras investiram mais de R$ 3 bilhões, com 10 novas plantas

industriais entrando em operação, além de ampliações e modernizações em fábricas já existentes, (SINDICERV, 2005).

Segundo a mesma fonte, o consumo de cerveja no Brasil é restrito a 45% da população, constituindo um consumo per capita de 46,8 litros/ano em 2003, enquanto em 2004 o consumo per capita atingiu uma média de 47,6 litros/ano muito abaixo do total registrados por paises como: República Checa, Alemanha, Reino Unido, Austrália e Estados Unidos (158; 117,7; 101,5; 92 e 84 litros/ano, respectivamente).

A análise econômica do mercado mostra que o Brasil deve aumentar o consumo per capita nos próximos 5 anos, permitindo assim o surgimento no mercado de novas microcervejarias e cervejarias de pequeno porte, na disputa por fatias de mercado juntamente com as grandes companhias do país, (SLEIMAN, 2002).

2.6.12. Tratamento do RTD na cervejaria

Conforme Souza e Razuk (1996), a maioria das indústrias de bebidas no Brasil não dispõem de filtros com sistemas de secagem do resíduo filtrante e nem dispõem de tratamento de efluentes; desta forma, todo o resíduo é lançado nos rios periféricos e/ou nos esgotos municipais.

Segundo Fornazier (2006), o uso mais racional e moderno do RTD é a reciclagem. Nossas fábricas localizadas no Estado de São Paulo entregam seu RTD para uma empresa mineradora capaz de reciclá-lo. Este processo envolve a calcinação em fornos de alta temperatura (para eliminar resíduos orgânicos), com posterior separação por ciclones e classificação granulométrica por peneiramento. Este material reciclado é, então, revendido para outras empresas que utilizam a terra diatomácea, não só do segmento de bebidas, mas também de outros segmentos. Nos casos em que o volume de RTD é superior à capacidade de processamento das recicladoras, o material pode também ser disposto em aterros sanitários, devidamente controlados e regularizados, para que não causem impacto ao meio-ambiente.

De acordo com Iguti (2006), existem várias aplicações potenciais que podem gerar receitas, benefícios ou agregar custos, como:

- Fertirrigação utilizado em suspensão, sozinho ou combinado com lodo;
- Incorporação com bagaço de malte para ração animal, respeitando teor de sílica e homogeneização;
- Produção de cerâmica, como tijolos e telhas;
- Aterro sanitário;
- Reciclagem e/ou reprocessamento da terra diatomácea para utilização parcial na própria filtração da cerveja;
- Coprocessamento para fabricação de cimento.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Material

Os materiais utilizados no experimento foram:

- Resíduos de terras diatomáceas (pós-filtração) – foram adquiridas na Cervejaria Belco S/A, localizada na região de Botucatu, estado de São Paulo.
- Terras diatomáceas padrão – adquiridas na Cervejaria Belco S/A, através de sua fornecedora (Ciemil - Comércio, Indústria e Exportação de Minérios Ltda), localizada em Vitória da Conquista no estado da Bahia.
- Cerveja do tipo Pilsen sem filtrar – processada no Laboratório de Bebidas da Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu.

3.2. Métodos

3.2.1. Planejamento experimental

a) Na recuperação do resíduo de terra diatomácea, o experimento foi inteiramente casualizado, constando de um tratamento com três repetições, perfazendo três parcelas experimentais.

b) Após a separação granulométrica em peneiras vibratórias da TDR, iniciou – se o teste de filtração em bancada de laboratório, o experimento foi inteiramente casualizado, constando de sete tratamentos com três repetições cada, perfazendo vinte e uma parcelas experimentas.

3.2.2. Protocolo de recuperação do resíduo de terra diatomácea

A análise procedida para o experimento foi realizada em amostra do RTD, tal como retiradas do processo de filtração da Cervejaria Belco S/A.

Em 10 litros de amostra (pH=5,00) foi adicionada e homogeneizada uma base forte até que o pH do meio torne-se alcalino (pH=11,00), após a homogeneização o tratamento ficou em repouso por 80 minutos para decantar o RTD, após a decantação, foi separado o sobrenadante da fração sólida pela ação da gravidade.

Após a separação, o RTD foi colocado ao sol por 24 horas para perder umidade, em seguida o tratamento foi calcinado à temperatura de 800 ºC em uma mufla para eliminar possíveis matéria orgânica e contaminante existente no RTD.

No Laboratório de Recuperação Ambiental da Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu, foram realizados análises quantitativas do potencial de poluição e os ensaios de calcinação em mufla, para que à partir desses resultados possam ser calculados a diferença no consumo de energia em função do tempo de residência do RTD no processo de calcinação.

As análises químicas para qualificar e quantificar os metais presentes na TDR, foram realizados no Laboratório de Agricultura, e os efluentes líquidos gerados no

processo de recuperação do RTD, foram realizados no Laboratório de Ciências do Solo, ambos da Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu.

3.2.3. Protocolo de Filtração

No Laboratório Bebidas da Faculdade de Ciências Agronômicas do Campus de Botucatu foram realizados os teste de filtração e as análises físico-químicas das cervejas filtradas com TDR e TDP.

Para a simulação da filtração, foram segregadas através de peneiras vibratórias as amostras de terra diatomácea recuperada (TDR), sendo classificadaas em:

- terra diatomácea recuperada grossa (TDR – G) – para as terras retidas em peneira com malha de 0,105 mm;
- terra diatomácea recuperada média (TDR – M) – para as terras retidas em peneira com malha 0,052 mm;
- terra diatomácea recuperada fina (TDR – F) – para as terras que passaram em peneira com malha de 0,052 mm.

O mesmo procedimento também foi adotado para as TDP.

Após a classificação da TDR e da TDP, foi feita uma pré-capa independente com água destilada e 2 gramas das amostras de terra diatomácea, utilizando funil e papel de filtro qualitativo nº 1541 para filtração rápida, após obter homogeneidade na torta filtrante foi vertido 150 mL de cerveja tipo Pilsen para filtrar por ação da gravidade.

Os filtrados foram recolhidos em erlenmayers de 250 mL e submetidos a análises de cor, turbidez e contagem de células, em seguida foram calculados a eficiência na taxa de remoção da turbidez, cor e contagem de células em relação à testemunha.

3.3. Análises físico-química para o resíduo terra diatomácea

3.3.1. Determinação da DQO

A técnica utilizada para determinar a DQO é baseada na técnica do refluxo fechado, método colorimétrico utilizado por Clesceri et al. (1998), descrita abaixo.

A estimativa da matéria orgânica presente em uma amostra de água é realizada pela medida quantitativa de ácido crômico consumida para a oxidação da matéria orgânica passível de oxidação sob condições energéticas de temperatura e acidez, (CLESCERI et al., 1998).

Segundo os autores, após a digestão, o ácido crômico consumido é determinado por via fotométrica direta e o resultado é expresso em mg L^{-1} de oxigênio que seria gasto para oxidar a matéria orgânica presente na amostra.

O procedimento analítico consiste em:

1 – Em um tubo para digestão adicionar 3,0 mL da amostra bem homogeneizada.

2 – Juntar 2,0 mL de solução digestora e agitar para homogenizar.

3 – Adicionar 4,0 mL de solução catalítica – lentamente pelas paredes do tubo, fechando imediatamente o mesmo com a respectiva tampa, sem agitar as duas fases.

4 – Preparar os padrões de calibração para a faixa desejada (faixa alta/ baixa) e preparar o branco com água destilada – repetir os itens 2 e 3.

5 – Transferir os tubos para o reator, que deve estar a 150 ºC e ligar a chave de tempo.

6 – Após 2 horas retirar os tubos do bloco e aguardar que os mesmos atinjam a temperatura ambiente.

7 – Agite os tubos por inversão, para misturar a água que condensou nas paredes do tubo. Caso haja material em suspensão aguardar nova deposição.

8 – Fazer a calibração e a leitura no Foto-Colorímetro.

Os equipamentos utilizados foram o reator da marca Reactor Digest totalmente automático e um Foto-Colorímetro da marca Aqua-Color para DQO.

3.3.2. Determinação sólidos totais

A técnica utilizada para determinar sólidos totais na amostra do resíduo de terra diatomácea é descrita por (CLESCERI et al., 1998).

