

Reestruturação da estação de tratamento de efluentes de uma agroindústria de beneficiamento de arroz não parboilizado

Rodrigo Sanchotene Silva¹
José Antônio Kroeff Schmitz²

Resumo

O presente artigo propõe alterações no atual modelo de tratamento de efluentes de uma agroindústria de arroz não parboilizado, a partir de adequação aos padrões exigidos pelo órgão fiscalizador do Estado do Rio Grande do Sul (Brasil). Para isso, foram consideradas as características dos efluentes produzidos e tecnologias que busquem a sustentabilidade no tratamento de efluentes. E mais, a estrutura física disponível para o trabalho foi adaptada, conforme a viabilidade técnica. Desse modo, o projeto demonstrou aspectos técnicos e operacionais plenamente aplicáveis, considerando-se a redução esperada dos parâmetros exigidos para o lançamento do efluente no corpo hídrico receptor.

Palavras-Chave: Agroindústria. Efluente agroindustrial. Efluente doméstico.

Abstract

The present article proposes changes to the current model of treatment of effluents from a non-parboiled rice agribusiness, from adjustments to the standards required by the supervisory body of the State of Rio Grande do Sul (Brazil). For this, there were considered the characteristics of the produced effluents and technologies that seek for the sustainability of wastewater treatment. Moreover, the physical structure available for the work was adapted, according to the technical feasibility. Thus, the project has demonstrated technical and operational aspects fully applicable, considering the expected reduction of the parameters required to release the wastewater in the receiving water body.

Keywords: Agribusiness. Agroindustrial wastewater. Domestic wastewater.

1 Introdução

O arroz (*Oryza sativa*) é considerado um alimento básico e essencial no prato do consumidor brasileiro por isso é, sem dúvida, o principal grão consumido diariamente pela população. O crescimento de sua produtividade, a

partir de 2004, possibilitou ao Brasil tornar-se autossuficiente na produção do arroz, não necessitando, via de regra, de importações. Com isso, observa-se a importância da produção e do beneficiamento desses grãos para a economia e a qualidade de vida da população brasileira (MIRANDA *et al.*, 2007).

1 Mestre em Ciência e Tecnologia dos Materiais pelo programa de Pós-Graduação em Engenharia de Minas, Metalúrgica e de Materiais - UFRGS, Porto Alegre, RS, Brasil. E-mail: sanchotenesilva@yahoo.com.br

2 Doutor em Ciência do Solo pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Professor Adjunto da Universidade Estadual do Rio Grande do Sul (UERGS), Santa Cruz do Sul, RS, Brasil. E-mail: jose-schmitz@uergs.edu.br
Artigo recebido em 17/01/2011 e aceito em 19/04/2011.

Apesar dos benefícios descritos, a produção e a industrialização do arroz podem provocar passivos ambientais difíceis de serem mitigados, como o caso dos processos de pós-colheita agrícola, realizados por atividades que proporcionam a geração, tanto de resíduos sólidos, quanto resíduos líquidos, os quais podem promover prejuízos ao meio ambiente, devido a sua carga poluente. As agroindústrias do ramo de beneficiamento de arroz estão entre as que mais geram resíduos em seus processos, principalmente sólidos (PELZER; PELIZER; MORAIS, 2007).

Durante o processo de industrialização, os resíduos sólidos produzidos são originados principalmente dos processos de recebimento, pré-limpeza/limpeza, secagem e descascamento de grãos. Esses processos ocasionam a produção de resíduos sólidos agroindustriais específicos de cada processo, como (PUZZI, 2000):

- Poeira, advinda do recebimento e pré-limpeza/limpeza;
- Casca de arroz (CA), originada do processo de descascamento de grãos e, em certos casos, da limpeza da massa de grãos;
- Cinza de casca de arroz (CCA), oriunda da queima da casca de arroz (CA) no processo secagem.

