

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**A PRODUÇÃO MAIS LIMPA NAS FECULARIAS: Uma  
alternativa frente às tecnologias de fim-de-tubo**

**Rafael Niero Bardini**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
JULHO/2008**

**Universidade Federal de Santa Catarina  
Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental**

**A PRODUÇÃO MAIS LIMPA NAS FECULARIAS: Uma  
alternativa frente às tecnologias de fim-de-tubo**

**Rafael Niero Bardini**

**Trabalho apresentado à Universidade  
Federal de Santa Catarina para Conclusão  
do Curso de Graduação em Engenharia  
Sanitária e Ambiental**

**Orientador  
Prof. Dr. Fernando Sant'Anna**

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
JULHO/2008**

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

**A PRODUÇÃO MAIS LIMPA NAS FECULARIAS: Uma alternativa frente às  
tecnologias de fim-de-tubo**

**RAFAEL NIERO BARDINI**

**Trabalho submetido à Banca Examinadora como parte dos requisitos  
para Conclusão do Curso de Graduação em Engenharia Sanitária e  
Ambiental–TCC II**

**BANCA EXAMINADORA :**

---

**Prof. Dr. Fernando Sant'Anna**  
(Orientador)

---

**Doutoranda Mariele Jungles**  
(Membro da Banca)

---

**Dra. Maria Eliza Hassemer**  
(Membro da Banca)

**FLORIANÓPOLIS, (SC)  
JULHO/2008**

*Dedico este trabalho aos meus pais, Asteróide e Mariléia, e a minha namorada  
Gisely, que me apoiaram  
e me deram incentivos para realizar este trabalho*

## **Agradecimentos**

- À Deus, pela força.

- Meus sinceros agradecimentos à Empresa Inquil, que encarecidamente meu deu o livre acesso à indústria.

**RESUMO:** A indústria da mandioca representa um setor importante da agricultura do Brasil. Entretanto, seu poder de poluição é diretamente proporcional à sua representatividade na economia do País. A maioria desse tipo de indústria trata do assunto “meio ambiente” ainda com base nos ideais dos anos 70, ou seja, gerar poluição para depois tratar. O presente trabalho teve por objetivo levantar oportunidades de Produção Mais Limpa na empresa Inquil, fabricante de amido de mandioca. As principais iniciativas levantadas foram: redução da carga poluente, economia no tratamento do efluente e redução na quantidade de efluente.

**Palavras-chave:** Produção mais Limpa, Fecularia

**ABSTRACT:** The cassava industry represents one of the most important agriculture niche in Brazil. However, its destruction power is directly proportional to its representative in the Brazil's economy. The majority of this kind of industry leads with the subject “environment” still based on the 70's models, that is, generating pollution to treat later. This study had as focus to find opportunities related to the technique called Cleaner Production at Inquil industry, whose extract starch from cassava. The initiatives were: reduction of the pollution load, economy in the treatment of the effluent e reduction of the effluent's quantity.

**Key Words:** Cleaner Production, Cassava Industry

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>9</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>10</b>
2.1 OBJETIVO GERAL .....	10
2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	10
<b>3. PRODUÇÃO MAIS LIMPA</b> .....	<b>11</b>
3.1 DEFINIÇÃO .....	11
3.2 HISTÓRICO .....	11
3.3 CONCEITOS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA.....	12
<b>4. FECULARIAS</b> .....	<b>15</b>
4.1 A MANDIOCA.....	15
4.2 AS INDÚSTRIAS DE FÉCULA .....	15
4.3 FORMAS DE POLUIÇÃO, RESÍDUOS E SUBPRODUTOS.....	16
4.4 TRATAMENTOS CONVENCIONAIS DE EFLUENTES .....	17
<b>5. ESTUDOS RELACIONANDO FECULARIAS E MEIO AMBIENTE</b> .....	<b>19</b>
<b>6. METODOLOGIA</b> .....	<b>21</b>
6.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO .....	21
6.2 PROCESSO DE EXTRAÇÃO DA FÉCULA NA INQUIL.....	21
6.3 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE INDUSTRIAL – DESCRIÇÃO DO SISTEMA.....	24
6.5 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA.....	25
6.3. INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS .....	27
6.3.1 Entrevista.....	27
6.3.2 Observação .....	27
6.3.3 Análise de conteúdo .....	27
<b>7. RESULTADOS</b> .....	<b>27</b>
7.1 CONHECIMENTOS DO FUNCIONAMENTO DA EMPRESA.....	27
7.2 PRINCIPAIS PROBLEMAS ENCONTRADOS ATUALMENTE NA EMPRESA .....	28
7.3 APLICAÇÃO DO MANUAL DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA.....	28
7.3.1 Estudo do fluxograma do processo .....	29
7.3.2 Realização do diagnóstico ambiental e de processo .....	29
7.3.3 Seleção do foco de avaliação .....	32

7.3.4 Análise quantitativa de entradas e saídas e estabelecimento de indicadores .....	36
7.3.5 Identificação das opções de produção mais limpa .....	38
7.3.6 Avaliação técnica, ambiental e econômica .....	38
7.3.7 Utilização do Efluente em Fertirrigação .....	38
7.3.8 Produção de Ácido Cianídrico .....	39
7.3.9 Seleção de oportunidades viáveis.....	41
7.4 SIMULAÇÃO DA APLICAÇÃO DA PMAISL .....	41
<b>8. CONCLUSÕES .....</b>	<b>46</b>
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS .....</b>	<b>47</b>
<b>ANEXOS .....</b>	<b>49</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A agricultura em países subdesenvolvidos, como o Brasil, possui destaque por sua eminência e relevância, já que grande parte da mão de obra ativa está empregada no setor primário. Um tipo de cultura típico do País diz respeito ao cultivo da mandioca, sendo esta possuidora de diversas finalidades. A extração e transformação do amido advindo da tuberosa amilácea (sinônimo de mandioca frequentemente usado na literatura) correspondem a um importante nicho na exportação e consumo interno nos países de terceiro mundo. A Nigéria, a República Dominicana do Congo, a Indonésia, a Tailândia e o Brasil são os maiores produtores de mandioca do mundo, conforme exposto por Cereda (2001).

Entretanto, a indústria da mandioca se apresenta como uma das mais problemáticas quando se trata da questão ambiental, já que seu efluente é bastante tóxico e possui elevada carga org. A estagnação da evolução tecnológica do processo produtivo e do tratamento do efluente contribuem para agravar a situação. Pouca é a preocupação das indústrias em investir em linhas de pesquisa, evidenciando certo comodismo por parte do setor. Com relação ao tratamento do efluente, boa parte das empresas adota os métodos convencionais de tratamento, localizados no final da cadeia produtiva. Por se localizar no término da produção recebem o nome de técnicas de fim-de-tubo.

Em um mundo competitivo e cada vez mais interessado nas questões do meio ambiente e no lucro, as técnicas de fim-de-tubo apresentam-se como inadequadas. É nesse contexto que surge a metodologia chamada de Produção mais Limpa (PmaisL). Baseando-se na prevenção e considerando o todo, não apenas o fim da produção, a PmaisL mostra-se economicamente e ambientalmente mais correta e mais adequada neste começo de século (DOZOL, 2002). Sendo assim, de que maneira a PmaisL pode contribuir para a diminuição dos impactos ambientais e aumento da eficiência das indústrias de produção de fécula?

O trabalho tem como finalidade propor medidas de PmaisL nas indústrias denominadas fecularias, mostrando-se assim como uma técnica contemporânea e alternativa às tecnologias de fim-de-tubo. Isso é importante porque pode tornar as indústrias mais competitivas, menos distantes do modelo ideal de empresa e menos agressivas ao meio ambiente, melhorando conseqüentemente sua imagem frente à população e órgãos ambientais.

## 2. OBJETIVOS

### 2.1 OBJETIVO GERAL

O presente trabalho visa analisar métodos para a aplicação da PmaisL a fim de se reduzir a geração de poluentes na fonte e reduzir a necessidade final de tratamento de efluentes.

### 2.1 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Como objetivos específicos têm-se:

1. Levantamento do fluxograma do processo;
2. Levantamento de aspectos e impactos do processo;
3. Realização do diagnóstico ambiental e do processo, seleção do foco da avaliação;
4. Elaboração do balanço material e estabelecimento de indicadores de desempenho;
5. Identificação de opções de PmaiL relacionados a efluentes líquidos;
6. Avaliação técnica, ambiental e econômica e seleção de oportunidades viáveis;
7. Simulação da PmaisL.

### 3. PRODUÇÃO MAIS LIMPA

#### 3.1 DEFINIÇÃO

Pode-se definir PmaisL como: “aplicação contínua de uma estratégia ambiental integrada à processos e produtos a fim de se reduzir os riscos aos seres humanos e ao meio ambiente” (MacCRACKEN; MUNN; PERRY, 2002). Um outro significado diz que a PmaisL consiste em uma estratégia preventiva que se utiliza nos processos produtivos para diversos fins, tal como promover a melhora da performance ambiental (UNIDO, 2004 apud DIAS; PIRES, 2005). Enfim, todos são concordantes em dizer que a técnica é de caráter pró-ativa, ou seja, age antes mesmo de poluir.

#### 3.2 HISTÓRICO

No século XX, mais precisamente nas primeiras cinco décadas, o mundo experimentou um crescimento industrial jamais visto anteriormente. A preocupação com o meio ambiente não foi concomitante com tal desenvolvimento, vindo a ser discutido com seriedade somente nos anos seguintes. Os setores de produção adotaram, dos anos 50 até o começo dos anos 90, diversos modos de se relacionar com a natureza, levando-se em conta a poluição gerada por eles. A seqüência histórica foi de ignorar, diluir, controlar, melhorar os processos e prevenir a geração de poluição (DIAS; PIRES, 2005). A PmaisL insere-se na última parte da seqüência citada.

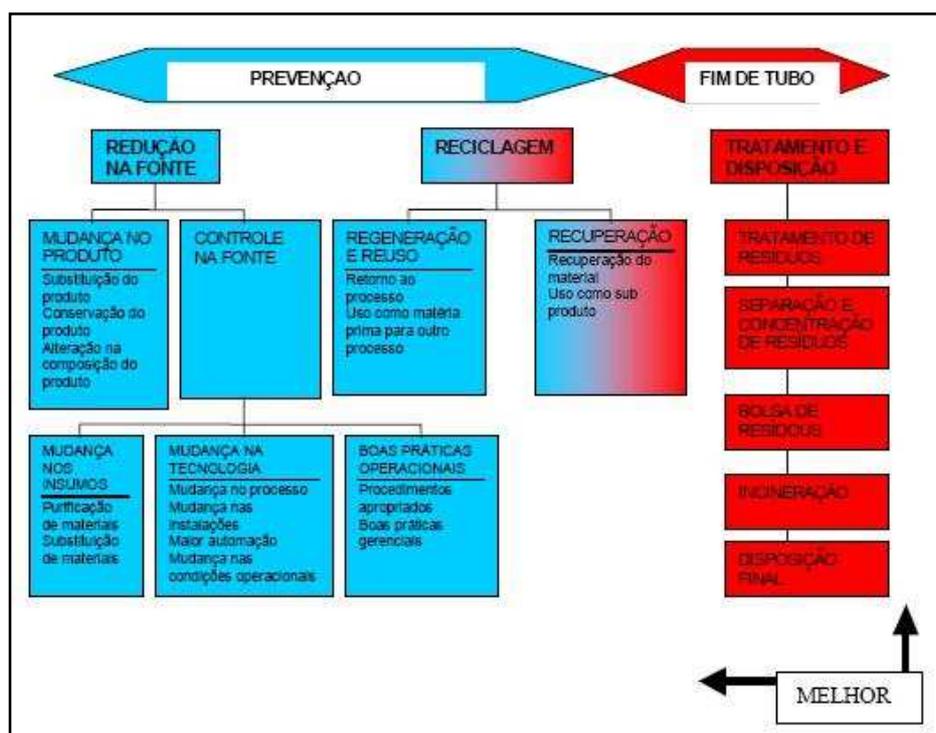
Em maio do ano de 1989 lança-se o conceito de PmaisL pela *United Nation Environmental Program* (UNEP). A estratégia da PmaisL, formulada pela UNEP, foi lançada e discutida pela primeira vez em 1990 na conferência de Canterbury (DIAS; PIRES, 2005; MacCRACKEN; MUNN; PERRY, 2002). Outros conceitos, como eco-design, eco-eficiência, desenvolvimento sustentável surgem para que se possam entrelaçar ganhos econômicos e responsabilidade ambiental. Elas apareceram com o objetivo de mostrar que as técnicas de fim-de-tubo não se constituem tão somente da única alternativa pra a preservação ambiental.