Sólidos totais é o termo aplicado ao material residual deixado em um recipiente após a evaporação e subseqüente secagem da umidade em água em um forno com temperatura entre 103 a 105 ºC.

O procedimento analítico consiste em:

1 – Pesar uma fração da amostra do RTD, e colocar a temperatura de 105º C em estufa por 24 horas.

2 – Retirar da estufa a amostra e colocar em um dessecador para esfriar e não adquirir umidade em água,

3 – Após a amostra estar resfriada, pesar em balança analítica.

4 – Os sólidos totais foi determinado pela equação (1).

$$ST = \frac{(A - B) \times 100}{C - B} \qquad \text{Equação (1)}$$

Onde:

ST = sólidos totais, (%)

A = peso da amostra seca + recipiente, (g)

B = peso do recipiente, (g)

C = peso da amostra inicial + recipiente, (g)

3.3.3. Determinação sólidos voláteis

A técnica utilizada para determinar sólidos voláteis na amostra do resíduo de terra diatomácea é descrita por (CLESCERI et al., 1998).

Sólidos voláteis é o termo aplicado a matéria orgânica calcinada em uma mufla com temperatura abaixo de 550 ºC.

O procedimento analítico consiste em:

1 – Transferir para mufla os sólidos totais e calcinar a 500 ºC por 1 hora.

2 – Retirar da mufla a amostra e colocar em um dessecador para esfriar e não adquirir umidade em água,

3 – Após a amostra estar resfriada, pesar em balança analítica.

4 – Os sólidos voláteis foi determinado pela equação (2).

$$SV = \frac{(A - D) \times 100}{C - B} \qquad \text{Equação (2)}$$

Onde:

SV = sólidos voláteis, (%)

A = peso da amostra seca + recipiente, (g)

B = peso do recipiente, (g)

C = peso da amostra inicial + recipiente, (g)

D = peso da amostra calcinada + recipiente, (g)

3.3.4. Determinação sólidos totais fixos

A técnica utilizada para determinar sólidos totais na amostra do resíduo de terra diatomácea é descrita por (CLESCERI et al., 1998).

Sólidos totais fixos é o termo aplicado ao material residual deixado em um recipiente após a eliminação da matéria orgânica em uma mufla com temperatura acima de 550 ºC.

O procedimento analítico consiste em:

1 – Transferir para mufla os sólidos totais e calcinar a 600 ºC por 1 hora.

2 – Retirar da mufla a amostra e colocar em um dessecador para esfriar e não adquirir umidade em água,

3 – Após a amostra estar resfriada, pesar em balança analítica.

4 – Os sólidos totais fixos foi determinado pela equação (3).

$$STF = \frac{(D - B) \times 100}{C - B} \qquad \text{Equação (3)}$$

Onde:

STF = sólidos totais fixos – (%)

B = peso do recipiente, (g)

C = peso da amostra inicial + recipiente, (g)

D = peso da amostra calcinada + recipiente, (g)

3.3.5. Teor de umidade

O percentual de umidade do resíduo de terra diatomácea foi determinado pela equação (4).

$$Ta = 100 - ST \qquad \text{Equação (4)}$$

Onde:

Ta = teor de umidade em água – (%)

ST = Sólidos totais – (%)

A técnica utilizada para determinar umidade na amostra do resíduo de terra diatomácea é descrita por (CLESCERI et al., 1998).

3.4. Análises físico-química para terra diatomácea recuperada

3.4.1. Extração de cátions

A análise de cátions trocáveis foi realizada em duas etapas seqüenciais: primeiro é feito a extração e, em seguida, a determinação e/ou quantificação do que foi extraído. Os cátions extraídos ficarão solubilizados no sobrenadante, no qual, será determinado quanto foi extraído. Para um mesmo nutriente, mesmo que sejam utilizados diferentes extratores, o método de determinação poderá ser o mesmo, pois as reações químicas e/ou aparelhos analisam íons e moléculas solúveis, independentemente da origem, (TOMÉ JUNIOR, 1997).

A técnica utilizada para extrair os cátions presentes na TDR foi baseada na metodologia de digestão ácida utilizada por (GOMES, 1984).

O procedimento analítico consiste em:

1 – Pesar 1 grama da amostra TDR e diluir em 5 mL de ácido sulfúrico concentrado;

2 – Aquecer a amostra de TDR em manta aquecedora durante uma hora, para completa digestão da amostra;

3 – Filtrar a amostra em papel de filtro quantitativo e lavar várias vezes a amostra TDR com água destilada, até o filtrado ser avolumado para 500 mL em um balão volumétrico.

3.4.2. Determinação de Óxido

O procedimento analítico utilizado para determinar os óxido presentes na TDR foi baseada na metodologia utilizada por (RAIJ et al., 2001).

O procedimento analítico consiste em:

1 – Realizar a extração dos cátions conforme descrito no item 3.4.1.

2 – Realizar a leitura dos cátions presentes nas amostras da TDR, utilizando a técnica de espectrometria de emissão (plasma de acoplamento indutivo – ICP) do laboratório da Agricultura, esta técnica permitiu determinar o quantitativamente o teor de ferro, cálcio, magnésio, potássio e alumínio contido na amostra de TDR.

3.4.3. Determinação quantitativa de sílica

A determinação do percentual de sílica na amostra de terra diatomácea recuperada, foi baseado na técnica de gravimetria descrita por (BACCAN, 2001).

O procedimento analítico consiste em:

1 – Pesar aproximadamente 1 grama da amostra de TDR.

2 – Fazer a digestão da amostra, conforme descrito no item 3.4.1.

3 – Após a digestão, filtrar a amostra em papel de filtro quantitativo e lavar várias vezes com água destilada.

4 – Pesar a amostra retida no papel de filtro em balança analítica e em seguida calcinar a 550 ºC, em uma mufla.

5 – Terminada a calcinação, colocar a amostra de TDR no dessecador para resfriar e não adquirir umidade.

6 – Pesar a amostra em balança analítica.

7 – O percentual de sílica foi determinado pela equação (5).

$$Ts = \frac{Mf}{Mi} \times 100 \qquad \text{Equação (5)}$$

Onde:

Ts = teor de sílica (%)

Mi = massa inicial – (g)

Mf = massa final – (g)

3.4.4. Determinação do pH em cloreto de cálcio

O procedimento analítico utilizado para determinar o pH da terra diatomácea foi baseada na metodologia utilizada por (RAIJ et al., 2001).

O procedimento analítico consiste em:

1 – Transferir 10 gramas de terra diatomácea para o frasco plástico.

2 – Adicionar 25 mL da solução de $CaCl_2$ 0,01 mol L^{-1}, deixando 15 minutos em contato.

3 – Agitar a suspensão por 10 minutos a 220 rpm, usando agitador com movimento circular horizontal ou agitador de pH. Deixar decantar por 30 minutos.

4 – Ajustar o medidor de pH com as soluções-tampão de pH 4,0 e 7,0 e, freqüentemente, com uma dessas soluções, após a determinação de uma série de amostras.

5 – Sem agitar, mergulhar o eletrodo combinado na suspensão, de modo que a ponta do eletrodo de vidro toque ligeiramente a camada de sedimento e a saída do eletrodo de referência fique submersa.

6 – Ler o pH.

3.4.5. Determinação da matéria orgânica

O procedimento analítico utilizado é descrito por Raij et al. (2001), consiste em:

1 – Pesar 1 grama de TDR, transferindo para erlenmayer de 250 mL.

2 – Adicionar 10 mL da solução de dicromato de potássio a 0,167 mol L^{-1} e, rapidamente, 20 mL de ácido sulfúrico concentrado p.a.

3 – Agitar manualmente por um minuto e deixar esfriar durante 30 minutos.

4 – Adicionar 200 mL de água destilada e filtrar através de papel de filtro de filtragem rápida, resistente ao ácido.

5 – Acrescentar 10 mL de ácido fosfórico concentrado p.a. e 3 a 6 gotas da solução de difenilamina a 10 g L^{-1}.

6 – Titular com solução de sulfato ferroso amoniacal a 0,4 mol L^{-1}, até viragem de azul para verde.

7 – Realizar uma prova em branco completa, sem terra diatomácea.