Os resíduos sólidos, gerados nos processos de beneficiamento de arroz, apresentam, em sua grande maioria, baixa granulometria, o que implica incidência de poeira, CA e CCA em diversos locais da indústria. A agroindústria, devido à necessidade de higienização e assepsia desses locais, para que não ocorram alterações nas atividades e no produto final, realiza o processo de lavagem desses, ocorrendo assim a lixiviação de poeira, CA e CCA, até a estação de tratamento dos resíduos, para o posterior lançamento do efluente a um corpo d'água receptor ou sua disposição no solo (PELZER; PELIZER; MORAIS, 2007).

Segundo Matos (2005), os efluentes de resíduos agroindustriais são basicamente compostos constituídos de material orgânico oxidável no corpo hídrico. As bactérias aeróbias, que são responsáveis por estabilizar esse tipo de material, passam a ser forçadas a utilizar o oxigênio disponível no meio aquático, proporcionando o declínio da concentração desse elemento e, conseqüentemente, podendo com isso, provocar a morte de peixes e de outros animais aquáticos aeróbios, por asfixia. Em caso de despejos de grandes cargas orgânicas, além de proporcionar a morte de animais, pode ocorrer a exalação

de odores fétidos, de gases agressivos e causar a eutrofização de rios e lagos, além de dificultar o tratamento de água para o abastecimento público.

Além da geração de efluentes agroindustriais, o efluente doméstico, gerado na agroindústria, deve receber atenção especial, quanto aos seus tratamentos e padrões de emissão. Esse tipo de efluente é responsável por significativas depleções do oxigênio nos corpos d'água, proporcionado pela contribuição de sólidos, organismos coliformes, patogênicos e nutrientes (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

O presente trabalho irá propor a reestruturação física e a introdução de novos métodos para o tratamento de efluentes realizado na Estação de Tratamento de Efluentes (ETE) de uma agroindústria de beneficiamento de arroz não parboilizado, localizada no município de Cachoeira do Sul/RS. A atual ETE apresenta limitações nos processos empregados de tratamento de efluentes, conforme os parâmetros exigidos pela Fundação Estadual de Proteção Ambiental do Rio Grande do Sul (FEPAM). Além disso, ETE apresenta dificuldades em reduzir vazão máxima de despejo de efluente no corpo d'água receptor que é de 35 m³/dia.

2 Metodologia

Para elaboração de um novo modelo de tratamento de efluentes para a ETE, considerouse uma prévia análise histórico-estrutural e as dificuldades atuais no tratamento de efluentes da ETE. Os cálculos necessários para o seu redimensionamento foram baseados no número de contribuintes para o despejo de efluentes doméstico, que é de 180 pessoas (número máximo de funcionários em épocas de safras) e na exigência da FEPAM de que sejam emitidos para o corpo receptor, no máximo 35 m³/dia de efluente tratado na ETE. As propostas de alteração estão divididas de acordo com a fundamentação teórica das características do efluente (doméstico e agroindustrial) e o dimensionamento dos tanques de decantação da atual ETE.

As propostas de tratamento e redimensionamento dos tanques da atual ETE, incluídas neste projeto, serão formuladas em duplicata (em paralelo) em série. Isso se deve à necessidade, em períodos esporádicos de limpeza de tanque, manutenção de equipamentos e excesso de vazão devido às precipitações pluviométricas, para que o tratamento do efluente permaneça contínuo e sem prejuízo.

2.1 Efluente agroindustrial

Os efluentes líquidos agroindustriais, gerados da industrialização do arroz, são originários de processos de lavagem de pisos, contendo poeira e CA, além da lavagem de fornalhas, contendo CCA. Esses compostos são basicamente constituídos de (DELLA *et al.*, 2006; ELIAS, 2007):

- Poeira: 65% de hidratos de carbono;
- CA: 50% de celulose, 30% de lignina e 20% de sílica;
- CCA: 70% de sílica.

Esses resíduos sólidos são advindos dos processos de recebimento, pré-limpeza/limpeza, secagem e descascamento de grãos processados na agroindústria. No decorrer da lavagem de pisos, ocorre a diluição da poeira e da CA, esses materiais, agregados aos grãos de arroz, apresentam-se dispersos na área industrial da empresa. E, em fornalhas, a lavagem é utilizada para a limpeza e, conseqüente retirada da CCA presente (MATOS, 2005).