No Brasil, a PmaisL teve início em 1995 por meio do Centro Nacional de Tecnologias Limpas, instalado na Federação das Indústrias do Estado do Rio Grande do Sul. A iniciativa teve o apoio da Organização das Nações Unidas para o Desenvolvimento Industrial e da UNEP. No mesmo período, o Instituto Euvaldo Lodi (IEL) começa a trabalhar com o novo conceito em Santa Catarina. Já em 2000, cria-se a Rede Brasileira de Produção mais Limpa, que contribuiu para a divulgação da PmaisL nas micro e pequenas empresas do País (DOZOL, 2002).

### 3.3 CONCEITOS DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

A preocupação com o meio ambiente e o bem-estar da população está transformando a maneira de como as organizações lidam com a natureza. Uma maneira de como elas podem conseguir melhores resultados no âmbito ambiental é através da prevenção. A figura 1, extraída de Fernandes (2001), sintetiza a evolução das tecnologias e procedimentos de proteção ambiental com foco no que foi dito anteriormente. O Conceito citado neste trabalho possui em seu âmago tal preocupação procurada. Suas principais vantagens, levando-se em conta o tema, são:

- \* Conhecimento da origem dos resíduos;
- \* Procura-se a ação, e não reação;
- \* Evita processos e materiais potencialmente tóxicos;
- \* Riscos reduzidos e transparência aumentada;
- \* Ajuda a reduzir custos;
- \* Melhor aproveitamentos dos resíduos;
- \* Resíduos podem ser minimizados. (CNTL, 2000)

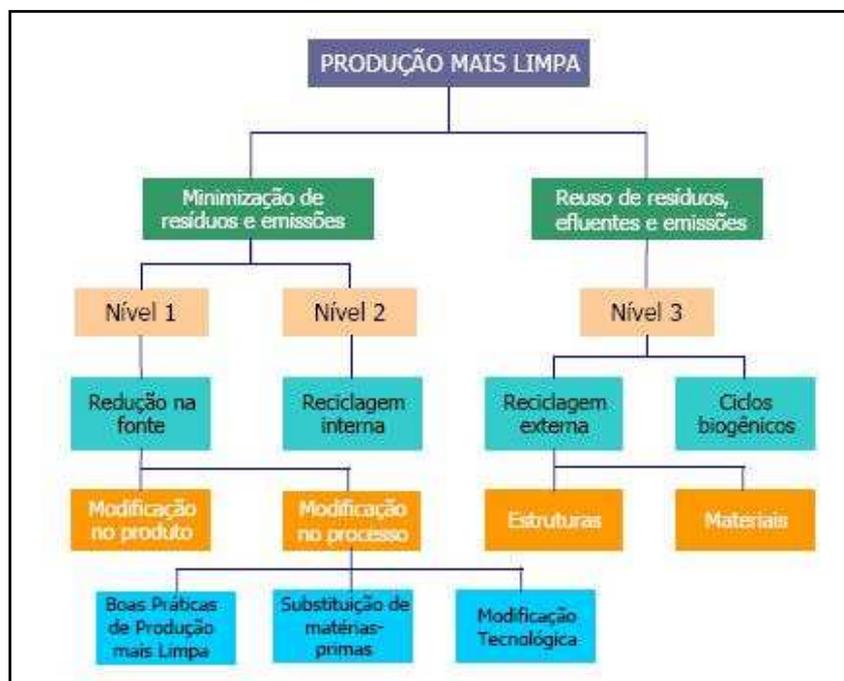


**Figura 1:** evolução das tecnologias e procedimentos de proteção ambiental

Fonte: Fernandes, 2001

A PmaisL encontra aplicações nos mais variados tipos de empresas. Indústrias de cerâmica, curtume, metal-mecânica, de papel e principalmente de extração e transformação do amido podem-se valer da mesma. Para o estabelecimento de prioridades de opções de PmaisL nos processos produtivos observa-se alguns

aspectos, divididos em níveis. A técnica tem como interesse ações que dêem ênfase ao nível 1 prioritariamente, seguidas pelo nível 2 e 3. A figura 2, onde se apresenta um fluxograma demonstra isso claramente.

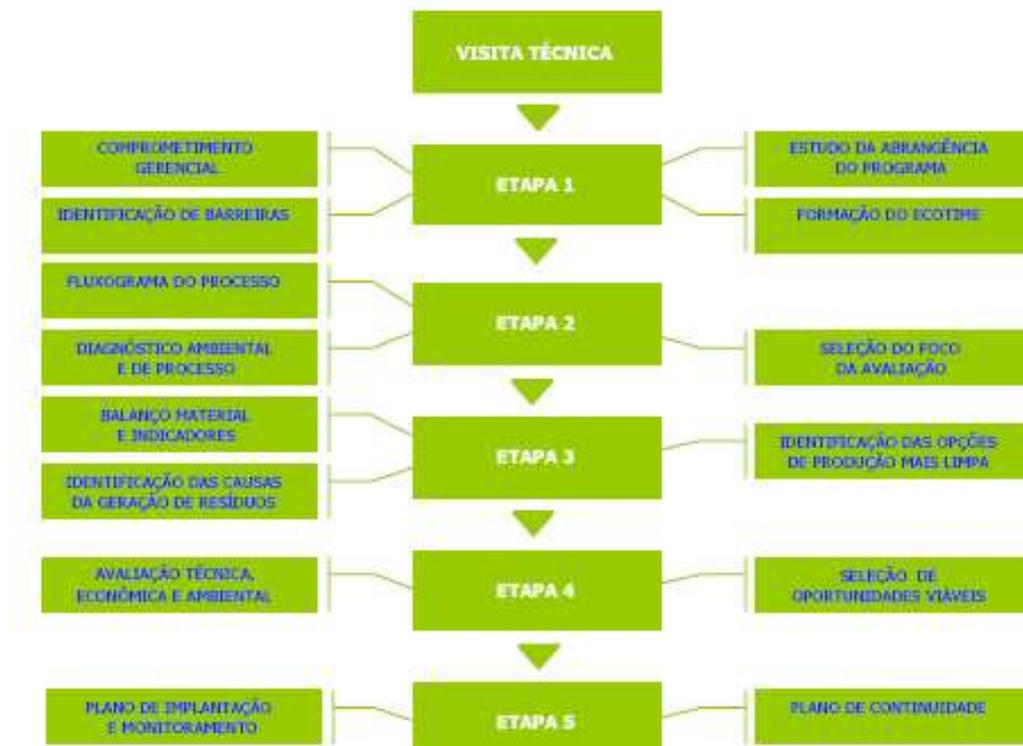


**Figura 2:** fluxograma dos níveis de ações das PmaisL

Fonte: CNTL, 2000

Com o estabelecimento das prioridades em mãos, identificam-se os principais pontos a serem estudados e, conseqüentemente, modificados ou eliminados com a ajuda da técnica. A entidade citada previamente disponibiliza manuais para a implantação do conceito. Basicamente o manual divide o procedimento em cinco etapas mostradas a seguir. A figura 3 simplifica o que foi dito através de um fluxograma.

- \* Etapa 1: Formação do ecotime;
- \* Etapa 2: Estudo do fluxograma do processo, realização do diagnóstico ambiental e do processo, seleção do foco da avaliação;
- \* Etapa 3: elaboração do balanço material e estabelecimento de indicadores; identificação das causas da geração de resíduos, identificação de opções de Produção Mais Limpa;
- \* Etapa 4: Avaliação técnica, ambiental e econômica, seleção de oportunidades viáveis;
- \* Etapa 5: Plano de implantação e monitoramento. (CNTL, 2000).



**Figura 3:** passos sugeridos para implantação da PmaisL em uma indústria

Fonte: CNTL, 2000

## 4. FECULARIAS

### 4.1 A MANDIOCA

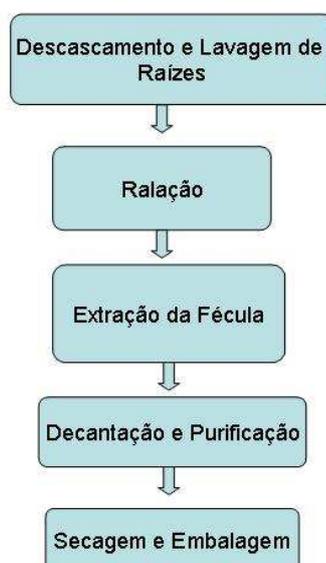
Define-se mandioca (*Manihot esculenta*, Crantz) como um arbusto perene constituído de folhas, ramas e raízes. Por possuir uma grande capacidade de adaptação ao meio onde vivem, a mandioca se destaca entre outras plantas cultivadas. Pode ser utilizada tanto na alimentação animal como na humana, com diversos usos industriais. As suas folhas, ramas e raízes encontram diversos empregos. As raízes, que são as matérias-primas das fecularias, fornecem o amido (principal substância de reserva das plantas), este utilizado em vários processos nas indústrias. No País, a mandioca é cultivada em diferentes lugares, recebendo muitos nomes populares.

A fécula consiste de um produto amiláceo extraído de tubérculos, raízes e rizomas de plantas, ou seja, dos órgãos que crescem em baixo da terra. A raiz da mandioca é o tubérculo que provém a fécula, sendo que o mesmo é obtido através de empresas denominadas fecularias.

### 4.2 AS INDÚSTRIAS DE FÉCULA

Fecularias são indústrias que fazem a extração do amido. A maior parte da produção concentra-se nos estados do sul, principalmente no estado do Paraná, que corresponde com mais da metade da produção regional.

Cereda (2002) diz que 800.000 toneladas de resíduos anuais são geradas na região sul, com ou sem tratamento. O autores relatam também que o potencial de poluição produzido por cada tonelada de matéria-prima processada equivale ao índice de poluição urbana de 150 a 250 habitantes/dia, isso para uma empresa de porte médio. Valores de 15 a 40 milhões de metros cúbicos de água são utilizados anualmente para lavagem das raízes, o que produz 40 mil toneladas de DBO ( DBO de 11.484 mg/L). Isso corresponderia a uma carga de poluição, em um dia, de uma cidade de 2 milhões de pessoas.. Resumidamente, as indústrias em questão possuem o fluxograma mostrado na figura 4.



**Figura 4:** fluxograma de feccularias

#### 4.3 FORMAS DE POLUIÇÃO, RESÍDUOS E SUBPRODUTOS

As principais formas de poluição de indústrias de fécula advêm dos processos em que envolvem um meio líquido. Não obstante o que foi dito, resíduos de consistência sólida também surgem. Vendo pelo ponto de vista qualitativo, o descarte líquido de tais indústrias mostra-se como altamente poluidor, haja vista a alta carga orgânica e potencial tóxico devido à presença de ácido cianídrico. Um exemplo de poluição é a manipueira, que é a água de constituição da raiz. A literatura diz que “a agressão da manipueira ao meio ambiente está relacionada ao poder de poluição conferido pelo teor de carboidratos ainda presente na manipueira em função do processamento empregado e também à toxicidade conferida pela presença de linamarina, glicosídeo encontrado em todas as partes da matéria-prima” (CEREDA, 2002)

Os resíduos sólidos encontrados no processamento do amiláceo constituem-se em cascas, cepas, bagaço e a crueira. As cascas são carreadas no processo de lavagem e descascamento. A cepa é proveniente do descarte durante o processo que faz a seleção de raízes após descasque e lavagem. O bagaço constitui-se no resíduo do processo da obtenção da fécula; a crueira, por pedaços de raízes e entrecasca, separados por peneiras.