8 – O teor de matéria orgânica presente na terra diatomácea recuperada foi calculada de acordo com a equação (6).

$$M.O. = \frac{(V_{branco} - V_{amotra}) \times 68{,}93}{V_{solo} \times V_{branco}} \qquad \text{Equação (6)}$$

Onde:

$M.O.$ = teor de matéria orgânica, g dm^{-3}.

V_{branco} = gasto na titulação, mL.

$V_{amostra}$ = gasto na titulação, mL.

V_{solo} = volume do solo, cm^3.

$68{,}93$ = fator de correção.

3.4.6. Densidade aparente

A densidade aparente foi calculada em função da relação entre a massa e o volume da amostra de terra diatomácea calcinada de acordo com a equação (7) descrita por (LUCHESE, 2001).

$$D = \frac{m}{v} \qquad \text{Equação (7)}$$

Onde:

D = densidade aparente, (g cm^{-3})

m = massa, (g)

v = volume, (cm^3)

3.4.7. Determinação da superfície específica

A técnica empregada para determinar a superficie específica é o método da adsorção do vapor de etileno glicol d=1.109 e n=1.4314 (concentração de eletrólitos em íons por cm^3).

Pesar duas gramas de cada amostra recuperada de TDR, secar em estufa à 105 ºC até obter peso constante, em seguida colocar em vapor de etileno glicol (P.A.) por 48 horas dentro de um dessecador de vidro com adsorbato de $CaCl_2$ – etileno glicol.

Em seguida retirar as amostras do dessecador de vidro pesar imediatamente em balança analitica.

A superficie específica é calculada em função dos miligramas de etileno glicol adsorvido pela amostra.

Para cada miligrama de etileno glicol adsorvido cobre uma área de 3,22 m^2 para argilas 1:1 e 6,44 m^2 para argilas 2:1 e haloisita, cita (PACCOLA, 1981).

3.4.8. Cinética da decantação do resíduo de terra diatomácea

1 – Transferir 800 mL da amostra do RTD para proveta de 1000 mL.

2 – Adicionar uma base forte até o pH do meio tornar-se alcalino (pH=11,00).

3 – Homogeneizar a amostra do RTD.

4 – Disparar o cronometro e anotar o tempo em função da interface de decantação do RTD.

5 – Montar o gráfico da interface de decantação do RTD em função do tempo.

3.5. Análise físico-química da cerveja filtrada com TDR e TDP

3.5.1. Turbidez

O procedimento analítico utilizado para determinar a turbidez da cerveja filtrada foi baseado na metodologia utilizada pela (EUROPEAN BREWERY CONVENCTION, 1987).

O equipamento utilizado foi turbidímetro modelo 2100N da marca Hach do laboratório de tecnologia de bebidas.

3.5.2. Cor

A determinação da cor da cerveja foi determinado por fotometria. A leitura foi realizada em absorbância da amostra em espectrofotômetro, no comprimento de onda de 430 nm, contra uma referência de água destilada. Utilizar cubeta de 10 mm de percurso óptico. A cor em unidades de EBC foi obtida pela equação (8).

$$C = 25 \times f \times A_{430}$$ Equação (8)

Onde:

C = cor, (EBC)

f = fator de diluição

A_{430} = absorbância a 430 nm

25 = fator de multiplicação

O procedimento analítico utilizado para determinar a cor da cerveja filtrada foi realizado de acordo com a metodologia utilizada pela (EUROPEAN BREWERY CONVENCTION, 1987).

O equipamento utilizado foi um espectrofotômetro modelo B382 da marca Micronal.

3.5.3. Contagem de células de levedura

A contagem de células de leveduras foi realizada através do microscópio óptico. Para determinar a quantidade de células por milílitro foi utilizada câmara de Neubauer e corante vital.

A metodologia descrita pela Copersucar (1987), consiste em:

1 – Em um tubo ensaio, colocar 0,5 mL de suspensão de levedura e 9,5 mL de solução corante;

2 – Fechar o tubo de ensaio e agita-lo por 30 segundos;

3 – Deixar o tubo descansar no suporte por 1 minuto;

4 – Preparar a câmara de Neubauer colocando a lamínula sobre o reticulado;

5 – Agitar novamente o tubo de ensaio;

6 – Com uma pipeta de Pasteur, preencher a câmara de Neubauer, colocando uma gota de suspensão na borda da lamínula;

7 – Colocar a câmara de Neubauer sobre a platina do microscópio e proceder a contagem no aumento de 400 a 600 vezes;

8 – Contar no mínimo 600 células em duas montagens diferentes;

10 – Proceder a contagem nos quatro quadrados médios dos cantos e no central;

11 – Anotar o número de células por quadrado médio.

A contagem de células de leveduras foi obtida pela equação (9).

$$C = N \times 2{,}5 \times 10^{5} \times D \qquad \text{Equação (9)}$$

Onde:

C = contagem de células/mL.

N = números de células por quadrado médio.

D = fator de diluição.

3.6. Avaliação energética

Foi realizada uma avaliação energética de forma simulada. Onde foi avaliada o tempo de residência necessário para calcinar o resíduo de terra diatomácea em mufla e comparado com teste de calcinação realizado em uma planta piloto pelo Centro de Tecnologia Mineral.

O consumo energético para calcinar o resíduo de terra diatomácea foi calculado de acordo com a equação (9).

$$EE = \frac{X - Y}{X} \times 100 \qquad \text{Equação (10)}$$

Onde:

EE = Diferença no consumo de energia, (%)

X = Tempo de calcinação, (processo CETEM em h)

Y = Tempo de calcinação das amostras do experimento, (h)

O equipamento utilizado foi uma mufla modelo 0318-24, da marca Quimis, operando a 220 volts com 3500 watts de potência.

3.7. Cálculo de eficiência

A eficiência na remoção de turbidez, cor e contagem de células da cerveja filtrada foi calculada através da equação (10):

$$E = \frac{T - AE}{T} \times 100 \qquad \text{Equação (11)}$$

Onde:

E = Eficiência, (%)

T = Testemunho, (EBC)

AE = Amostras do experimento, (EBC)

4 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados das análises do RTD, TDR e do efluente líquido do processo de recuperação descritos neste experimento são inéditos, não tendo parâmetros para confrontar com as literaturas consultadas.

4.1. Análises físico-química do resíduo de terra diatomácea.

4.1.1. Análise de DQO

A análise da DQO do RTD está relacionada no Quadro 9.

Quadro 9. Análise de DQO da fração líquida do resíduo de terra diatomácea.

Demanda química de oxigênio – mg L^{-1}

Análise	Repetições			Estatística		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
RTD – fração Liquida	115.000	125.000	125.000	121.667	5.774	4,75

As bactérias que decompõem a matéria orgânica dos recursos hídricos, e o indicador da demanda química de oxigênio. Representam o potencial ou a capacidade que possui uma determinada massa orgânica de assimilar o oxigênio dissolvido presente nas águas.

O oxigênio dissolvido presente no meio aquático é de fundamental importância, embora não seja o principal indicador de qualidade da água existente, mas é o mais utilizado porque esta diretamente ligado ao tipo de vida dos organismos que habitam o corpo receptor de água.

É sabido que quanto maior a concentração de matéria orgânica maior a proliferação de bactérias e maior a atividade da respiração, ocasionando maior consumo de oxigênio no meio aquático.

O artigo 18 da Lei 997/76 do estado de São Paulo determina que os padrões para o lançamento de efluentes líquidos nos corpos de água devem ser de no máximo 60 mg L^{-1} ou segundo as normas da CETESB, apresentar no mínimo 80% de eficiência no tratamento antes de lançar os efluentes líquidos nos corpos de água.

No entanto, os resultados encontrados nas análises da DQO apresentaram valor médio de 121.667 mg L^{-1}, este resultado comprova que o resíduo de terra diatomácea apresenta elevado potencial de poluição quando lançados sem tratamento nos corpos receptores de água.