2.2 Efluente doméstico

De acordo com Metcalf e Eddy (2003) e Jordão e Pessoa (2005), a composição e concentração de esgotos domésticos dependem de vários fatores como, a quantidade de água consumida por habitante diariamente e dos hábitos alimentares e domésticos da população. O esgoto apresenta em sua composição uma elevada percentagem de água em torno de 99,9%, mas a pequena percentagem restante contém impurezas que conferem características indesejáveis ao recurso hídrico.

A utilização de fossas sépticas é o método mais utilizado para o tratamento de efluente doméstico nos dias atuais, pois possibilita uma sensível diminuição da carga poluidora desse resíduo líquido. Apesar disso, o efluente resultante apresenta relevantes e significativas concentrações de compostos poluentes (N, F, C, coliformes e outros) que podem causar alterações nos corpos d'água receptores, sendo principalmente um dos principais tipos efluentes causadores do efeito de eutrofização (METCALF; EDDY, 2003).

Com isso, é possível a utilização dos tratamentos biológicos complementares para despoluição de efluentes vindos de fossa séptica. A utilização de filtros anaeróbios e de processos de polimento biológico podem ser implementados

de forma satisfatória pela presença de N e F no efluente doméstico, pois são nutrientes imprescindíveis para a presença e proliferação de microrganismos anaeróbios.

2.3 Estrutura atual da ETE

A ETE atual da agroindústria possui dimensões de médio a pequeno porte, baseando-se em operações e processos unitários físicos para o tratamento de efluentes. O processo de tratamento de efluentes transcorre em fluxo contínuo, nos tanques de decantação primária e secundária, visualizados na figura 1.

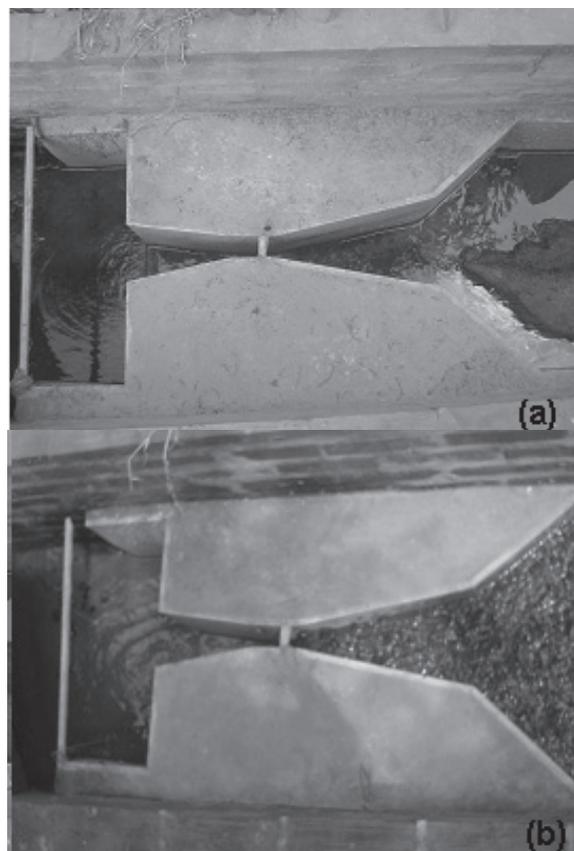


Figura 1 - Fotos dos Decantadores: (a) Decantadores primários; (b) Decantadores secundários
Fonte: Autores, (2010).

A ETE não possui medições de seus afluentes, apresenta a vazão média de 187,76 m³/d de efluente tratado, despejado no corpo hídrico receptor (um afluente do Rio Jacuí, próximo ao município de Cachoeira do Sul/RS). Segundo o ponto de vista da última licença de operação (LO) emitida pela FEPAM, essa vazão apresenta-se excessiva para as necessidades da indústria. Com

isso, o órgão fiscalizador exige lançamento máximo 35 m³/dia ao corpo hídrico receptor.