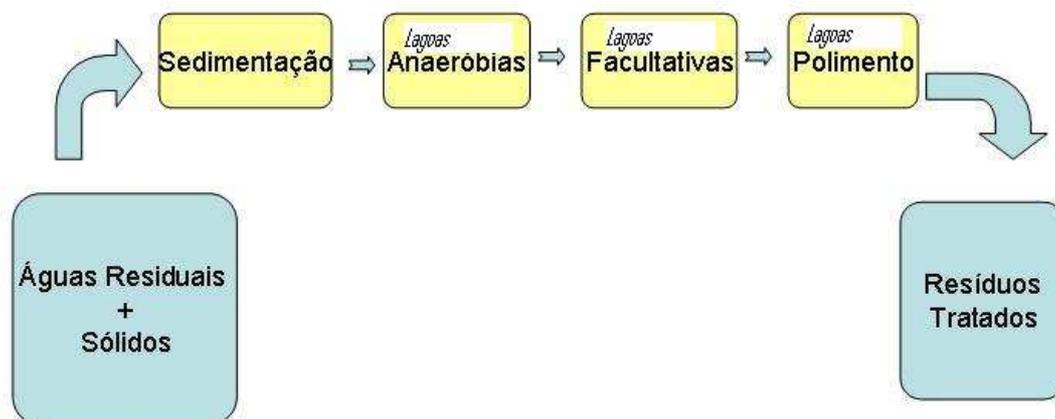
Já os resíduos líquidos são: água de lavagem das raízes obtida logo no começo do processo, (manipueira) e a água de extração da fécula. A água de lavagem vem dos lavadores-descascadores, que leva terra e casca. Prensando-se a massa ralada,

consegue-se a manipueira. Juntado-se a água captada pela indústria com a manipueira forma-se a água de extração da fécula, portanto uma diluição da água de constituição da raiz.

#### 4.4 TRATAMENTOS CONVENCIONAIS DE EFLUENTES

No processo de industrialização da mandioca, a fim de se obter fécula, geram-se vários tipos de resíduos. O destaque fica para a manipueira líquida, que é resultado do processo de extração e purificação da fécula. As águas residuárias de fecularias constituem-se de um grande problema para as empresas. Obviamente, por seu caráter altamente poluidor (como elevadas concentrações de DQO e DBO), o tratamento das águas residuárias é extremamente importante.

A forma de que as fecularias abordam o assunto é muito similar entre elas. Uma observação feita em literaturas especializadas foi resumida e demonstrada na figura 5. “Poucos são os trabalhos de pesquisas disponíveis e as aplicações em indústrias; recentes” (CEREDA, 2001). Pontello (2005) afirma que a digestão anaeróbia se apresenta como uma opção interessante para o tratamento das águas residuárias. Eles oferecem grande potencial para esse tratamento. Ainda de acordo o autor, simplicidade do projeto, o uso de equipamento, instalações simples, baixo custo de energia e alto eficiência de tratamento são os requisitos preenchidos por tal alternativa.



**Figura 5:** forma simplificada da abordagem das fecularias com relação às águas residuárias

Parizotto (1999) fala que se encontram dois sistemas de tratamento de resíduos líquidos de fecularias: sistema convencional e sistema simplificado. A comprovação da eficiência do sistema simplificado tem o seu uso em maior escala. Sendo assim, houve uma simplificação do processo, reduzindo os dispositivos de tratamento e diminuição do custo global do sistema (PARIZOTTO, 1999 apud CEREDA, 2001).

Vê-se essa divisão claramente no oeste do Paraná, onde existe uma inúmera quantidade de indústrias de extração de amido. Cereda (2001) mostra o seguinte:

O sistema convencional é composto por separador de cascas, decantador primário, caixa ou lagoa de neutralização, lagoas anaeróbias, lagoas de aeração mecânica, lagoas facultativas e, opcionalmente, lagoas de polimento. É um sistema complexo, que necessita de operação cuidadosa e atenção constante. Também demanda elevado consumo de energia no sistema de aeração, elevando consideravelmente seu custo. O sistema simplificado compõe-se de lagoa de sedimentação, lagoas anaeróbias, lagoas facultativas e, opcionalmente, lagoas de polimento. Podem ser observadas variantes deste sistema, que incluem ainda algum componente adicional, como o separador de cascas, mas a separação das cascas não é total, pois seu papel é importante na eficiência do processo.

## 5. ESTUDOS RELACIONANDO FECULARIAS E MEIO AMBIENTE

Apesar de incipiente, alguns estudos já se fazem presentes em literaturas especializadas e disponíveis para quem se interessar pelo assunto fecularias com enfoque no meio ambiente. Ao longo deste capítulo mostrar-se-á algumas pesquisas e seus respectivos autores. Tais documentos terão grande valia para a confecção deste trabalho.

Cereda (2002) realizaram estudos acerca da valorização de resíduos do processamento da mandioca. Afirmam que a manipueira pode ter fins mais nobres do que o simples tratamento ou descarte, podendo-se produzir proteína e óleo celular por procedimentos que utilizam a fermentação.

Pantaroto (2001) estudou o poder de certos microrganismos aeróbios com a habilidade em degradar a linamarina como única fonte de carbono e energia, fazendo assim a destoxificação do efluente. O autor isolou, selecionou, identificou esses microrganismos *in situ*. A destoxificação por microrganismos (bioremediação) faria as águas residuárias das fecularias ter um uso como na fertirrigação.

O tratamento das águas residuárias das fecularias por meio de biodigestores anaeróbios com separação das fases foi o tema de trabalho de Feiden (2001). O tipo de tratamento em questão apresenta-se como uma alternativa às lagoas de estabilização, usualmente empregadas pelas indústrias de amido. O controle sobre o tratamento faria com que se gerasse e se aproveitasse o biogás para diversos fins na indústria.

Pontello (2005) tratou de analisar o desempenho de lagoas anaeróbias quando se tem uma cobertura plástica por sobre a mesma. O simples ato teria a função de controlar a temperatura da lagoa, já que a questão da manutenção de uma faixa de temperatura é relevante para esse tipo de tratamento. O problema afeta principalmente regiões que apresentam temperaturas baixas.

Campos et al (2006) fala que “embora o uso de lagoas de tratamento seja uma tecnologia amplamente conhecida e utilizada para resíduos orgânicos, no caso específico dos resíduos líquidos da industrialização da mandioca, as experiências são reduzidas”. O trabalho consistiu em avaliar a redução da carga poluidora de fecularias por meio de lagoas de estabilização, método esse largamente empregado.

Levando-se ainda em consideração o tema, existem pesquisas sobre a possibilidade do uso da manipueira para a obtenção de ácido cítrico (CEREDA, 2001). O ácido cítrico possui grande importância comercial. O emprego da manipueira se mostra como um substrato potencial para a produção deste, já que é um produto de alto valor agregado. Estudos mais profundos ainda devem ser feitos para se ter a viabilidade técnica e econômica do processo (CEREDA, 2001).

Em seu trabalho, Cereda (2001) cita diversos autores de pesquisas que estudaram o uso da manipueira como defensor agrícola (inseticida, acaricida, fungicida). Assim como os trabalhos em geral, aprofundamentos e maiores detalhamentos e experimentações são necessários.

Como dito no começo do tópico, os trabalhos referente ao assunto ligando fecularia e meio ambiente estão apenas no início. Paulatinamente, elas começaram a crescer e mais pesquisadores interessam-se pelo assunto. O aumento do interesse e os esforços voltados para tal, facilitam e incentivam a implantação da PmaisL nas indústrias, principalmente em fecularias.

## 6. METODOLOGIA

### 6.1. CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DE ESTUDO

O local de trabalho foi a empresa Inquil - Indústria de Amidos Especiais LTDA, situada na cidade de Treze de Maio, na rodovia SC 441- Km 6, sul de Santa Catarina. A Inquil possui uma preocupação constante com o tratamento de seus efluentes e resíduos gerados na produção. Situada às margens do Rio Perdoná, necessita adequar suas águas residuárias a fim de que se possa fazer o descarte no mesmo sem que haja infrações às leis e agressões ao rio. Dentre os itens citados em sua missão, diz que deve atuar de forma rentável, contudo respeitando o meio ambiente. A indústria também demonstra a preocupação ambiental em sua política de qualidade. Um item visado no sistema de gestão de qualidade é de preservar o meio ambiente. A Inquil possui o certificado ISO 9001:2000, mas ainda não tem o certificado ISO14001:2000.

### 6.2 PROCESSO DE EXTRAÇÃO DA FÉCULA NA INQUIL

A raiz da mandioca, vinda através de caminhões, é despejada em silos. A raiz é espalhada nos silos com ajuda de máquinas devidamente posicionadas. As figuras 6 e 7 mostram a máquina e o silo, respectivamente. Do silo, a mandioca segue para um compartimento com água para a lavagem das raízes e para o processo de descascagem, seguido por uma esteira. Neste ponto tem-se já um descarte de líquido, o qual será debatido no trabalho. Uma quantia dessa água é recirculada para o mesmo fim. O ponto de saída é demonstrado na figura 8.

A raiz da mandioca, já descascada, segue para uma unidade chamada de dosadora ou quebradora. Nesta etapa, a raiz é picotada em um recipiente metálico e “dosada” para uma outra unidade chamada de desintegrador e, na sequência, parte para as peneiras cônicas rotativas, conhecidas também pela sigla G.L. É no G.L. que há a separação do amido e da polpa. Neste ponto ocorre a geração de resíduos, os quais possuem um caminho diferenciado a fim de que se possa utilizá-lo posteriormente. Parte segue para um processo de reaproveitamento diferenciado e parte segue para o desintegrador como forma de economia de água, já que lá é um ponto de entrada da mesma.

Após passagem pelos G.L., o produto segue para unidades denominadas de concentradoras. Elas são constituídas de duas centrífugas, do tipo ciclone (1º e 2º centrífugas). Encontram-se, aqui, mais um ponto de descarte de líquidos a ser comentado mais à frente no trabalho. Neste ponto há uma calha Parshall para medida de vazão. Antes de o efluente seguir para o tratamento, ocorre uma entrada do líquido nos desintegradores, também como forma de poupar água industrial. Após

passagem pela calha Parshall, a água residuária segue direto para o tratamento. O final da etapa de extração da mandioca é feita no filtro. Nesse ponto tenta-se aumentar a concentração de amido e reduzir ainda mais a quantidade de água. Passando por todas essas etapas, o produto final segue para fornos, onde é feita a secagem, para depois serem embalas e usadas como matéria-prima. Na seqüência do trabalho pode-se ver as figuras 09, 10 e 11, que correspondem à centrífuga, aos filtros rotativos e ao dosador e desintegrador, respectivamente.



**Figura 6:** máquina



**Figura 7:** silo



**Figura 8:** ponto de saída de água residuária



**Figura 9:** centrífuga



**Figura 10:** filtros rotativos



**Figura 11:** dosador e desintegrador

A empresa se preocupa com o aproveitamento máximo dos resíduos. Para isso, antes de encaminhar o efluente para o tratamento, o líquido é enviado para máquinas que tentam extrair a parte sólida que resta. O que é conseguido extrair vende-se como adubo orgânico.

### 6.3 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE INDUSTRIAL – DESCRIÇÃO DO SISTEMA

Basicamente, os efluentes líquidos gerados na produção provêm da lavagem das raízes e da extração da fécula nas centrífugas. A água de lavagem das raízes passa por tanques de separação de areia e é bombeada para misturar-se com os efluentes líquidos das centrífugas. Existe um efluente líquido resultante da água de refrigeração das máquinas, gerado no Buhler e na prensa de resíduos, que é encaminhado para a tubulação de sucção da bomba de alimentação, juntando-se aos demais efluentes a serem tratados.