Como conseqüências do lançamento do resíduo de terra diatomácea nos corpos de água podemos citar que:

- A elevada presença de matéria orgânica passível de oxidação do resíduo de terra diatomácea faz as bactérias se multiplicarem resultando numa diminuição ou extinção do oxigênio dissolvido no meio aquático, promovendo o desequilíbrio do meio com prejuízos ou extinção dos organismos aquáticos.
- A presença de material particulado em suspensão do resíduo de terra diatomácea aumenta a turbidez ou cor da água. Além do aspecto visual desagradável, limita a penetração de luz solar na água, limitando ou abolindo o desenvolvimento de algas e a realização da fotossíntese,

portanto as algas consomem as reservas de oxigênio presente nas águas.

- A ausência de oxigênio permite a existência de organismos anaeróbios que liberam substâncias que conferem odores ofensivos.

Após realizar a decantação e secagem natural ao sol do resíduo de terra diatomácea foram, realizadas as análises da demanda química de oxigênio, que estão relacionadas no Quadro 10.

Quadro 10. Análise de DQO da fração sólida do resíduo de terra diatomácea pós-secagem.

Demanda química de oxigênio – mg L^{-1}						
Análise	Repetições			Estatística		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
RTD – fração sólida	70.000	50.000	67.500	62.500	10.897	17,44

Evidencia-se mesmo após a secagem do RTD, o material residual apresenta elevado potencial de poluição, os resultados encontrados nas análises da demanda química de oxigênio apresentou valor médio de 62.500 mg L^{-1}.

A disposição do RTD de forma inadequada no solo acarretará em modificações na diversidade biológica do solo e alterações de sua funcionalidade. A diminuição da diversidade microbiana no solo pode, em última análise, resultar em diminuição da ciclagem de nutrientes e crescimento de plantas.

Outras formas de poluição poderão ocorrer por percolação e/ou lixiviação da matéria orgânica presente no RTD para as águas superficiais e/ou subterrâneas através da infiltração de líquidos e carreamento do material particulado do RTD por escoamento superficial.

4.1.2. Teor de umidade

A análise do teor de umidade do RTD é apresentada no quadro 11. Os resultados encontrados na determinação da umidade do RTD apresentaram diferença média de 6,65% acima do limite superior do minério de diatomita que varia entre 10 a 65% de umidade citado por Antonides (1998), podendo chegar a 80% se o minério for extraído de localidades alagadas conforme descrito por Abreu (1973). No entanto, como o resíduo de terra diatomácea a ser recuperado, já passou pelo processo de beneficiamento, a terra diatomácea pode absorver de 1,5 a 3,0 vezes o seu peso em água cita Antonides (1998), o que condiz com os resultados obtidos, neste teste experimental.

Quadro 11. Análise do teor de umidade do resíduo de terra diatomácea.

Umidade – (%)						
Análise	Repetições			Estatística		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Ta	71,90	70,93	72,11	71,65	0,63	0,88

4.1.3. Análise de sólidos totais

Estes resultados servirão para determinar o rendimento da TDR e o percentual de matéria orgânica presente no resíduo de terra diatomácea.

Analisando os sólidos totais presentes, verifica-se que tem em média 28,37% do RTD, porém neste resíduo estão presente sílica, compostos inorgânicos (alumínio, ferro, cálcio, sódio, potássio e magnésio) e matérias orgânicas, como células de fermento, resinas de lúpulo e complexos protéicos provenientes do processo de filtração para clarificar o chope maturado. A análise de sólidos totais do resíduos de terra diatomácea é mostrada no quadro 12.

Quadro12. Análise de sólidos totais do resíduo de terra diatomácea.

Sólidos totais – (%)						
Análise	Repetições			Estatística		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
ST	28,10	29,12	27,89	28,37	0,66	2,32

4.1.4. Análise de sólidos voláteis

O resultado da análise dos sólidos voláteis do RTD é mostrado no quadro 13. O resultado encontrado nas análises de sólidos voláteis apresentou valor médio de 6,20% no RTD sem tratamento prévio. O elevado percentual de matéria orgânica no RTD é atribuída a presença de células de fermento, complexo protéico, resina de lúpulo, entre outros compostos orgânicos provenientes do processo de clarificação da cerveja maturada.

Quadro 13. Análise de sólidos voláteis do resíduo de terra diatomácea.

Sólidos voláteis – (%)						
Análise	Repetições			Estatística		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
SV	6,33	6,05	6,22	6,20	0,14	2,28

4.1.5. Análise de sólidos totais fixos

O resultado da análise dos sólidos totais fixos do RTD é mostrado no quadro 14. Estes dados são indicadores importantes porque serviram como referência para determinar a eficiência do processo de conversão do RTD para a TDR.

Os resultados encontrados nas análises de sólidos totais fixos apresentaram valor médio de 22,17%, que representa o percentual de TDR em processo, ou seja, sua eficiência. Embora tenha sido realizado em bancada de laboratório, estes dados servirão como indicadores para nortear estudos em plantas pilotos podendo estender-se para escala indústrial.

Quadro 14. Análise de sólidos totais fixos do resíduo de terra diatomácea.

Sólidos totais fixos – (%)						
Análise	Repetições			Estatística		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
STF	21,77	23,07	21,67	22,17	0,78	3,52

4.2. Análises físico-química da terra diatomácea recuperada

4.2.1. Análises químicas

A análise química da terra diatomácea recuperada é sem dúvida o fator determinante para reutiliza - la no processo de filtração como auxiliar filtrante nas indústrias de cerveja ou em outras indústrias que necessitam de terra diatomácea em seu processo.

Evidencia-se que a silica presente na terra diatomácea recuperada, não esta livre, a terra diatomácea recuperada esta associada a outros compostos inorgânicos, como óxidos de: alumínio, ferro, cálcio, sódio, potássio e magnésio.

As análises químicas da terra diatomácea recuperada são mostradas no quadro 15.

Quadro 15. Análises químicas da terra diatomácea recuperada.

Composição química – (%)						
Análises	Repetições			Estatística		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Sílica - SiO_2	98,57	98,81	98,73	98,70	0,12	0,12
Alumínio - Al_2O_3	0,12	0,08	0,07	0,09	0,03	29,40
Ferro – Fe_2O_3	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
Cálcio – CaO	0,04	0,02	0,03	0,03	0,01	33,33
Sódio - Na_2O	0,49	0.42	0,44	0,45	0,04	8,01
Potássio – K_2O	0,75	0.65	0,67	0,69	0,05	7,67
Magnésio - MgO	0,01	0,00	0,01	0,01	0,01	86,60

O teor de sílica citado por Pollock (1987), apresentou em média de 80 a 90% para o minério de diatomita após secagem em forno, enquanto o minério de terra diatomácea após passar pelo processo de calcinação e/ou fluxo-calcinação pode conter de 85 a 95% de sílica.

Os resultados obtidos nas análises quimicas apresentou em média 98,70% de sílica total; uma diferença de 3,70% acima do maior valor citado por Pollock (1987) que foi de 95% de sílica na terra diatomácea calcinada e/ou fluxo-calcinada e uma diferença de 10,50% acima do minério de terra diatomácea proveniente do município de Mucugê no qual apresentou 88,20% de sílica total, este fato pode ser explicado em função da TDR sofrer tratamentos específicos de lavagem para retirar apenas a matéria orgânica, e consequentemente alguns compostos inorgânicos.

O teor de alumínio no minério de diatomita não deve ser superior a 10%, porém no minério de terra diatomácea beneficiada estes valores variou entre 0,5 a 5,0%, após o minério de terra diatomácea passar pelo processo de calcinação e/ou fluxo-calcinação.

Os resultados demostrados apresentou em média 0,09% de alumínio na TDR, diferença de 4,91% abaixo do maior parâmetro citado por Pollock (1987) para o minério

de terra diatomácea beneficiada. O valor médio de alumínio foi de 0,09% para a TDR , porém valores acima de 5% de alumínio na TDR interfere no fluxo de filtração.

O teor de ferro presente no mineral diatomita não deve ser superior a 2%. No minério de terra diatomácea, após secagem, estes valores variam entre 0,5 a 3,0%, enquanto no minério de diatomita calcinada e/ou fluxo-calcinada estes valores podem variar entre 0,2 a 2,0%.

Os resultados demostrados apresentou em média 0,02% de ferro na TDR, diferença de 1,98% do maior parâmetro citado por Pollock (1987) para o minério de terra diatomácea beneficiada, outro fator a ser considerado é que teores de ferro acima de 2,0% na terra diatomácea calcinada e/ou fluxo-calcinada, altera a cor do filtrado, bem como o aumento de turbidez, porém os valores obtidos neste trabalho não alteram as características do cerveja a ser filtrada.