A ETE apresenta dois tanques de decantação primária em paralelo e, dois tanques de decantação secundária também em paralelo, sendo que os dois sistemas estão em série. A capacidade volumétrica de cada tanque de decantação primária está em torno de 57,5 m³. Ou seja, o sistema primário de decantação apresenta uma capacidade volumétrica em torno de 115 m³ de efluente. O sistema de decantação secundária possui uma capacidade volumétrica para cada tanque de 7,67 m³, o que equivale à capacidade volumétrica total de 15,33 m³. Cada tanque, tanto primário quanto secundário, apresenta duas peneiras com alturas de 0,65 m. Além disso, cada tanque possui três saídas para o caso de sobrecarga do processo ou limpezas da ETE.

O efluente de origem industrial é coletado, através de canaletas, e despejado na ETE através de tubulações à montante dos processos de tratamento. Já o efluente de origem doméstica (fossa séptica) chega à ETE por uma tubulação ligando-a à parte lateral da ETE, conforme a figura 2. O efluente doméstico e agroindustrial, após coletados, é tratado de forma conjunta na ETE, onde recebem os processos de decantação física e peneiração (primária e secundária). O lodo (basicamente de CA e CCA), retido nos decantadores, é disposto próximo às áreas da ETE de forma não uniforme no solo.



Figura 2 - Foto da tubulação lateral que liga a fossa séptica à ETE
Fonte: Autores, (2010).

Esses processos, atualmente, apresentam-se ineficazes, pois as saídas de sobrecarga ou limpeza dos tanques encontram-se rotineiramente abertas, impossibilitando assim a decantação e posterior remoção de compostos orgânicos e

inorgânicos que podem alterar a qualidade do corpo d'água receptor.

A calha Parshall é utilizada como medidor de vazão, para quantificar a vazão de efluente tratado pela ETE e despejado no corpo hídrico receptor. A calha Parshall existente na ETE é apresentada na figura 3, em períodos de baixa e alta vazão de efluente domésticos e agroindustriais.

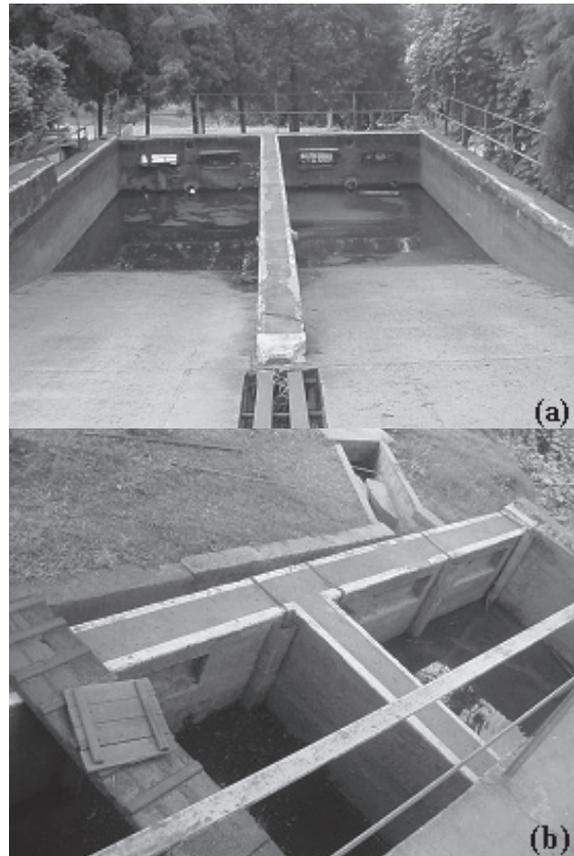


Figura 3 - Fotos da calha Parshall: (a) em períodos de baixa vazão; (b) saturada de CCA
Fonte: Autores, (2010).

2.4 Novos processos para tratamento de efluentes

Os efluentes líquidos industriais tratados deverão atender, conforme a tabela 1, aos parâmetros de emissão, normatizada de acordo com a Licença de Operação (LO) expedida pela FEPAM na data de 09/02/2007, para o lançamento no corpo hídrico receptor.

Ao analisar as limitações e deficiência dos processos realizados na atual ETE da agroindústria, com a identificação de limitações na atual ETE, propõem-se soluções de tratamentos viáveis tecnicamente, a partir de normas usualmente aplicadas que se enquadrem aos parâmetros de emissão.