Todos os líquidos citados anteriormente são direcionados ao reservatório de efluentes líquidos que também recebe água pluvial, a água de córregos e açudes e a água proveniente das caixas separadoras de areia. Do reservatório de efluentes líquidos, os efluentes são direcionados a uma vazão de aproximadamente 40m<sup>3</sup>/hora, por gravidade e através de uma tubulação de 200mm de diâmetro, até a lagoa anaeróbia (lagoa 1), com volume de 40.195,55 m<sup>3</sup>. Sua área é de 7750 m<sup>2</sup>, com profundidade de 4m e tempo de detenção de 8 a 10h.

Da lagoa 1, os efluentes passam para a lagoa 2 aerada, com volume de 11.601,42m<sup>3</sup>, sendo que nestas lagoas é feita a inoculação de um caldo de microorganismos para auxiliar nos processos de estabilização da matéria orgânica. Da lagoa 2, os efluentes líquidos são coletados por uma bomba centrífuga e dirigidos até um tanque de decantação, que funciona como tanque intermediário, sem tempo de residência para a decantação. Deste tanque, os efluentes eram mandados por uma tubulação de 200mm de diâmetro até o tanque de neutralização, onde era adicionada uma solução de cal para ajuste do ph. Hoje a Inquil faz o ajuste do pH no começo do tratamento, então esta etapa é descartada e o efluente segue da lagoa 2 para a lagoa 3.

Após a lagoa aerada, os efluentes líquidos são enviados para a lagoa 3, com um volume de 857,285 m<sup>3</sup>, onde sofrem um processo de estabilização final e são lançados no rio Perdoná. A figura 12 mostra uma vista das lagoas.



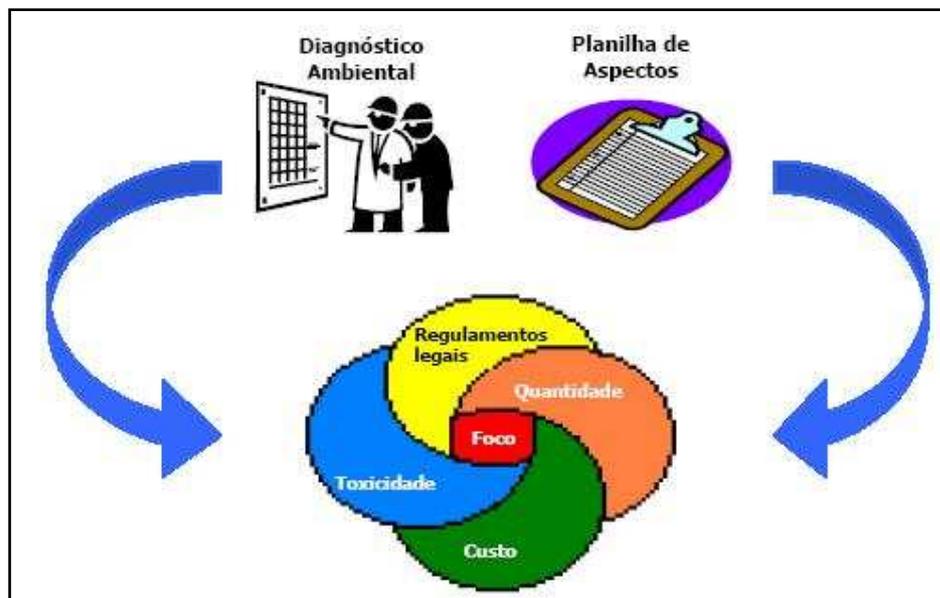
**Figura 12:** lagoas de estabilização

## 6.5 DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA

O primeiro passo para a realização do trabalho constou de uma visita técnica à indústria. Após isso, o presente trabalho seguirá o manual de implantação da técnica de PmaisL do Centro Nacional de Tecnologias Limpas. Apesar de o documento conter 5 etapas, não se seguirá estritamente tudo o que o manual pede. O motivo diz respeito ao caráter deste trabalho de conclusão de curso. A saber, a etapa n° 1 e n° 5 não serão efetuadas, que é a formação do ecotime e plano de implantação e monitoramento. Os procedimentos das etapas serão descritas a seguir.

\* **Etapa 1: Formação do ecotime:** não será realizada;

\* **Etapa 2: Estudo do fluxograma do processo:** elaboração do fluxograma da produção para ver e definir qualitativamente a entrada de matéria-prima, água e energia no processo, tão bem quanto a geração de resíduos. Quantitativamente usar-se-á os instrumentos citados no item 6.3 do presente trabalho. **Realização do diagnóstico ambiental e do processo:** com o fluxograma em mãos e os instrumentos de coleta de dados, faz-se um fluxograma quantitativo da entrada e saída matéria-prima, água, energia e resíduos. No diagnóstico é feita uma planilha onde basicamente deve conter a quantidade e custos dos itens citados anteriormente. Em seguida, faz-se uma planilha de aspectos e impactos ambientais, onde devem constar pelo menos alguns itens. São eles: etapa, aspectos, impactos (recursos, contaminação, incômodo), probabilidade, importância, requisitos legais, priorização e medidas de controle. **Seleção do foco da avaliação:** seleciona-se o foco considerando regulamentos legais, a quantidade de resíduos gerados, a toxicidade dos resíduos e os custos envolvidos. A figura 13 ilustra bem o que foi dito.



**Figura 13:** as prioridades para o foco da seleção da avaliação

Fonte: CNTL, 2000

\* **Etapa 3: elaboração do balanço material e estabelecimento de indicadores:** análise de quantidade de material que entra e que sai dos processos identificados anteriormente. Neste momento se estabelece os indicadores para comparações entre o processo produtivo atual e o processo produtivo modificado. Eles podem variar de empresa para empresa e do interesse acerca da PmaisL. Obrigatoriamente deve conter o volume de líquido utilizado e gerado por toneladas de mandioca processada. A maioria das literaturas cita tal indicador. **Identificação de opções de Produção Mais Limpa:** identificar as opções de PmaisL priorizando o nível 1 ilustrado na figura 2, ou seja, a redução na fonte. A redução na fonte implica em modificação no produto e no processo.

\* **Etapa 4: Avaliação técnica, ambiental e econômica:** este momento é dividido em 3 partes distintas (técnica, ambiental e econômica). Na avaliação técnica consideram-se impactos de medidas, experiências de outras empresas e treinamento adicional de técnicos. Na avaliação ambiental deve-se considerar redução na utilização de recursos naturais e quantidade e qualidade dos resíduos e outros tipos de emissões. A economia da empresa, os custos operacionais e investimentos necessários fazem parte da avaliação econômica. **Seleção de oportunidades viáveis:** os resultados das avaliações anteriores irão orientar as seleção de oportunidades viáveis e de acordo com critérios pré-estabelecidos.

\* **Etapa 5: Plano de implantação e monitoramento:** não serão realizados.

### 6.3. INSTRUMENTO DE COLETA DE DADOS

Neste trabalho foram seguidas as recomendações de Bello (2005). Escolheram-se os seguintes instrumentos a fim de obtenção de dados: entrevista, observação e análise de conteúdo.

#### 6.3.1 Entrevista

A entrevista conterá tópicos importantes relativos à empresa e aos empregados, principalmente engenheiros sanitaristas, engenheiros químicos e químicos envolvidos com o tratamento e descarte dos resíduos sólidos e líquidos. Quer-se saber a função de cada etapa da produção, espécie de produtos químicos utilizados, subprodutos gerados, modos de tratamento e destinos finais. A entrevista possui o caráter de coleta de informações.

#### 6.3.2 Observação

Antes de qualquer tipo de observação, faz-se um levantamento do que se poderia encontrar para se ter uma noção do que se verá. Depois, examina-se o local para ver o que realmente merece ser registrado. Com um planejamento do que é relevante anota-se, registra-se com máquinas fotográficas e anotações em blocos próprios para tal, toda e qualquer geração e tratamento de efluente.

#### 6.3.3 Análise de conteúdo

Serão feitas análises documentais da empresa referente à registro de dados qualitativos e quantitativos do sistema de produção e do tratamento dos resíduos sólidos e águas residuárias. Caso seja possível, analisar a plantas dos projetos das unidades de produção e tratamento, preposições consideradas relevantes nas mesmas e critérios de projetos. Basicamente, os conteúdos analisados serão fontes primárias, ou seja, são documentos que gerarão análises para posterior confecção de informações (BELLO, 2005).

## 7. RESULTADOS

### 7.1 CONHECIMENTOS DO FUNCIONAMENTO DA EMPRESA

O conhecimento da empresa foi realizado através de uma visita técnica no local. A visita à empresa Inquil foi realizada no dia 18 de março de 2008, das 8:30 h até às 11:00h. A apresentação da mesma ficou a cargo do engenheiro químico Cléber. Esta visita se deu em um período de entressafra, já que os processos de produção da fécula começam em meados de abril (algo entre os dias 15 e 28), ficando em operação por um tempo de 3 a 4 meses, variando com a safra da mandioca. Programou-se, pelo eng. Cléber, a seguinte seqüência: apresentação da empresa, entrevista e análise de documentos de interesse ao TCC. Essa etapa do trabalho apresentou-se muito importante, já que aqui neste ponto é que se fez uso dos instrumentos propostos no item 6.3 do presente TCC, visando obter informações para alcançar os objetivos propostos.

Na apresentação da indústria foram mostradas todas as etapas de obtenção da fécula da mandioca, tão bem quanto os procedimentos para o tratamento dos efluentes e reaproveitamento dos resíduos. Além da parte da fecularia, o engenheiro mostrou a parte da indústria que faz a modificação especial da fécula, porém não foi possível fazer nenhum tipo de registro. Esta parte da visita foi breve e somente a título de curiosidade.

A Inquil é uma empresa que usa a fécula como matéria-prima, pois sua principal atividade é o beneficiamento e industrialização dos produtos derivados do amido da tuberosa amilácea. Caso a matéria-prima fosse comprada, sairia muito mais caro e extremamente desvantajoso. Há algum tempo ela também vendia a fécula, porém hoje o material serve somente para uso próprio. Isso ficou evidente quando, na visita, observaram-se diversas máquinas não operando. O que foi visto *in loco* será descrito no decorrer do seguinte tópico do trabalho.

## 7.2 PRINCIPAIS PROBLEMAS ENCONTRADOS ATUALMENTE NA EMPRESA

A Inquil apresenta diversos problemas com relação aos parâmetros de descarte dos efluentes. Apesar de o sistema apresentar-se eficaz, ainda requer melhorias em função da elevada DBO, eficiência do sistema para operações em longas jornadas (mais de 6 meses, por exemplo), odores indesejáveis e elevada turbidez. Além disso, podem-se citar procedimentos inapropriados ao longo da cadeia produtiva.

## 7.3 APLICAÇÃO DO MANUAL DE PRODUÇÃO MAIS LIMPA

Como discutido no item referente à metodologia, o trabalho seguirá o Manual de Implantação da PmaisL do Centro Nacional de Tecnologias Limpas. Nele,

encontram-se as cinco etapas referentes à implantação da metodologia em uma indústria. As etapas 1 e 5, como já mencionado, não serão realizadas. Com a realização das etapas 2, 3 e 4, conseguir-se-á alcançar o objetivo proposto do trabalho, que é levantar oportunidades de implantação da técnica em uma indústria de fécula.

### 7.3.1 Estudo do fluxograma do processo

A etapa 2 do manual em questão, diz respeito inicialmente à elaboração do fluxograma da produção, tão bem quanto distribuição dos efluentes industriais. Eles se encontram nas plantas em anexo ao trabalho. Neles, pode-se ver como é qualitativamente o caminho percorrido pela água de recirculação, água industrial e pluvial, pontos de geração e caminho de efluentes dos mais diversos tipos, pontos de distribuição de água potável e industrial, dentre outros. Necessita-se agora quantificar as entradas e saídas do processo. Tais dados serão extraídos de documentos e estudos que a empresa possui.