A somatória no teor de óxido formados por metais alcalinos terrosos presentes na TDR não deve ser superior a 2%. Destacamos como óxido alcalinos terrosos, os óxido de cálcio e magnésio que nas análises realizadas foram identificados com valor médio de 0,03% e 0,01% respectivamente, pois concentraçõs acima de 2% para cada tipo de óxido pode elevar o pH do filtrado.

O óxido de sódio variou seu valor entre 1,0 a 2,0% podendo chegar a 3% no caso do minério de diatomita fluxo-calcinada devido à adição de carbonato de sódio (Na_2CO_3). Os resultados encontrados nas análises obtiveram média de 0,45%, representando uma diferença de 1,55% do maior valor citado por Pollock (1987) para o óxido de sódio que foi de 2,0% para a terra diatomácea fluxo-calcinada.

4.2.2. Análises físicas

Os resultados das análises físicas da TDR, em concomitância com as análises químicas são de suma importância para definir a reutilização da TDR no processo de filtração de cerveja ou em outra indústria alimentícias que necessitam da terra diatomácea em seu processo. O processo de queima utilizado para recuperar o resíduo de terra diatomácea restringiu-se a calcinação, para eliminar apenas a matéria orgânica por combustão, não

havendo a necessidade de utilizar o processo de fluxo-calcinação, que tem como objetivo alterar as propriedades filtrantes da terra diatomácea.

As análises físicas de umidade, perda ao fogo e pH da terra diatomácea recuperada são mostradas no quadro 16.

Quadro 16. Análises físicas e pH da terra diatomácea recuperada.

Características Físicas e pH						
Análises	Repetições			Estatística		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Umidade (%)	0,59	0,67	0,71	0,66	0,06	9,30
Perda ao fogo (%)	0,81	0,67	0,64	0,71	0,09	12,84
pH	7,35	7,50	7,53	7,46	0,10	1,29

O resultado da análise do teor de umidade da TDR apresentou valor médio de 0,66% após a calcinação por 0,25 horas e resfriado a temperatura ambiente. De acordo com Ciemil (2004), teor de umidade na terra diatomácea calcinada é de no máximo 5%, enquanto no minério de diatomita preparada para o processo de calcinação o teor de umidade variou de 10 a 20%, cita (FRANÇA E LUZ, 2002).

O resultado da análise de perda ao fogo da TDR restringiu-se ao valor médio de 0,71%. Este valor é realtivamente baixo e esta relacionado principalmente com a presença de matéria orgânica remanescente na amostra do RTD pós tratamento químico. O maior valor citado por França e Luz (2002) de perda ao fogo utilizando o processo de calcinação para o minério de diatomita de Mina Ponte, foi de 2,2%, porém para Souza et al. (2003) este valor chegou a marca de 11,75%, esta variação pode ser explicada pela elevada concentração de matéria orgânica presente no mineral de terra diatomácea no local de lavra.

Os resultados das análises de pH obtidos nas amostras de terra diatomácea recuperada apresentou valor médio de 7,46 ficando próximo de neutro, este valor

variou entre 7,00 a 9,00 de acordo com os padrões de qualidade citado pela Ciemil (2004) para cada tipo de terra diatomácea.

As análises físicas da densidade aparente terra diatomácea recuperada e da terra diatomácea padrão são mostradas no quadro 17.

Quadro 17. Análise física da densidade aparente.

Densidade aparente – g cm^{-3}						
Análise	Repetições			Estatística		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
TDR – G	299	305	302	302	3,00	0,99
TDR – M	329	318	314	320	7,77	2,42
TDR – F	332	308	322	321	12,06	3,76
TDP – G	225	238	232	232	6,51	2,81
TDP – M	293	300	294	296	3,79	1,28
TDP – F	356	357	351	355	3,21	0,91

A densidade aparente da TDR – G, TDR – M e TDR – F ficaram entre 302 a 321 g L^{-1}, enquanto nas TDP – G, TDP – M e TDP – F estes valores variou entre 232 a 355 g L^{-1}, a densidade aparente da terra diatomácea para uso comercial variou de 250 a 350 g L^{-1} citado por Pollock (1987) enquanto para a Ciemil (2004) este valor pode variar de 130 a 320 g L^{-1}, e quanto maior a densidade aparente da TDR, maior a remoção da turbidez do filtrado porém menor a permeabilidade e como consequência menor o ciclo de filtração.

As análises físicas da superfície específica da terra diatomácea recuperada e da terra diatomácea padrão são mostradas no quadro 18.

Quadro 18. Análise física da superfície especifica.

Superficie especifica – m^2 g^{-1}						
Análise	Repetições			Estatística		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
TDR – G	54,74	50,88	54,74	53,45	2,23	4,17
TDR – M	40,57	46,37	41,22	42,72	3,18	7,44
TDR – F	38,64	47,66	39,28	41,86	5,03	12,02
TDP – G	56,67	72,13	61,18	63,33	7,95	12,55
TDP – M	46,37	47,13	45,72	46,41	0,71	1,52
TDP – F	20,84	19,32	23,83	21,33	2,29	10,76

A superfície específica média da TDR – G, TDR – M e TDR – F variaram de 41,86 à 53,45 m^2 g^{-1}, porém quando comparados com a terra diatomácea padrão, evidencia que a TDR – M e TDR – F apresentaram valores próximos da TDP – M. Segundo Ciemil (2004), a superfície específica apresentou valores entre 5,4 a 8,7 m^2 g^{-1} para a terra diatomácea de uso comercial, o que não condiz com as TDR e TDP classificadas em grossa, média e fina.

4.3. Análises da cerveja filtrada com TDR e TDP

4.3.1. Análise de turbidez

O resultado da análise de turbidez é mostrada no quadro 19.

Quadro 19. Análise de turbidez da cerveja filtrada.

Turbidez – EBC						
Análise	Repetições			Estatística		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Testemunho	15,9	18,3	18,0	17,40	1,31	7,52
TDR – G	9,34	11,20	11,40	10,65	1,14	10,67
TDR – M	6,61	6,62	6,89	6,71	0,16	2,37
TDR – F	4,97	4,98	4,96	4,97	0,01	0,20
TDP – G	4,92	4,87	4,95	4,91	0,04	0,82
TDP – M	3,01	3,16	3,22	3,13	0,11	3,46
TDP – F	3,25	4,01	4,47	3,91	0,62	15,76

A eficiência na taxa de remoção da turbidez média da cerveja foi de 38,79% para a TDR – G; 61,44% para a TDR – M e 71,44% para a TDR – F. Este indicador pode variar de 0 à 100%, porém no experimento este indicador deve estar próximo de 100, porque quanto mais próximo de 100%, maior a eficiência na remoção da turbidez, porém a TDR que apresentou melhor eficiência em relação ao testemunho na remoção da turbidez da cerveja filtrada foi a TDR – F, com valor médio de 4,97 EBC.

No experimento realizado, evidencia-se que quanto mais fina a terra diatomácea recuperada (TDR), melhor a clarificação da cerveja filtrada.

Em relacão as terra diatomácea padrão a eficiência na taxa de remoção da turbidez média da cerveja foi de 71,78% para a TDP – G; 82,01% para TDP – M e 77,53% para a TDP – F. Como o indicador de eficiência tende a 100%, a TDP – M com valor médio

de 3,13 EBC, foi o que apresentou melhor eficiência na taxa de remoção da turbidez da cerveja filtrada em relação a testemunha.

4.3.2. Análise de cor

O resultado da análise de cor é mostrada no quadro 20.

Quadro 20. Análise de cor da cerveja filtrada.

Cor – EBC						
Análise	Repetições			Estatística		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Testemunho	19,20	19,55	20,73	19,83	0,80	4,04
TDR – G	14,90	15,20	15,10	15,07	0,15	1,01
TDR – M	10,70	10,73	10,83	10,75	0,07	0,63
TDR – F	9,75	9,93	9,93	9,87	0,10	1,05
TDP – G	8,40	8,60	8,65	8,55	0,13	1,55
TDP – M	7,90	8,03	8,13	8,02	0,12	1,44
TDP – F	8,68	8,75	8,85	8,76	0,09	0,98

A cerveja para testemunho apresentou valor médio para cor de 19,83 EBC, porém a eficiência nos tratamentos variou em função da distribuição granulométrica da terra diatomácea recuperada e/ou terra diatomácea padrão em relação a testemunha.