Parâmetros	Padrão de emissão a ser atendido
Temperatura	Inferior a 40°C, sendo a variação de temperatura do corpo inferior a 3°C na zona de mistura.
Sólidos sedimentáveis	Até 1,0 ml/L, em Cone Imhoff, 1 hora.
pH	Entre 6,0 e 9,0.
Cor	Não deve conferir mudança de coloração (cor verdadeira) ao corpo hídrico receptor.
DQO (Demanda Química de Oxigênio)	Até 360 mg/L.
Sólidos em suspensão	Até 155 mg/L.

Tabela 1 - Parâmetros e padrões de emissão para o despejo em corpos hídricos

Fonte: Resolução do CONSEMA nº 128 (2006).

2.4.1 Calhas Parshall

Foram introduzidas e dimensionadas duas calhas Parshall à montante da ETE com o intuito de quantificar a vazão de efluente da agroindústria e doméstico. A partir disso, pode-se qualificar o tipo ou técnica de tratamento para determinado efluente.

2.4.2 Peneira estática

Foi proposta e, conseqüentemente dimensionada, uma peneira estática para o tratamento de efluente agroindustrial, advindo da medição por uma calha Parshall. O objetivo principal da utilização desse equipamento é a retenção da CA que apresenta grandes dificuldades de ser depurada em corpos hídricos e, pode ser reutilizada, após desidratação, pela agroindústria, como combustível para secadoras, devido ao seu valor calórico, além de ser um dos constituintes do substrato que será cultivado o capim arroz, nos SCWs (ELIAS, 2007).

2.4.3 Redimensionamento dos atuais decantadores

Foi realizado para o tratamento de efluentes agroindústrias e domésticos a adequação e o redimensionamento dos tanques primários e secundários de decantação. Os decantadores

primários, segundo a proposta, passam a ter dimensões menores aos anteriores, sendo de uso exclusivo para o tratamento de efluente agroindustrial, oriundo da peneira estática. Esse processo tem como objetivo principal a decantação da CCA, devido a sua dificuldade de degradar-se em meios aquáticos e, ocasionando assim, alteração na qualidade da água, além da possível reutilização desse resíduo, após sua desidratação, com a formação de substratos para os sistemas de polimento biológicos que serão propostos e controle de pragas (ELIAS, 2007).

As áreas restantes dos antigos decantadores primários, não ocupada pelos novos decantadores, passam a abrigar dois Filtros Anaeróbios de Fluxo Ascendente (FAFAs) dimensionados para o tratamento de efluentes doméstico e agroindustrial, oriundos de fossa séptica e de decantadores primários, respectivamente. A introdução de FAFAs para o tratamento de efluentes domésticos e industriais visa aumentar e aperfeiçoar a eficiência na remoção de carga orgânica existente nesses efluentes, bem como na remoção de sólidos suspensos e sedimentáveis. Com isso, são dimensionados dois filtros biológicos anaeróbicos retangulares de fluxo ascendente, adaptados a partir da segmentação dos decantadores primários (JORDÃO; PESSÔA, 2005).

Os decantadores secundários são adaptações a Sistemas *Constructed Wetlands* (SCWs) ou Leitos Cultivados, com fluxo subsuperficial, na estrutura atual da ETE, com a utilização de capim arroz, como planta aquática que ajudará no polimento final do efluente tratado e despejado no corpo d'água receptor. Esse processo será utilizado sazonalmente (em torno de 6 meses) no período de safra de maior processamento de grãos pela agroindústria e, também, no período de desenvolvimento dessa planta.

O sistema de Leito Cultivado (SCW) de fluxo subsuperficial é um pós-tratamento empregado para o polimento dos efluentes agroindustriais e domésticos. É aplicado como um processo auxiliar aos FAFAs para a remoção e retenção de altos índices de compostos orgânicos e tóxicos. As terras úmidas de fluxo subsuperficial servem como canais de vazão que facilitam o escoamento do efluentes, sendo os substratos utilizados para a remoção do fósforo. O solo superficial, ao ser usado como substrato, serve como fonte de microrganismos, dando a esses e às plantas aquáticas, os nutrientes necessários ao crescimento inicial (CAMPOS, 1999).