### 7.3.2 Realização do diagnóstico ambiental e de processo

Com o fluxograma em mãos, fez-se um levantamento de dados quantitativos. As plantas em anexo mostram praticamente a empresa inteira, porém, aqui nesta parte do trabalho, o mais importante é ilustrar a parte correspondente somente à fecularia em si. Além de o trabalho ser direcionado para fecularias, os efluentes mais impactantes, tanto qualitativamente e quantitativamente, são advindos da extração da fécula (no caso da Inquil). Pode-se, neste ponto do trabalho, realizar um diagnóstico ambiental (tabelas 1 e 3) e confecção de uma planilha dos principais aspectos ambientais (tabela 2). O que foi citado pode ser visto a seguir na figura 14. Todos os dados correspondem ao período de safra da mandioca.

**Tabela 1:** tabela de entradas para diagnóstico ambiental

Tabela de Matérias-Primas, Insumos e Auxiliares		
	Quantidade	Custo
<b>Matérias-Primas</b>	60 ton/h	0,50 R\$/ton
<b>Água</b>	69,8 m³/h	0
<b>Energia</b>	75.846,23 KWh	2.618,77 R\$/ mês
<b>Auxiliares</b>	660 m³/mês (lenha como combustível)	79200 (R\$/ mês)

Fonte: Inquil

**Tabela 2:** planilha de aspectos ambientais

Planilha de aspectos ambientais										
etapa	aspectos	impactos							total	
		Abrangencia	contaminação	incômodo	probabilidade	importância	requisito legal	priorização	Medidas de controle	
1	água residual com quantidade significativa de sólidos totais	3	2	2	3	3	1	1	Tratamentos biológicos (com possível complemento com tratamento físico-químico)	15
2	ruídos	1	0	2	2	1	1	0	isolamento ac.	7
3	ruídos	1	0	2	2	1	1	0	isolamento ac.	7
4	água residual com teor de impurezas	1	0	0	3	2	1	0	circuito da água diferenciado	7
5	água residual com elevada DBO, turbidez, sólidos totais, toxicidade, dentre outros	3	3	3	3	3	1	1	Tratamentos biológicos (com possível complemento com tratamento físico-químico)	17
6	inexistente	0	0	0	0	0	0	0	não necessário	0
7	emissões de vapores	2	0	1	3	0		0	não necessário, já que o impacto é apenas visual	
8	inexistente	0	0	0	0	0	0	0	não necessário	0
9	inexistente	0	0	0	0	0	0	0	não necessário	0

Critérios adotados:

→ Abrangência: restrita ao interior da empresa, 1 ponto; local, 2 pontos; regional, 3 pontos; global, 4 pontos.

→ Contaminação: inexistente, 0 pontos ; baixa, 1 ponto; média, 2 pontos ; alta, 3 pontos.

→ Incomodo: inexistente, 0 pontos ; baixo, 1 ponto; médio, 2 pontos ; alto, 3 pontos.

→ Probabilidade: inexistente, 0 pontos ; baixa, 1 ponto; média, 2 pontos; alta, 3 pontos.

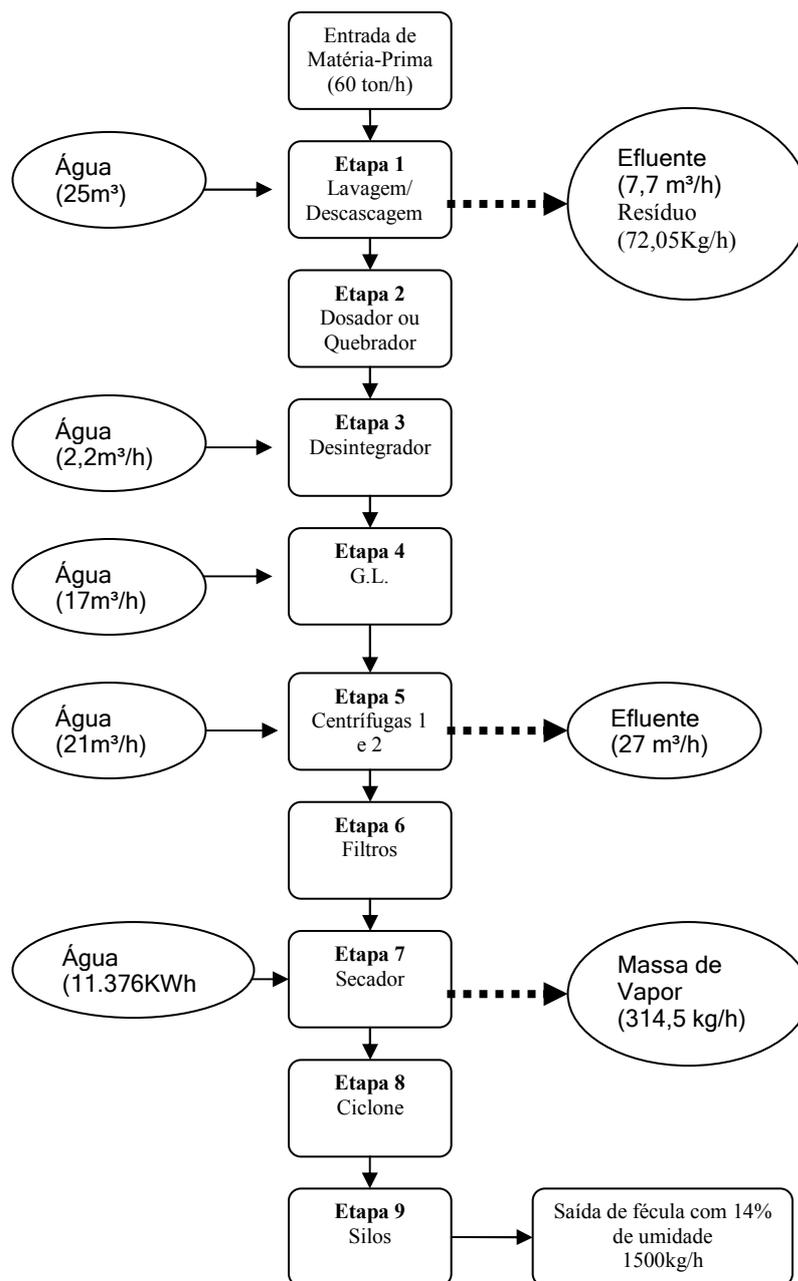
→ Importância: sem importância, 0 pontos; pouco importante, 1 ponto; importante, 2 pontos; muito importante, 3 pontos.

- Requisito legal: inexistente, 0 pontos; existente, 1 ponto.
- Priorização: é prioridade, 1 ponto; não é prioridade, 0 pontos.

**Tabela 3:** tabela de saídas para diagnóstico ambiental

<b>Tabela de Subprodutos, resíduos, efluentes, e emissões</b>		
	<b>Quantidade</b>	<b>Custo</b>
<b>Subprodutos</b>	60 ton/mês	0
<b>Resíduos</b>	72,05 kg/h	280 R\$/mês
<b>Efluentes</b>	40 m <sup>3</sup> /h	0,30 R\$/m <sup>3</sup>
<b>Emissões</b>	314,5 kg/h	0

Fonte: Inquil



**Figura 14:** Fluxograma qualitativo da fecularia

Com as informações do diagnóstico ambiental e da planilha dos principais aspectos ambientais, escolheu-se como foco a atividade relacionada com a etapa 5.

### 7.3.3 Seleção do foco de avaliação

Com as informações do diagnóstico ambiental e da planilha dos aspectos ambientais mais relevantes, escolhe-se um foco para o estudo. Dentre as atividades e operações da empresa, teve-se como escolha o ponto de saída de efluente no final do processo (efluentes provenientes das centrifugas). Tal escolha ocorreu levando-se em

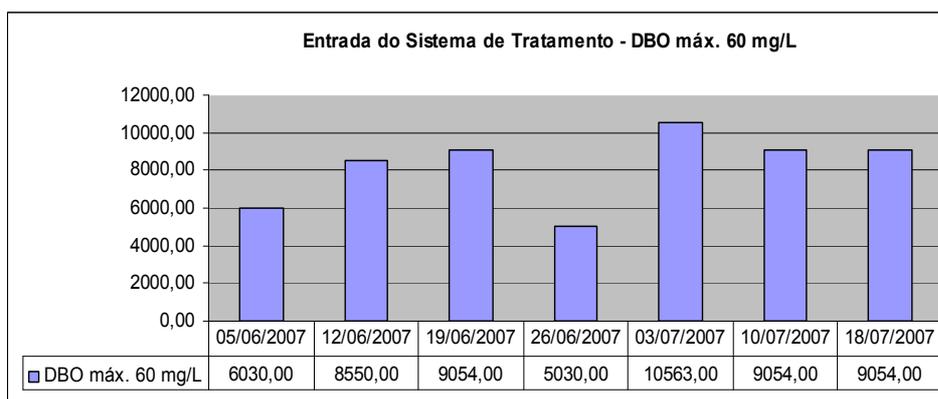
conta os aspectos legais vigentes, a toxicidade do resíduo, a quantidade significativa do mesmo e os custos que estão envolvidos nas etapas seguintes do tratamento dos efluentes.

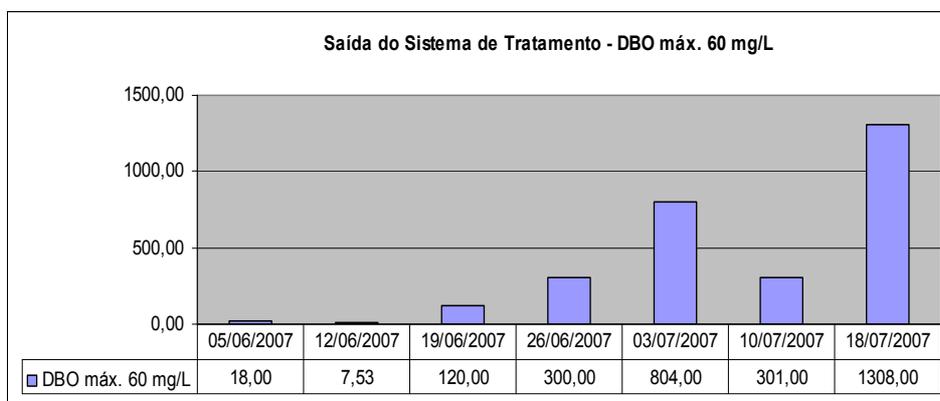
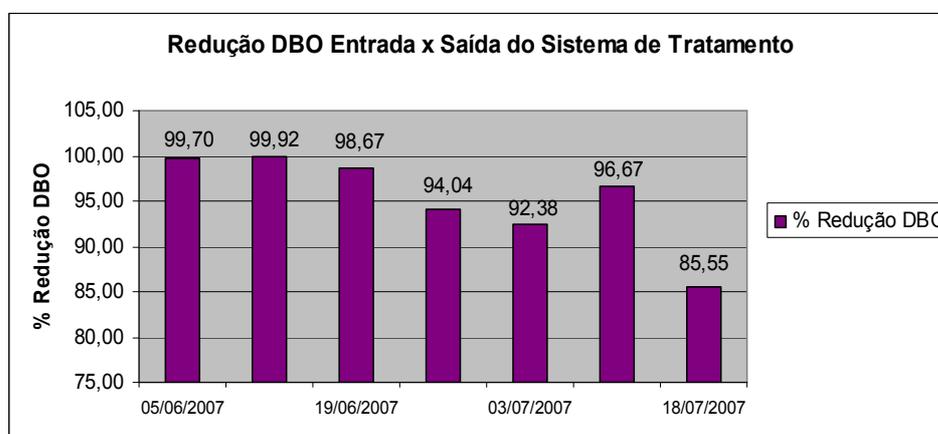
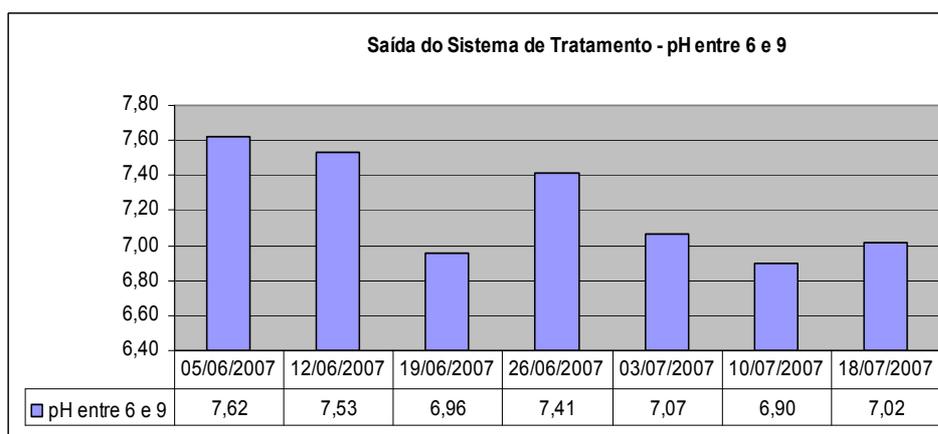
O efluente em questão possui características bastantes peculiares, principalmente no que diz respeito à demanda bioquímica de oxigênio (DBO). O aspecto legal que a empresa deve respeitar é o decreto estadual nº 14.250/1981. Ela diz, dentre outros, que a DBO5 do efluente, no ponto de lançamento, deve ser no máximo de 60 mg/L. O limite pode ser ultrapassado caso o sistema consiga reduzir a carga orgânica em 80%, a uma temperatura padrão de 20°C.