A eficiência na remoção da cor média da cerveja filtrada utilizando TDR – G foi de 24,00%; para a TDR – M foi de 45,79%; e para a TDR – F foi de 50,23%. Este indicador pode variar de 0 à 100%, portanto quanto mais próximo de 100, maior a eficiência na remoção de cor da cerveja filtrada. Porém neste experimento, este indicador deve estar próximo de zero para manter o padrão de cor da cerveja filtrada, porém a TDR – G foi a que apresentou melhor eficiência para manter o padrão de cor.

A eficiência na remoção da cor média da cerveja filtrada utilizando TDP – G; TDP – M e TDP – F e comparadas com a testemunha foram respectivamente 56,88%; 59,56% e 55,82%, não havendo variações significativas para as cervejas filtradas com as terras diatomáceas padrão. Como o indicador de eficiência tende a zero, a cerveja filtrada com a TDP – F foi a que apresentou melhor eficiência no padrão de cor em relação a testemunha.

4.3.3. Contagem de células de leveduras

O resultado das análises da contagem de células da cerveja sem filtrar apresentou valor médio de 1,5 x 10^5 células/mL para a testemunha, enquanto as contagens de células feitas com cerveja filtrada utilizando terra diatomácea recuperada e terra diatomácea padrão classificadas em grossa, média e fina não apresentaram células de leveduras, portanto a eficiência na remoção média de células de leveduras para os diferentes tratamentos foi de 100%.

4.4. Análise físico-química do efluente líquido da terra diatomácea recuperada.

4.4.1. Análise de micro-nutrientes

Com o propósito de evitar o impacto ambiental e dar um destino ambientalmente seguro, foram realizadas as análises qualitativas e quantitativas de macro-nutrientes e micro-nutrientes do efluente líquido gerado do processo de recuperação do RTD servindo de indicador para a realização de estudos posteriores com a pretensão para serem utilizados como fertilizantes agrícolas orgânicos.

As análises químicas de micro-nutrientes do efluente líquido do processo de recuperação da TDR são mostrados no quadro 21.

Quadro 21. Análises química de micro-nutrientes do efluente líquido.

Composição química – mg L^{-1}						
Análises	Repetições			Estatísticas		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Sódio – Na	133	135	131	133	2,00	1,50
Cobre – Cu	4	4	4	4	0,00	0,00
Ferro – Fe	21	17	17	18	2,31	12,60
Manganês – Mn	0,4	0,4	0,4	0,4	0,00	0,00
Zinco – Zn	78	75	43	65	19,40	29,70
Carbono/nitrogênio	7/1	7/1	7/1	7/1	0,00	0,00
pH	11,20	11,20	11,20	11,20	0,00	0,00

4.4.2. Análise de macro-nutrientes

As análises químicas de macro-nutrientes do efluente líquido do processo de recuperação da TDR são mostradas no quadro 21.

Quadro 22. Análises química macro-nutrientes do efluente líquido.

Composição química – g L^{-1}						
Análises	Repetições			Estatísticas		
	R1	R2	R3	Média	Desvio Padrão	CV (%)
Nitrogênio – N	1,01	1,00	1,01	1,01	0,01	0,57
Fosfato – P_2O_5	0,45	0,43	0,41	0,43	0,02	4,65
Potássio – K_2O	3,11	3,03	2,96	3,03	0,08	2,47
Matéria orgânica	13	12	12	12	0,58	4,68
Carbono – C	7,30	6,70	6,70	6,90	0,35	5,02
Cálcio – Ca	0,06	0,06	0,06	0,06	0,00	0,00
Magnésio - Mg	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00
Enxofre – S	0,07	0,09	0,09	0,08	0,01	13,86

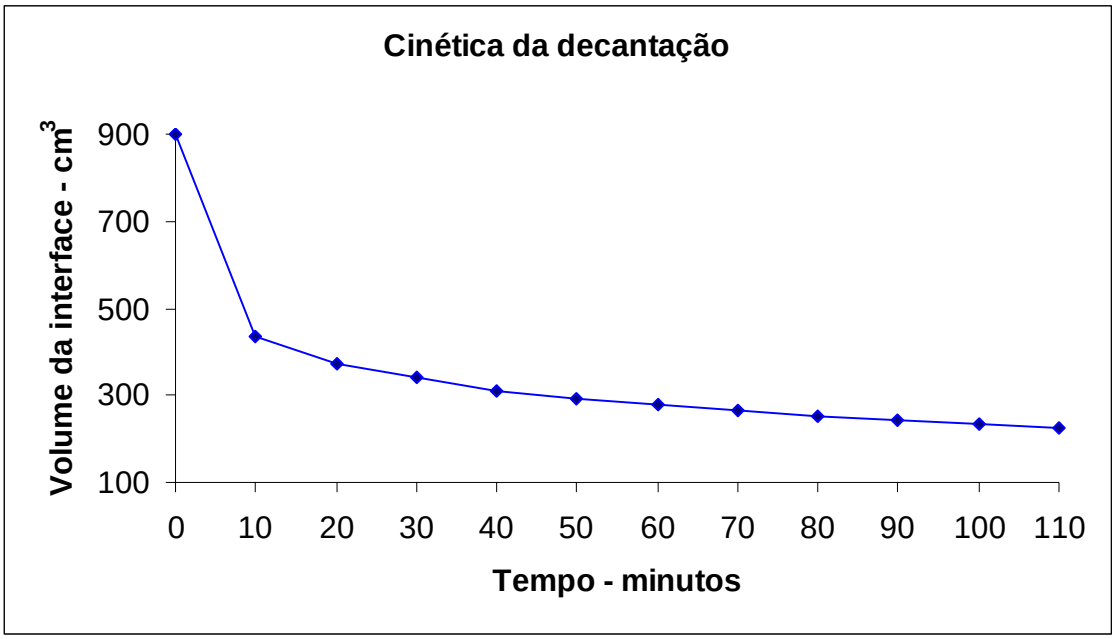
4.5. Avaliação energética

4.5.1. Cinética da decantação do resíduo de terra diatomácea

Os ensaios foram realizados para onze períodos de tempos diferentes, variando o tempo de decantação 0 a 110 minutos.

A figura 10 mostra os resultados da variação da interface para cada tempo de ensaio da decantação para o resíduo de terra diatomácea.

Figura 10. Interface da cinética da decantação.



Analisando a cinética de decantação do resíduo de terra diatomácea, após a homogeneização, notamos que para tempos menores do que 80 minutos a interface de sedimentação apresenta movimento descendente, indicando que os sólidos estão sedimentando, aumentando a concentração do RTD no fundo da proveta. Para tempos maiores que 80 minutos, é notório a estabilização no volume da interface, o que indica que a partir daí não há mais aumento significativo na concentração do resíduo de terra diatomácea, podendo até ocorrer à decantação mais atenuada de pequenas partículas que estão dispersas no

sobrenadante. Com isso, verificamos que o tempo de decantação necessário para a separação do (RTD) da fração líquida é de 80 minutos. Podemos observar que dessa forma obtemos em média 252 cm^3 de RTD o que corresponde a 28% de sólidos (RTD) decantado na proveta, pela diferença entre o volume inicial e o volume de sólidos sedimentado têm-se em média 648 cm^3 de sobrenadante o que corresponde a 72% do efluente líquido proveniente do tratamento do RTD.

Após tornar o meio alcalino com a dição de uma base forte, a primeira etapa do processo de recuperação do RTD, consiste em decantar os sólidos em suspensão, este método é um processo físico que utiliza apenas a ação da gravidade não requerendo custo energético com a lavra da diatomita, remoção da argila e transporte para a usina de beneficiamento. De posse desses dados verificamos a diminuição em 10% na alocação do custo de produção do RTD que seria atribuída na fonte de exploração do minério de diatomita conforme citado por (ANTONIDES, 1998; DOLLEY, 2003; FOUNIE, 2004).