Neste projeto, o uso do sistema de Leito Cultivado (SCW) será implementado nos atuais tanques secundários, à jusante dos FAFAs. O SCW será utilizado em período (6 meses) de desenvolvimento da espécie aquática empregada. Com isso, o projeto viabilizará o dimensionamento de dois tanques de SCW de fluxo subsuperficial com escoamento vertical.

De acordo com Matos (2005), determinados tipos de plantas favorecem o desenvolvimento de filmes biologicamente ativos que propiciam a degradação dos compostos orgânicos, promovendo uma maior eficiência na depuração de águas residuárias. As espécies aquáticas empregadas em sistemas de tratamento SCW são plantas helófitas, cujas folhas localizam-se acima da superfície da água, proporcionando também a evapotranspiração por parte do vegetal.

O capim arroz (*Echinochloa crusgalli* var. *cruspavonis*) é planta aquática que pode ser utilizada como alternativa na depuração natural da carga poluente existente nos efluentes domésticos e agroindustriais. Esse vegetal é considerado uma erva daninha para a cultura do arroz. Vale dizer que, o capim arroz apresenta-se como um concorrente por nutrientes nas lavouras de arroz e sua presença nos processos produtivos da agroindústria encontra-se em torno de 8% no volume de arroz processado. Com isso, devido à alta disponibilidade de sementes desta planta aquática nos processos de industrialização do arroz, pretende-se utilizá-la no sistema de "Constructed Wetlands" para absorção, evapotranspiração e bioacumulação de agentes poluentes contidos em efluentes à jusante de FAFA. Além de servir como meio de suporte para a proliferação de microrganismo, presentes na rizosfera, que ajudam na retenção de cargas poluentes.

3 Resultados

Os resultados foram divididos a partir da identificação das deficiências do atual modelo de tratamento de efluentes da ETE da agroindústria. E, a partir disto, propor alterações que resolvam ou minimizem os impactos ambientais que o atual modelo de tratamento possa causar.

3.1 Medidores de vazão propostos (calhas Parshall)

As calhas Parshall propostas para ETE

localizaram-se à montante dos processos de tratamento realizados na estação. O medidor de vazão incumbido de quantificar a vazão de efluente líquido doméstico, oriundo de fossa séptica, considerará para fins de seu dimensionamento o seguinte cálculo:

$$VD = N^{\circ} \text{ de pessoas} \times CF \quad (1)$$

Onde:

VD: vazão máxima de efluente doméstico (m^3/d);
CF: contribuição diária de esgoto em uma fábrica em geral (L/dia) (ABNT - NBR 7229, 1993).

De acordo com a equação 1:

$$VD = 180 \text{ funcionários} \times 70 \text{ L/d} = 12.600 \text{ L/d} = 12,6 \text{ m}^3/\text{d}$$

N° de pessoas = 180 funcionários

CF = 70 L/d

Com isso, a capacidade de medição da calha Parshall, a ser introduzida no sistema de medição de efluente do doméstico, deverá enquadrar-se a vazões próximas a $12,6 \text{ m}^3/\text{d}$. Já a calha Parshall, introduzida para identificar a vazão do efluente agroindustrial, considerará para fins de seu dimensionamento os seguintes cálculos:

$$VF - VD - VP = VA \quad (2)$$

Onde:

VF: vazão máxima de despejo total de efluente no corpo d'água receptor, exigido pela FEPAM;
VD: vazão máxima de efluente doméstico (m^3/d);
VP: vazão da média de precipitações pluviométricas incidentes na região é de 1500 mm/ano (segundo NBR 13969, acrescido 20% como margem de erro) na área útil da ETE;
VA: vazão máxima de efluente agroindustrial.