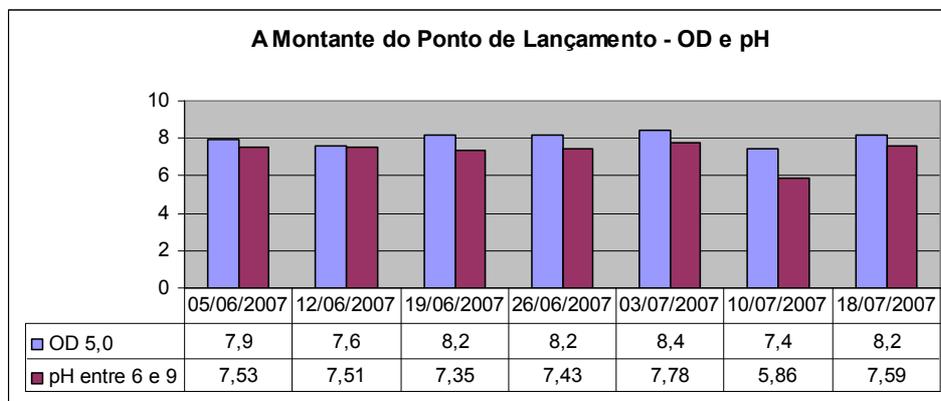
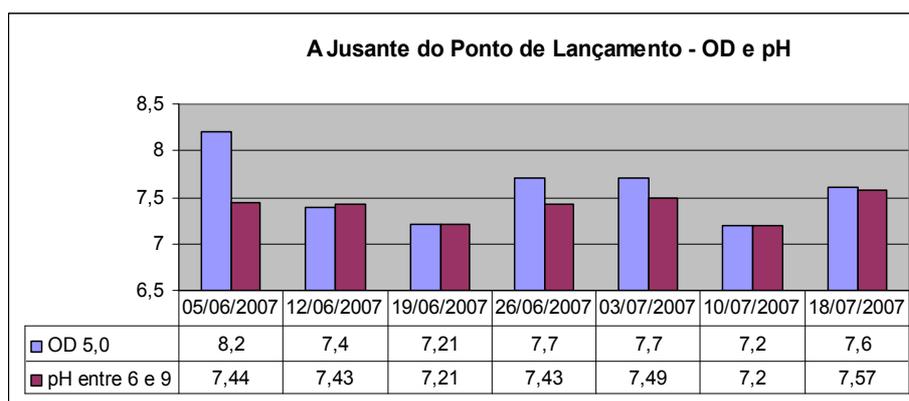
A elevadíssima carga orgânica desse tipo de efluente constitui em um dos principais problemas das fecularias. Obviamente, A Inquil depara-se também com tal problemática. No caso da empresa, ela consegue reduzir, com seu sistema de tratamento, em mais de 80 % da carga orgânica, porém fica longe de se obter um resíduo com 60 mg/L. Atualmente o tratamento da empresa reduz em 88% o item em questão. O que ajuda a contribuir com a redução da poluição são as características do rio Perdoná, onde ocorre o lançamento. PH's ácidos (média de pH 4 e elevadas DQO) também podem ser citados. Alguns dados, colhidos ao longo do período de 2007, que foi a última safra, encontram-se nas tabelas 4, 5, 6, 7, 8 e 9 a seguir. O decreto ainda diz que o efluente, quando lançado, dever ter:

- pH entre 6 e 9;
- Sólidos sedimentáveis em até 1,0 mg/L;
- Temperatura inferior à 40°C.

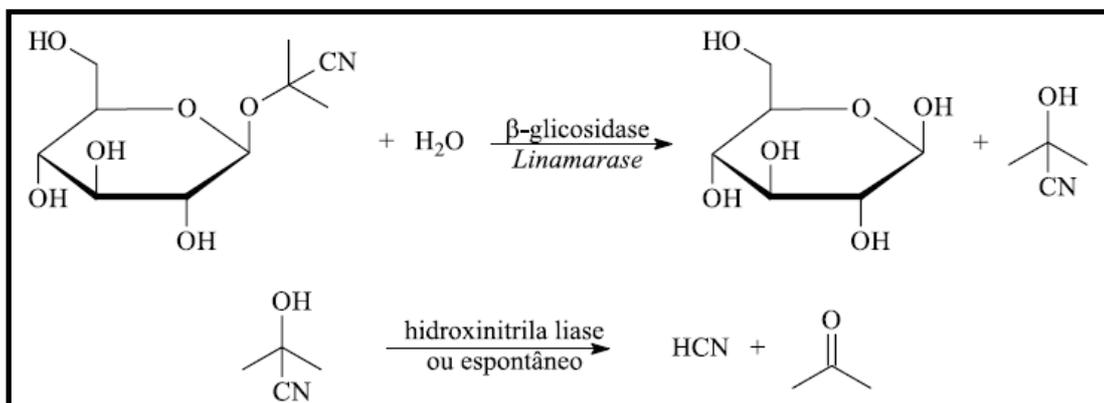
**Tabela 4:** entrada do sistema de tratamento



**Tabela 5:** saída do sistema de tratamento**Tabela 6:** eficiência do sistema**Tabela 7:** pH de saída do sistema

**Tabela 8:** OD e pH no ponto de monitoramento à montante do lançamento**Tabela 9:** OD e pH no ponto de monitoramento à jusante do lançamento

As raízes da mandioca possuem, como um todo, glicosídeos cianogênicos potencialmente tóxicos, como a linamarina e lotaustralina, presentes na proporção de 96 e 4%, respectivamente (Cereda, 2001). Quando o tecido é dilacerado, a linamarina é hidrolizada enzimaticamente por  $\beta$ -glicosidases, das quais destacam-se a linamarase, enzima autóctone que se encontra separada dos glicosídeos quando o tecido está intacto. A clivagem dos glicosídeos dá início à cianogênese, havendo a produção de glicose e  $\alpha$ -hidroxinitrila, que se dissociam em pH's menores que 5, formando ácido cianídrico e as cetonas correspondentes. A toxicidade causada pelo cianeto livre sempre é bem reportada, entretanto a toxicidade causada pelo glicosídeo nem sempre é muito debatida.. A cianogênese em mandioca a partir da linamarina é demonstrada na figura 15.



**Figura 15:** cianogênese em mandioca a partir da linamarina

Fonte: CEREDA, 2001

O volume de entrada na lagoa varia entre 35 e 40m<sup>3</sup>/h no período de safra. Deste montante, aproximadamente 25 m<sup>3</sup> (algo em torno de 63%) advém da parte da cadeia produtiva tomada em questão. Isso mostra que ele possui uma quantia volumétrica significativa.

Apesar de o sistema de tratamento de águas residuárias por lagoas de estabilização terem custos de construção, manutenção e operação não tão onerosos, levou-se também em conta esses aspectos. Como em projetos de engenharia sanitária objetiva-se os menores custos e impactos ambientais, achou-se conveniente tratá-los aqui neste trabalho.

Os custos com o tratamento estão discriminados na tabela 10. Os gastos com energia não foram informados. Isso não se apresenta como problema porque serão estudados alguns parâmetros que estão intrinsecamente ligados com o consumo de energia necessária para tratar o efluente.

**Tabela 10:** custos envolvidos no tratamento

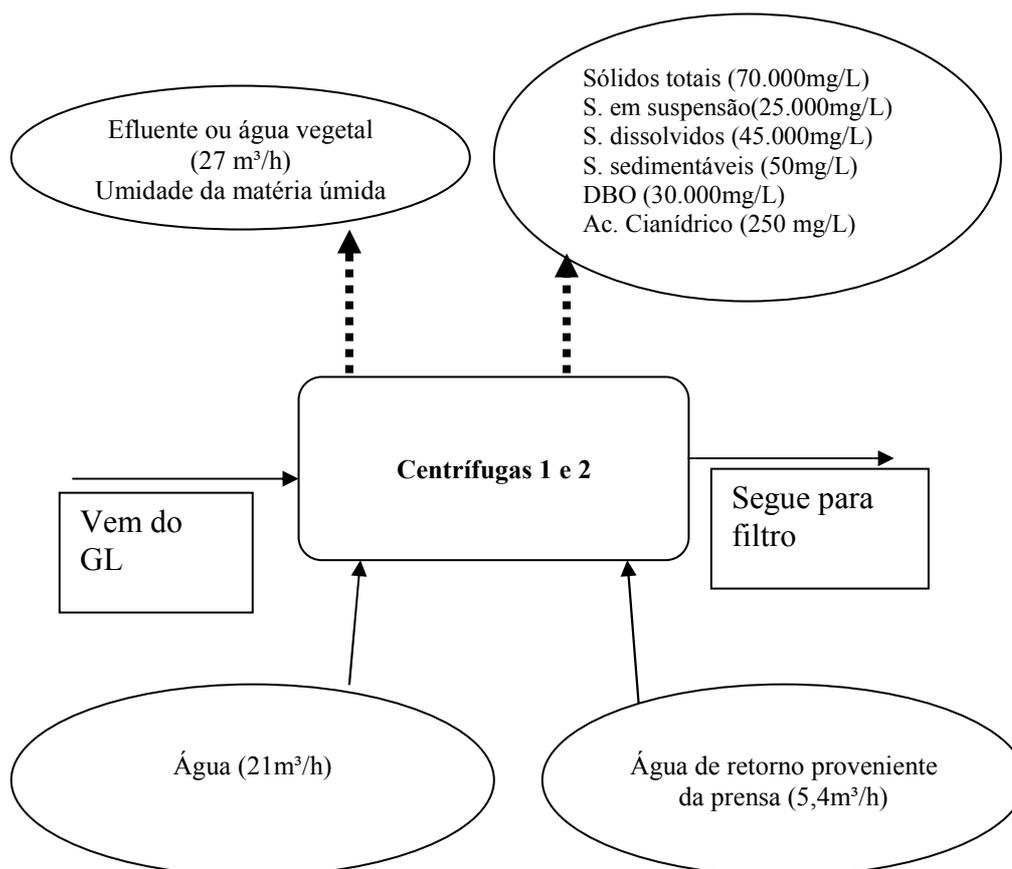
Tabela de custos	
	custo
Análise laboratorial	1.700 R\$/mês
Empregado responsável pelo monitoramento	1500 R\$/mês
Correção de pH	1650 R\$/mês
Microorganismos	1.950 R\$/mês
	Total: 6.800R\$/mês