4.5.2. Calcinação em mufla do resíduo de terra diatomácea

A economia de energia elétrica para calcinar o RTD foram calculados a nível de laboratório, tendo a finalidade de apontar uma faixa de valores na variável tempo de residência em mufla para calcinar as possíveis matéria orgânica e contaminantes remanescentes existentes no RTD.

Para eliminação de possíveis matéria orgânica remanescente no RTD e/ou esterilização, o RTD foi submetido a calcinação em mufla a 800 ºC com tempo de residência de 0,25 horas. Visto que estes experimentos foram realizados sob condições estáticas, não havendo a circulação constante e exposição uniforme das amostras do RTD ao calor, mesmo assim, verificou-se uma diminuição de 0,5 horas no tempo de residência quando comparados com os ensaios de calcinação realizada pelo CETEM em planta piloto com temperatura de 800 ºC.

Com esta redução no tempo de residência para a calcinação é notória a diminuição em 66,70% no consumo de energia elétrica para a recuperar o RTD.

5 – CONCLUSÕES

Nas condições experimentais em que foi realizado este trabalho, podemos concluir:

Com a adoção do SGA, é possível ter um controle efetivo dos resíduos de terra diatomáceas gerados pelas cervejarias, desenvolver um conjunto de ações que visa a utilização racional e otimizada dos recursos naturais, bem como promover o desenvolvimento de novas tecnologias capazes de garantir os insumos básicos para o desenvolvimento sustentado.

Os resultados médios encontrados nas análises de DQO para o RTD *"in natura"* e após secagem natural ao sol, foram respectivamente 121.667 mg L^{-1} e 62.500 mg L^{-1}, estes indicadores caracteriza ao RTD elevado potencial de poluição, como não existe uma destinação adequada para o RTD, e quando estes recursos são dispostos de forma inadequada ao solo, ou em concentrações superiores a capacidade de assimilação dos corpos receptores de água promovem o impacto ambiental.

A TDR poderá substituir parcialmente ou totalmente a terra diatomácea de uso corrente no mercado utilizado como agente de filtração, uma vez que a terra diatomácea de uso corrente no mercado funciona apenas como um elemento filtrante não sofrendo alterações químicas estruturais o que permite o seu reaproveitamento.

As cervejas filtradas com as TDR apresentaram aceitabilidade quanto a turbidez, cor e contagem de células, uma vez que a TDR apresentam características intrínsecas.

As análises de macro-nutrientes e micro-nutrientes, servirão de indicadores para posteriores estudos em que se pretenda utilizar fertilizantes agrícolas orgânicos como novas fontes de recursos, uma vez que, para recuperar o RTD gera 72% de efluente líquido.

A primeira etapa do processo de recuperação consiste na decantação do RTD, eliminando o processo de lavra, remoção da argila e transporte para o beneficiamento, diminuindo em 10% o custo energético de recuperação do RTD que seria atribuída na fonte de exploração do minério de diatomita.

A calcinação é a segunda etapa do proceso de recuperação do RTD reduzindo em 0,5 horas o tempo de residência em mufla, diferença de 66,7% no consumo de energia elétrica para calcinar o RTD quando comparados com o processo de calcinação utilizado pelo CETEM em planta piloto.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação brasileira de normas técnicas. Norma brasileira NBR 10004 Disponível em <http://http://www.abnt.org.br>. Acesso em 22 de fevereiro de 2005.

ABREU, S. F. **Recursos minerais do Brasil**. 2.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 1973. 324p.

AMARAL, N. D. **Noções de conservação do solo**. 2.ed. São Paulo: Nobel, 1984. 120p.

ANTONIDES, L.E. Mineral Commodity Sumaries – 1998. Disponível em <http:// minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs/> Acesso em 25 de abril de 2005.

AYLESWORTH, T. G. **Poluição do ar e da água**. 1.ed. Rio de Janeiro: Cruzeiro, 1971. 135p.

BACCAN, N. et al. **Química Analítica Quantitativa Elementar.** 3 ed. São Paulo: Edgard Blucher ltda, 2001. 308p.

BRANCO, S. M. **Poluição**: a morte de nossos rios. 2. ed. São Paulo: ASCETESB, 1983. 166p.

BRANCO, S. M. **O fenômeno de Cubatão na visão do ecólogo.** 1. ed. São Paulo: ASCETESB, 1984. 103p.

BRAGA, B. et al. **Introdução à Engenharia Ambiental.** 2. ed. São Paulo: Prentice Hall, 2002. 305p.

BRASIL. Lei federal nº 6938 de 31 de Agosto de 1981. Brasília. Disponível em http://www.planalto.gov.br/CCIVIL/leis?L6938.htm. Acesso em 08 de janeiro de 2005.

CARNEIRO, P.F. N., et al. Gerenciando resíduos sólidos urbanos. **Falando de qualidade**. São Paulo, ano XIII, n. 145, p. 58 – 67, jul. 2004.

CETESB – Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. Disponível em <http://www.cetesb.sp.gov.br/institucional/portugues_solo.asp>. Acesso em 05 de julho de 2004.

CETESB – Companhia de tecnologia de saneamento ambiental. Em Legislação Ambiental/ Decreto Estadual nº 8468/76. Disponível em http:// www.cetesb.sp.gov.br. Acesso em 23 de julho de 2005.

CHARBONNEAU, J. P. et al. **Enciclopédia de Ecologia**. 1.ed. São Paulo: EDUSP, 1979. 479p.

CHIAVENATO, I. **Introdução à teoria geral da administração.** 6 ed. Rio de Janeiro: Campus, 2000. 700p

CIEMIL – Comércio, indústria e exportação de minérios ltda. Disponível em <http://www.ciemil.com.br>. Acesso em: 03 de julho de 2004.

CLESCERI, L. S. et al. **Standart Methods for the Examination of Water and Watewater.** 20. ed. Washington: United Book Press. 1998. Paginação irregular.

COELHO, R. M. P. **Fundamentos em ecologia**. 1. ed. Porto Alegre: Artemed, 2000. 252p.

COPERSUCAR. *Fermentação*. São Paulo, 1987. 434p.

COSTA, J. L. Departamento de Produção Mineral. Em sumário mineral 2004. Disponível em <http:// www.dnpm.gov.br/>. Acesso em 15 de agosto de 2005.

DAJOZ, R. **Ecologia Geral**. 4. ed. Petrópolis: Vozes, 1983. 472p.

DOLLEY, T.P. U.S. Mineral Commodity Sumaries – 2003. Disponível em <http:// minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs> Acesso em 05 de maio de 2005.

DONAIRE, D. **Gestão Ambiental na Empresa**. 2. ed. São Paulo: Atlas, 1999. 169p.

EUROPEAN BREWERY CONVENTION. ***Analiytca* – EBC**. 4. ed. Zurique: Brauerei – und Getranke – Rundschau, 1987. 271p.

FELLENBERG, G. **Introdução aos problemas da poluição ambiental**. 2. ed. São Paulo: EPUSP, 1980. 199p.

FORNAZIER, W. J. **Ambev e o RTD** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por < guwjf@ambev.com.br> em 03 mar. 2006.

FOUNIE, A. U.S. Mineral Commodity Sumaries – 2004. Disponível em <http:// minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs> Acesso em 08 de maio de 2005.

FRANÇA, S. C. A.; LUZ, A. B. **Beneficiamento de diatomita da Bahia.** 1. ed. Rio de Janeiro: CETEM/ MCT, 2002. 50p.

GHINATO, P. **Sistema Toyota de Produção:** mais do que simplesmente just-in-time. 1. ed. Caxias do Sul: EDUCS, 1996. 200p

GOMES, C. B. Análise química por espectrometria de absorção atômica. In: TRESCASES, J. J. **Técnicas Analíticas Instrumentais Aplicadas à Geologia**. São Paulo: Edgard Blucher ltda, 1984. p. 44 – 83.

GONÇALVES, E. M. **Análise da microfiltração tangencial do xarope de açúcar cristal e aplicação do seu modelo matemático para a suspensão de sólidos em água**. 1999. 110f. Dissertação (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp, Botucatu, 1999.

HOUGH, J. S. **The biotechnology of malting and brewing**. 1 ed. New York: Cambridge University Press, 1985. 168p.

IGUTI, F. B. **Kaiser e o RTD** [mensagem pessoal]. Mensagem recebida por < figuti@kaiser.com.br > em 03 mar. 2006.