Conforme a equação 2:

$$VA = 35 \text{ m}^3/\text{d} - 12,6 \text{ m}^3/\text{d} - 0,8 \text{ m}^3/\text{d} = 21,6 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$VF = 35 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$VD = 12,6 \text{ m}^3/\text{d}$$

$$VP = 0,005 \text{ m/d} \times 18,6 \text{ m} \times 8,6 \text{ m} = 0,8 \text{ m}^3/\text{d}$$

Portanto, as dimensões da calha Parshall, a ser implementada no sistema de medição de efluente agroindustrial, deverão enquadrar-se às vazões próximas a $21,6 \text{ m}^3/\text{d}$. O dimensionamento das duas calhas Parshall foram realizados

utilizando-se de tabelas de valores de vazões mínimas e máximas padronizadas, conforme a tabela 2 (NETTO *et al.*, 1998).

W (mm)	Vazões (L/s)	
	Mínima	Máxima
76	0,85	53,80

Tabela 2 - Vazões mínimas e máximas de efluentes para cada calha Parshall
 Fonte: Adaptado de Netto *et al.*, (1998).

As duas calhas Parshall dimensionadas para quantificar o efluente doméstico e agroindustrial, que entra na ETE, apresentam vazões que se enquadram a dimensões padronizadas, segundo a região de estrangulamento W, verificadas na tabela 2. Então, as dimensões das duas calhas propostas neste projeto são apresentadas na figura 4.

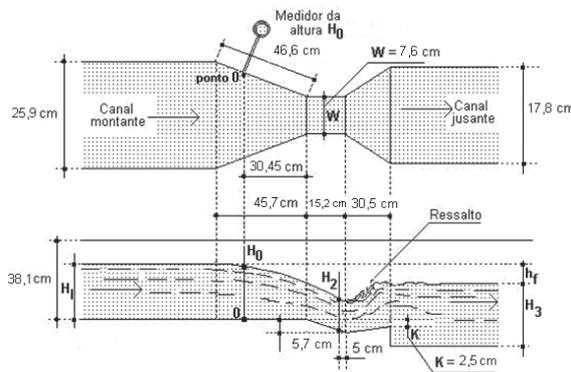


Figura 4 - Dimensionamento das calhas Parshall propostas
 Fonte: Adaptado de Netto *et al.*, (1998).

3.2 Peneira estática

A introdução de uma peneira estática tem por objetivo cumprir as exigências da FEPAM e da NBR 12209 que normatizam sua colocação anteriormente (ou à montante) aos decantadores primários. Além disso, visa à retenção da CA, contida no efluente agroindustrial. Esse, por ser um elemento basicamente composto de substâncias lignocelulósicas, apresenta difícil degradação por parte de microrganismos anaeróbios contidos nos tratamentos biológicos propostos. O dimensionamento da peneira estática apresenta-se de forma variada, seguindo parâmetros utilizados pelos fabricantes. Neste projeto, serão seguidos como base, os cálculos recomendados por Nunes (2004), que foram utilizados pela fábrica ETA - Engenharia de Tratamento de Águas Ltda. No dimensionamento da área de peneiramento,

serão consideradas as normas da tabela 3.

Abertura (A) (mm)	Taxa de aplicação (I) (m³/m².h)
	Estática ou hidrodinâmica
0,25	15
0,50	20
0,75	25
1,00	30
1,50	35

Tabela 3 - Abertura e taxa de aplicação de efluente em uma peneira estática
 Fonte: Adaptado de Nunes, (2004).

A vazão máxima ($Q_{m\acute{a}x}$) de efluente agroindustrial que passará pela peneira, já calculada de 21,6 m³/dia e a necessidade granulométrica de retenção da CA, nesse equipamento, deverá ser menor do que 0,3 mm, pois a CA tem uma variação granulométrica entre 0,355 mm e 0,840 mm (PUZZI, 2000). A área da tela de peneiramento (A) segue a equação 3:

$$A = \frac{Q_{m\acute{a}x} (m^3/h)}{I (m^3/m^2.h)} \quad (3)$$

Então, é aplicada para o dimensionamento da área (A) da tela, uma abertura de 0,25 mm na tela e uma taxa de aplicação de efluente de 15 m³/m².h, conforme a tabela 3.

$$A = \frac{21,6 m^3/h}{15 m^3/m^2.h}$$

Onde:

$$A = 1,44 m^2$$

O comprimento da peneira padrão utilizados é de L = 2,0 m. Com isso, a largura (B), conforme a equação 4, é:

$$B = \frac{A (m^2)}{L (m)} \quad (4)$$

$$B = \frac{1,44 m^2}{2,0 m}$$

Onde:

$$B = 0,72 m$$

A tela empregada neste projeto deverá ter uma área de 1,44 m² (0,72 m × 2,00 m),

sendo constituída de aço inoxidável. A figura 5 apresenta as configurações da peneira estática projetada para ETE da agroindústria.