Fonte: Inquil

#### 7.3.4 Análise quantitativa de entradas e saídas e estabelecimento de indicadores

Nesta etapa do trabalho é feita uma análise mais detalhada do ponto que foi escolhido para estudo. Tal detalhamento encontra-se na figura 16. Neste ponto também ocorre o estabelecimento dos indicadores ambientais, que servem para medir a eficiência da estratégia adotada. Apesar de não ser escopo deste trabalho a aplicação da PmaisL, será mostrado alguns indicadores que teriam importância em feculárias levando-se em conta a simplicidade, disponibilidade de dados e representatividade. São eles:

- Concentração do poluente no corpo hídrico;
- Concentração de substância tóxica na entrada do tratamento/ hora;
- Volume de água residuária gerada/ hora;
- Volume de água residuária gerada/ tonelada de raiz processada;
- Eficiência do tratamento na remoção do poluente residual;
- Quantidade de materiais reutilizados ou reciclados/ tonelada de raiz processada;
- KWh/ tonelada de raiz processada;
- Quantidade de resíduo/ tonelada de raiz processada;
- Custo de tratamento do efluente/ mês;



**Figura 16:** análise quantitativa do processo produtivo

### **7.3.5 Identificação das opções de produção mais limpa**

Como já mencionado no trabalho, deve-se priorizar as opções que privilegiem o nível 1 ao nível 2, assim como o nível 2 ao nível 3. Descartadas as hipóteses de se aplicar opções em níveis 1 e 2, faça-se uso então do nível 3 da PmaisL. Infelizmente, como a preocupação ambiental em fecularias é um assunto muito atual e as pesquisas são incipientes, opções em nível 1 e 2 não foram encontradas quando da realização do levantamento de estudos na área. Entretanto, opções de produção mais limpa em níveis 3 puderam ser encontradas. Elas serão citadas a seguir.

O nível 3 já é relacionado com a reciclagem fora da empresa, ou então a uma reintegração ao ciclo biogênico. Para esse nível, as opções são: uso direto da água residuária em fertirrigação e produção de ácido cítrico.

### **7.3.6 Avaliação técnica, ambiental e econômica**

Para todas as propostas deve-se ter uma avaliação técnica, ambiental e econômica da escolha. Para cada item se considerará vários aspectos. As possíveis opções de PmaisL serão analisados a seguir.

### **7.3.7 Utilização do Efluente em Fertirrigação**

Tecnicamente falando, este tipo de uso do resíduo é bastante viável. Apresenta-se com grandes quantidades de macronutrientes em sua porção líquida. A tabela 11 apresenta a composição química de diferentes origens, onde se observa uma predominância do potássio (K) entre os constituintes minerais desse resíduo. Já a tabela 12 mostra os nutrientes encontrados nas raízes.. Portanto, pode-se depreender que o resíduo apresenta-se como um material não esgotado, podendo ser utilizado como fertilizante, de forma a aproveitar e reciclar os nutrientes no solo, evitando, assim, o despejo nos cursos d'água.

A medida não apresenta nenhum impacto sobre o processo, visto que o resíduo não participará mais do processo (sistema de tratamento e despejo) . Muitas instituições realizaram ou estão realizando estudos sobre o assunto, tais como: UNESP (Ilha Solteira), UNESP (Botucatu), UEL, FCA, dentre outros. Já existem aplicações do processo em algumas indústrias. A CETESB já aprovou alguns projetos sem maiores restrições. A medida em questão encontra-se em estudo. Está sendo analisado o impacto sobre a microflora do solo e a salinidade. Não há necessidade de mudanças operacionais e nem de treinamento de pessoal. Basta recolher o efluente e o encaminhar para seu uso.

**Tabela 11:** média dos valores encontrados por vários autores

elemento	Média de vários autores
N (%)	0,15
P (ppm)	225,8
K (meq/L)	51,22
Ca (meq/L)	12,62
Mg (meq/L)	35,38
S (ppm)	137
Fe (ppm)	16,6
Zn (ppm)	3,7
Mn (ppm)	5,65
Cu (ppm)	0,9
Na (ppm)	14
ph	4,03

Fonte: PANTAROTO, 2001

**Tabela 12:** nutrientes das raízes

designação	quantidade de nutrientes exportados pelas raízes					
Produção de raízes	1 tonelada (umidade de 60%)					
Elementos	N	P	K	Ca	Mg	S
Extração (1 tonelada)	2,12 Kg	0,22 Kg	1,71 Kg	0,66 Kg	0,36 Kg	0,09 Kg
Extração (600L)	0,35%	366,67 (ppm)	43846 eq	33000 eq	30000 eq	150 eq
Efluente Líquido	180 litros					
Elementos	N	P	K	Ca	Mg	S
Composição química (180 L)	0,11%	110ppm	13156 eq	9900 eq	9900 eq	45 eq

Em se tratando da parte ambiental, é importante dizer que se reduzirá muito a toxicidade do efluente e da carga orgânica do mesmo restante na indústria, tão bem quanto sua quantidade. Isso acarretará em pontos positivos no que tange o tratamento do efluente. Ele poderá substituir ou reduzir a utilização de outros insumos utilizados para propiciar o cultivo de plantas. O maior empecilho da medida são restrições. São elas:

- \* Para culturas anuais, o resíduo poderá ser aplicado na quantidade limite de 50 m<sup>3</sup>/há, em uma única dose;
- \* Doses maiores que 50m<sup>3</sup>/há devem ser aplicadas respeitando uma antecedência de pelo menos 40 dias do plantio;
- \* Na área destinada à fertirrigação, deve-se aumentar a densidade da sementeira em aproximadamente em 40%.

### 7.3.8 Produção de Ácido Cianídrico

O ácido cítrico se apresenta como um aditivo de grandes potencialidades de uso em indústrias devido a diversos motivos. Sua obtenção é feita através de processos onde o microorganismo (fungo imperfeito *Aspergillus Niger*) faz a biossintetização do ácido em um meio de cultura adequado. Para se ter a biossintese do ácido cítrico através do fungo é resumida nos seguintes aspectos:

- Alta concentração de açúcar;
- Ausência de metais interferentes;
- Balanço adequado entre fosfatos e íons;
- pH ácido.

A análise das características físico-químicas do resíduo das fecularias que, com exceção do teor de manganês, a concentração dos elementos apresenta uma proporcionalidade muito próxima da citada na literatura como adequada para o crescimento do fungo em questão. As características físico-químicas da manipueira estão apresentadas na tabela 13.

A medida, assim como a anterior, não apresenta nenhum impacto sobre o processo, visto que o resíduo também não participará mais do processo (sistema de tratamento e despejo). Existem algumas instituições que fizeram ou fazem estudos sobre o assunto, como: CERAT, UFPR, UNESP (Bauru) dentre outros. Não existem aplicações do processo em indústrias, entretanto já houve avaliações em laboratório. A medida em questão encontra-se em estudo a fim de obter maiores resultados antes da implantação *in loco*. Está sendo analisado a influência do cianeto. Não há necessidade de mudanças operacionais e nem de treinamento de pessoal. Basta recolher o efluente e o encaminhar para seu uso.

A manipueira se mostra como um substrato potencial para a produção de ácido cítrico, produto de elevado valor agregado, sendo necessário maiores estudos para a viabilidade técnico econômica do processo.

**Tabela 13:** características do efluente armazenado em temperatura ambiente

variáveis	tempo de armazenamento (h)			
	0	24	48	72
pH	6.27	4	3.67	3.63
nitrogenio (ppm)	1421	1414	1344	1386
fósforo (ppm)	293	297	283	283
cálcio (ppm)	220	220	210	210
magnésio (ppm)	340	330	350	340
enxofre (ppm)	74	78	74	70
ferro (ppm)	7.6	7.9	5.5	6
zinco (ppm)	3.20	3.30	2.8	2.9
cobre (ppm)	0.9	0.9	0.9	0.9
manganes (ppm)	3.90	3.8	3.5	3.6
potássio (ppm)	2650	2570	2590	2600

Fonte: PANTAROTO, 2001

### 7.3.9 Seleção de oportunidades viáveis

Todas as oportunidades citadas são viáveis, apesar de que suas aplicações ainda são incipientes. Já por ter um embasamento científico mais apurado e um número maior de estudos, a opção de melhor escolha seria a do uso do resíduo líquido para a fertirrigação. Entretanto, qualquer escolha, inclusive de alternativas não demonstradas aqui no estudo trazem benefícios semelhantes para empresa no que diz respeito ao impacto ambiental e à economia da mesma. Isso é devido ao foco escolhido e a maneira como é tratado, que para o trabalho aqui realizado é dar um destino diferente daquele em que o resíduo segue direto para o tratamento no fim da produção.

### 7.4 SIMULAÇÃO DA APLICAÇÃO DA PMAISL

Como não será aplicado este estudo em nenhuma empresa, far-se-à uma simulação do que ocorreria no caso da adoção da Pmaisl em uma fecularia. Os possíveis resultados serão defrontados com os indicadores estabelecidos previamente, mostrando assim uma melhora ou uma piora no sistema.

Com a aplicação do método, e considerando os custos para o tratamento do efluente de 0,30 R\$/m<sup>3</sup>, três turnos de 8h cada, redução de volume de 40m<sup>3</sup>/h para 13 m<sup>3</sup>/h, tem-se que:

$$\text{Volume}_{\text{gerado}}_{\text{mensal}} = 8h \times 3 \times 30\text{dias} \times 13m^3/h = 9360m^3/\text{mês}$$

Então, o gasto mensal é de

$$Gasto\_mensal = 6.240 \times 0,30 = R\$2.308$$

Caso o volume fosse de 40m<sup>3</sup>/h, os gastos seriam de 8.640,00 R\$/mês. Isso corresponde a uma redução de 73,2% nos gastos. Mais expressivo seria se considerasse o período de safra, que corresponde a aproximadamente 4 meses. Gastar-se-ia 9.232 R\$/safra com a PmaisL, enquanto sem a técnica passaria para 34560,00 R\$/safra.

Com a PmaisL, a DBO5 de entrada do sistema de tratamento seria, no máximo, de 1776,96mg/l. Esse número corresponde à DBO de mistura da lavagem/descascagem com os demais efluentes, já que pode considerar a DBO5 e volume das outras fontes de poluição praticamente desprezíveis. No entanto, em um sistema convencional, esse parâmetro varia entre 6.000 e 10.000mg/l, mostrando uma enorme diferença e significativa mudança no tratamento. Além do mais, caso se mantivesse alguns níveis de eficiência (como 98%), a carga orgânica poderia ser reduzida a valores que se enquadrariam dentro do que diz o decreto estadual para o caso, que é de 60mg/l. Os cálculos são demonstrados abaixo:

$$Concentração\_de\_mistura = \frac{7,7 * 3000 + 5,3 * 0}{13} = 1776,92mg/l$$

$$DBO_5\_afluente = (1 - 0,98) * 1776,92 = 35,53mg/l$$

Pode-se fazer uma comparação das unidades de tratamento com e sem a aplicação da PmaisL. A lagoa anaeróbia pode ser tomada como exemplo para demonstrar que as mudanças são eminentes, até porque tal unidade é a de maior área e a mais problemática quanto a diversos aspectos. Os cálculos e comparações encontram-se a seguir.