IPEA – Instituto de Planejamento Econômico e Social. **Poluição Industrial no Brasil**. Brasília: RESER Artes Gráficas, 1975. 146p.

JARDIM, N. S. et al. **Lixo Municipal**: manual de gerenciamento integrado. 1. ed. São Paulo: IPT, 1995. 278p.

KAVALCO, K. Importância Econômica e Ecológica - 1998. Disponível em http:// www.biociencia.org/botanica/algasmar.htm. Acesso em 17 de julho de 2005.

KUNTZ, A. P. Iso 14001: pelo bem das empresas, da sociedade e do meio ambiente. **Falando de qualidade**. São Paulo, SP, ano XIII, n. 145, p. 47 – 57, jul. 2004.

KWASNICKA, E. L. **Introdução a Administração.** 3 ed. São Paulo: Atlas, 1981. 238p.

LEITE, J.L. **Problemas-chave do Meio ambiente**. In: CLÁUDIO, J.R. **Resíduos Sólidos**. Salvador: EXPOGEO/Espaço Cultural; 1995. P. 125-139.

LEMONS JR, J.F. U.S. Minerals Commodity Sumaries – 1996. Disponível em http:// minerals.usgs.gov/minerals/pubs/mcs. Acesso em 25 de abril de 2005.

LIMA, L. M. Q. **Tratamento de lixo.** São Paulo: Hemus. 19_? 240p.

LIMA, M. I. C. et al. **Geologia**. In: Brasil, Ministério das Minas e Energias. **Folha SD24 Salvador:** geologia, geomorfologia, pedologia, vegetação uso potencial da terra. Rio de Janeiro: [s.n.], 1981. cap. 1, p.25 – 192.

LUCHESE, E. B. et al. **Fundamentos da química do solo.** Rio de Janeiro: Freitas Bastos. 2001. 159p.

MAIMOM, D. **ISO 14001-** passo a passo da implementação nas pequenas e médias empresas. 1. ed. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1999. 86p.

MANAHAN, S. E. **Enviromental Chemistry.** 6. ed. New York: [s.n.] , 1994. 811p.

MARTINS, S. S. **Controle da Produção.** Apostila. Especialização Engenharia de Produção, Bauru: Unesp, 2000. 69p.

MELLANBY, K. **Biologia da Poluição.** 2. ed. São Paulo: EDUSP. 1982. 89p.

MILARÉ, É. **Estudo Prévio de Impacto no Brasil**. In: AB'SÁBER, A. N.; MULLER, C. P. **Previsão de Impactos.** São Paulo: USP, 1998. p. 51 – 83.

MOTA, S. **Planejamento Urbano e Preservação Ambiental**. 1. ed. Fortaleza: UFC. 1981. 241p.

MOURA, L. A. B. **Qualidade e gestão ambiental.** 3. ed. São Paulo: Editora Juarez de Oliveira, 2002. 360p.

NUVOLARI, A. et al. **Esgoto Sanitário:** coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. 1. ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2003. 520p.

OSTRENGA, M. R. et al. **Guia da Ernst & Young para gestão total de custos**. Rio de Janeiro: Editora Record, 1993. 349p.

PACCOLA, A. A. **Efeitos da aplicação de produtos no Basalto de alteração hidrotermal nas propriedades físico-química de um Latossolo Vermelho Escuro textura Arenosa/**

média. 1981. 188f. Dissertação (Doutorado em Agronomia/ Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura, ESALQ, Piracicaba, 1981.

PIMENTEL, P.A. **Análise do Controle de Produção Baseado em Custeio**: um estudo de caso. 2001. 42f. Monografia (Especialista em Engenharia de Produção) – Faculdade de Engenharia de Produção, Unesp, Bauru, 2001.

PINHEIRO, A. C. F. B.; MONTEIRO, A. L. F. B. P. A. **Ciências do Ambiente:** ecologia, poluição e impacto ambiental. São Paulo: Makron. 1992. 148p.

PLOSSL, G. W. **Administração da Produção**. São Paulo: Makhon Books, 1993. 214p.

POLLOCK, J.R.A. **Brewing Science.** London: Academic Press. v.3, 1987. 611p.

RAIJ, et al. **Análise Química para avaliação da fertilidade de solos tropicais.** 1 ed. Campinas: Instituto Agrônomico, 2001. 285p.

REINOLD, M.R. **Manual Prático de Cervejaria.** São Paulo: Aden; 1997. 213p.

REINOLD, M. R. **O processo de filtração da cerveja.** São Paulo: Aden, 1995. 43p.

RIBEIRO, V. P. **Qualidade do ambiente e seus reflexos econômicos e sociais**. 1. ed. Brasília: [s.n.], 1977. 36p.

ROTSTEIN, J. **Brasil século XXI.** 1. ed. Rio de Janeiro: Espaço e Tempo, 1996. 141p.

ROZENTHAL, B. **Curso para tratamento de água para fins Industriais**. Apostila – Qualidade da água; outubro de 1998. Não paginado.

RUIZ, L. S. R. **Modelo matemático que fundamenta a microfiltração tangencial da água.** 1994. 94f. Dissertação (Doutorado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp, Botucatu, 1994.

SILVA. A. M. **Licenciamento e Certificações Ambientais em Indústrias processadoras de Alimentos em Uberlândia – Mg**. 2004. 98f. Dissertação (Mestrado em Geografia/ Análise e Planejamento Sócio-Ambiental) – Instituto de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2004.

SILVA, W. S. D. et al. **Política Nacional do Meio Ambiente.** 1999. 27f. Trabalho apresentado à disciplina de Política e Gestão Ambiental (Especialização em Engenharia de Controle da Poluição Ambiental) – Faculdade de Saúde Pública, USP, Bauru, 1999.

SINDICERV – Sindicato Nacional da Indústria de Cervejas. Mercado brasileiro de cervejas 2005. Disponível em <http://www.sindicerv.com.br>. Acesso em: 20 de julho 2005.

SLEIMAN, M. **Produção de cerveja com extrato de malte nas formas de xarope e pó: análise físico-química, sensorial e energética**. 2002. 110f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/ Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Unesp, Botucatu.

SOUZA, E.; RAZUK, P.C. **Operações Unitárias no tratamento do xarope de açúcar**. São Paulo: EDIPRO, 1996. 320p.

SOUZA, G. P. et al. Caracterização do material compósito diatomáceo natural. **Cerâmica,** São Paulo, SP, v. 49, n. 309, p. 40 – 43, Jan./Fev./Mar. 2003.

SOUZA, J. F. **Perfil Analítico da Diatomita**. Rio de Janeiro: Departamento Nacional da Produção Mineral (Boletim 11), 1973. 27p.

SPARKS, D. L. **Environmental soil quemistry.** 1 ed. London: Academic Press Limited, 1995. 267p.

STRASKRABA, M.; TUNDISI, J. G. **Gerenciamento da qualidade da água de represas.** 1. ed. São Carlos: Somus. v. 9, 2000. 258p.

TOMÉ JUNIOR, J. B. **Manual para Interpretação de Análise de Solo.** 1 ed. Guaíba: Agropecuária ltda, 1997. 247p.

TOMMASI, L. R. **A degradação do meio ambiente.** 3. ed. São Paulo: Nobel, 1977. 169p.

TUNDISI, J. G. **Agua no século XXI: enfrentando a escassez.** 1. ed. São Carlos: Rima. 2003. 248p.

VARELA, C. A. S. **Poluição em águas continentais – Alternativas de Controle de Resíduos Líquidos Industriais.** 1 ed. São Luís: EDUFMA, 1987. 66p.

VENTURINI FILHO, W.G.; CEREDA, M. P. **Cerveja**. In: AQUARONE et al. **Biotecnología Industrial**. São Paulo: Edgard Blucher ltda, 2001. p. 91 – 144.

VENTURINI FILHO, W. G. **Tecnologia de cerveja.** Jaboticabal: Funep, 2000. 83 p.

VITERBO JUNIOR, E. **Sistema integrado de gestão ambiental:** como implantar um sistema de gestão que atenda à norma ISO 14001, a partir de um sistema baseado na norma ISO 9000. 2 ed. São Paulo: Aquariana, 1998. 224p.