Parâmetros levados em consideração para os cálculos:

- Taxa de aplicação volumétrica;
- Tempo de detenção;
- Profundidade;
- Geometria (relação comprimento/volume)

A taxa de aplicação é estimada levando em conta a temperatura média dos dias mais frios do ano. Como na cidade de 13 de maio é de 15 °C, encontra-se então:

$$Taxa = 0,02 * 15 - 0,1 = 0,2KgDBO_5 / m^3 * dia$$

O volume requerido pela lagoa é demonstrado abaixo. Considera-se 13m<sup>3</sup>/h, 3 turnos de 8 horas cada, com então 312m<sup>3</sup>/dia. A carga consiste em no que se segue:

$$CARGA = 312m^3/d * 1.776KgDBO_5/m^3 * dia = 552,24KgDBO_5/dia$$

Então, o volume é dado por:

$$V = \frac{L}{L_v} = \frac{552,24}{0,2} = 2.761,2m^3$$

Onde:

L= Carga de DBO total Afluente (KgDBO5/d\*m<sup>3</sup>)

Lv= taxa de aplicação volumétrica

O tempo de detenção hidráulica é a relação do volume pela vazão, que resulta na seguinte equação abaixo. De acordo com Von Sperling (2001) a profundidade que deveria ser adotada é de 5 metros, pois facilita que a lagoa trabalhe como facultativa. Com isso, acha-se a área da lagoa. Sua relação comprimento/largura pode ser de 1 a 3. Na eficiência de remoção levou-se em conta a temperatura, que no caso é de 15 °C. Com a equação  $2xT+20$ , onde T é a temperatura em °C, tem-se uma eficiência de 50%. Para efeitos de comparação, laudos de laboratório da empresa mostravam uma DBO5 de saída de lagoa atualmente de 2.427 mg/l

$$t = \frac{V}{Q} = \frac{2.761,2}{13} = 8,85dias$$

$$A = \frac{V}{p} = \frac{2.761,2}{5} = 552m^2 \Rightarrow 23x23m \Rightarrow 46x11,5m$$

$$DBO_{ef} = \left(1 - \frac{E}{100}\right) * S_o = \left(1 - \frac{50}{100}\right) * 1.776,92 = 888,46mg/l$$

Onde:

S<sub>o</sub>=DBO5 afluente

A empresa Inquil polui o correspondente à uma cidade de 28.800 habitantes. Para chegar a tal número leva-se em conta a quantidade de raízes processadas por dia. Para cada tonelada processada ao dia corresponde a uma poluição de 300 habitantes/dia. Como a indústria processa 6 toneladas/hora, isso leva ao número citado acima. Adotando uma taxa de 0,05m<sup>3</sup>/hab.ano (taxa típica de regiões mais frias), tem-se então uma produção anual de lodo de 1440 m<sup>3</sup>, como mostrado abaixo.

$$Pr odução \_ de \_ lodo = taxa * habi tan tes = 0,05 * 28800 = 1440m^3 / ano$$

A espessura de lodo em 1 ano e o tempo para retirada recomendada, que no caso é quando atinge 1/3 da altura útil da lagoa, pode ser vista nas equações a seguir. O lodo cresce 52 cm ao ano e se deve pensar em retirar o mesmo a cada 3,2 anos.

$$Espessura = \frac{1440m^3 / ano * 1ano}{2761m^3} = 0,52m / ano \Rightarrow 52cm / ano$$

$$Tempo\_para\_retirada\_do\_lodo = \frac{h/3}{elevação\_anual} = \frac{5/3}{0,52} = 3,2anos$$

Já com a aplicação da PmaisL, os números são diferentes. Como 40m<sup>3</sup> corresponderia a uma população de 28.800 habitantes, por consequência 13m<sup>3</sup> correspondem então a 9360 habitantes. A produção de lodo fica em 468m<sup>3</sup>, espessura de 16 cm/ano e tempo de retirada do lodo de 9,8 anos. Para esse trabalho a estratégia de retirada do lodo foi a de se quando alcançar 1/3 da altura útil, porém, existe a possibilidade de remoção de lodo anualmente. Mesmo assim, os valores ainda seriam bem diferentes.

A diferença na produção de lodo, que é consequência do processo, irá influenciar na economia do projeto referente ao decantador de lodo e ao leito de secagem. Hoje, de acordo com projetos de empresas que a Inquil contratou para orçamentos, o leito de secagem utilizado para o deságüe está estimado em R\$12.906. O decantador, utilizado para o adensamento do lodo, tem um orçamento de R\$20.311. Esses valores seriam reduzidos, já que a obra teria menor porte.

O que foi dito acima pode ser justificado pelo fato de que a área do leito de secagem é, dentre outras coisas, proporcional à carga de Sólidos Sedimentáveis (SS) no lodo. Este, por sua vez, é resultado do produto da produção mássica per capita de lodo e o número de habitantes (tais habitantes são estimados). Já para o decantador, que seria o adensador por gravidade, a carga de sólidos e a taxa de aplicação de sólidos. A taxa seria a mesma porque o tipo de lodo seria o mesmo, mas a carga de Sólidos Totais por dia seria reduzida.

Os valores aqui mostrados, quando defrontados com a realidade do sistema atual, mostram que mudanças significativas ocorrem, principalmente no que diz respeito à área e volume ocupados por tal unidade.

Um ponto importante que deve ser levado em conta quando da aplicação da PmaisL é que o volume de água residuária não terá aumento significativo quando se aumentar a quantidade de toneladas de raiz a ser processada. Logo, poderá aumentar a tonelada de raiz processada por hora de funcionamento da empresa.

A utilização de lagoas aeradas na segunda etapa do tratamento advém do fato de se realizar um tratamento aerado forçado para eliminação do cianeto presente no efluente. Com a aeração da água, o cianeto presente reage com o oxigênio, formando o cianato, eliminando assim as características tóxicas do efluente. A Empresa faz uso de dois aeradores.

Com a aplicação da PmaisL, poder-se-ia haver a redução do número de aeradores ou, na melhor das hipóteses, a eliminação de ambos. Isso geraria uma

redução no custo de energia elétrica, já que a potência requerida, que é proporcional ao requisito de oxigênio (RO) e inversamente proporcional à eficiência de oxigenação (EO), será reduzido. Grande parte da toxicidade do efluente se encontra na água vegetal ou manipueira, sendo que esta não iria para as lagoas de tratamento, diminuindo assim a aeração necessária para redução da toxicidade. Por consequência, a concentração do poluente nas lagoas e no corpo hídrico serão reduzidas.

## 8. CONCLUSÕES

Foi possível observar que nos casos em estudo as propostas de PmaisL apresentaram-se mais adequadas do que as técnicas de fim-de-tubo. Os impactos ambientais podem ser minimizados quando a empresa é pensada como um todo, que é o caso da técnica em questão, e “atacando” os problemas pontualmente. Essa é a contribuição da técnica para a diminuição dos impactos ambientais e aumento da eficiência das indústrias de produção de fécula. Como agir é que vai variar de empresa pra empresa. Aqui neste trabalho se mostrou especificamente propostas para a indústria de fécula.

No que diz respeito aos resultados, eles foram satisfatórios e interessantes. O foco da implantação do método consistiu em “atacar” o ponto de saída de efluentes mais crítico. Aplicando a metodologia em questão em tal local e fazendo, digamos, uso direto da água residuária em fertirrigação, consegue-se mostrar que surgem vários aspectos positivos. Dentre eles, pode-se citar: redução de gastos no tratamento de aproximadamente 72%, diminuição de produção de lodo anual, possível redução de aeradores na segunda lagoa, diminuição de área da lagoa anaeróbia, dentre outros.

As dificuldades ficaram por parte da falta de literatura especializada, principalmente no que diz respeito à amiláceos, como a mandioca. Como não foi possível contar no trabalho com um ecotime, onde se teria a participação de outros profissionais, inclusive de outras áreas, os estudos foram mais concentrados mais na parte sanitária e ambiental.

Por fim, a PmaisL, após o levantamento e seleção de oportunidades, como o caso da fertirrigação com o efluente, apresentou-se como uma alternativa interessante para as indústrias de fécula, não perdendo o padrão de competitividade. Apesar da incipiência dos estudos relacionando fecularias com meio ambiente, elas já mostram que são de suma importância e que deve haver investimento e esforços para tal.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDREOLLI, Cleverson; FERNANDES, Fernando; VON SPERLING, Marcos. *Lodo de Esgotos: Tratamento e disposição Final*. Belo Horizonte: Editora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2001. 483p. V.6

BELLO, José Luiz de Paiva. *Metodologia Científica: Manual para Elaboração de Textos Acadêmicos, Monografias, Dissertações e Teses*. 2005. 61f. Trabalho realizado para fins de orientação de estudantes do curso de graduação e pós-graduação, Universidade Veiga de Almeida, Rio de Janeiro.

CAMPOS, Alessandro T. et al. Tratamento de Águas Residuárias de Fecularia por Meio de Lagoas de Estabilização. *Revista Agrícola*. Jaboticabal. v. 26, n. 1, p. 235-242, jan./abr. 2006.

Centro Nacional de Tecnologias Limpas – *Manual de Implantação de Programas de Produção Mais Limpa*. Mimeo. Porto Alegre. 2000.

CEREDA, Marney Pascoli; Fundação Cargill. *Manejo, Uso e Tratamento de Subprodutos da Industrialização da Mandioca*. São Paulo: Fundação Cargill, 2001. 320p.

DIAS, Carlos Alberto Palomares; PIRES, Silva Roberto Ignácio. Produção Mais Limpa: Integrando Meio Ambiente e Produtividade. *Revista Adm. CREUPI*. São Paulo. v. 5, n. 9, p. 51-57, jan./dez. 2005.

DOZOL, Isolete de Souza. *Produção Mais Limpa: Uma Estratégia Ambiental para a Sustentabilidade da Indústria*. 2002. 116f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FEIDEN, Armin. *Tratamento de Águas Residuárias de Indústria de Fécula de Mandioca Através de Biodigestor Anaeróbio com Separação de Fases em Escala Piloto*. 2001. 90f. Tese (Doutorado em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrônomicas, UNESP, Botucatu.

FERNANDES, João Vianney Gurgel et al. Introduzindo Práticas de Produção Mais Limpa em Sistemas de Gestão Ambiental Certificáveis: Uma Proposta Prática.

*Revista Engenharia Sanitária e Ambiental*. São Paulo. v. 6, n. 3, p. 157-164, jul./set. 2001.

INQUIL, *site oficial da empresa*. Disponível em <<http://www.inquil.com.br>>. Acesso em: 01 de setembro de 2007.

MUNN, Ted; MacCRACKEN, Michael; PERRY, John. *Encyclopedia of Global Environmental Change: Responding to Global Environmental Change*. 4 v. United Kingdom: Wiley, 2002. 5 v.

PANTAROTO, Suzan. *Isolamento, Seleção, Identificação e Avaliação de Microrganismos Aeróbios "in situ", com Habilidade à Biodegradação da Linamarina*. 2001. 139f. Dissertação (Mestrado em Agronomia)- Faculdade de Ciências Agrônômicas, UNESP, Botucatu.

PONTELLO, Clori José. *Efeito da Cobertura Plástica no Desempenho de Uma Lagoa Anaeróbia Tratando Efluente de Indústria de Fécula de Mandioca*. 2005. 85f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agroindustriais)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UNIOESTE/CCET, Cascavel.

PARIZOTTO, A. *Eficiência de Lagoas de Sedimentação na Remoção de Cargas Orgânicas, Nutrientes e Coliformes Totais em Despejos Indústrias de Fecularias*. 1999. 113f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, UNIOESTE, Cascavel.

PROCESSAMENTO de mandioca. Produção de Patrícia Resende. Coordenação de Marney Pascoli Cereda. Centro de Produções Técnicas, 2007. Digital vídeo disc (62 min): DVD, NTSC, som PCM Estéreo.

VON SPERLING, Marcos. *Lagoas de Estabilização*. Belo Horizonte: Editora do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFMG, 2001. 196p. V.3

# **ANEXO**

**ANEXO 1 - Distribuição de efluentes na empresa Inquil**

**ANEXO 2 - Fluxograma Qualitativo da empresa Inquil**