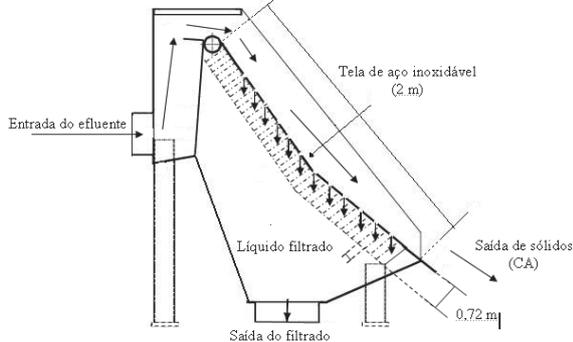


Figura 5 - Representação da peneira estática dimensionada para 21,6 m³/dia de efluente agroindustrial gerado na agroindústria
Fonte: Adaptado de Nunes, (2004).

3.3 Decantadores primários

Os decantadores primários retangulares, já existentes na ETE, apresentam-se superdimensionados para as exigências da FEPAM (neste projeto, a vazão exigida é de 35 m³/dia). Com isso, propõe-se o redimensionamento dos tanques de decantação primários atuais para seu melhor aproveitamento. Esses serão divididos em decantadores primários com menor capacidade de volume em relação aos atuais decantadores e em FAFAs.

Os tanques serão utilizados para o processo de decantação do efluente agroindustrial, principalmente para o processo de sedimentação da CCA. Para o tratamento de efluente doméstico, oriundo de fossa séptica, os decantadores serão empregados apenas durante o período de entressafra da agroindústria, pois os SCWs se apresentaram ineficazes nesses períodos, devido à dificuldade de desenvolvimento da espécie vegetal (capim arroz) aplicada no polimento final desse efluente. Com isso, os decantadores atuaram na decantação de sólidos sedimentáveis presente o efluente doméstico.

3.3.1 Dimensionamento – em períodos de safra

O efluente agroindustrial, devido a sua heterogeneidade, é o principal resíduo a ser tratado nos decantadores primários em períodos de safra. A vazão desses, unida às precipitações pluviométricas incidentes na área dos decantadores, servirá como parâmetro para o dimensionamento desses dispositivos. Sabendo-se que a capacidade

volumétrica útil do decantador (altura mínima de água de 1 m 30 cm) é de 19,83 m³, conforme será mostrado na figura 6, e a vazão do efluente agroindustrial gerado é de 21,75 m³/d, incluída a vazão média de precipitações pluviométricas incidentes sobre a área de um decantador primário (3 m 65 cm de largura x 8 m 20 cm de comprimento), é de 0,15 m³/dia, o tempo mínimo de detenção (Td) de um decantador proposto será de (NBR 12209):

$$Td(d) = \frac{\text{Cap. do decantador (m}^3\text{)}}{\text{Vazão (m}^3\text{/d)}} \quad (5)$$

$$Td(d) = \frac{19,83 \text{ m}^3}{21,75 \text{ m}^3/\text{d}} = 0,91 \text{ dias (ou 21 h 53 min)}$$

Com isso, o tempo necessário para obter-se a decantação será de 21 horas e 53 minutos para o tratamento de efluente agroindustrial, o que proporcionará o uso, em caso de emergência (limpeza e excesso de vazão), de apenas um tanque sem que ocorra prejuízo no sistema. No caso do uso dos dois decantadores para o tratamento de efluente agroindustrial, isso ocasionará o tempo de detenção de 43 horas e 40 minutos para esse efluente. Após, o efluente será encaminhado despejado aos FAFAs.

3.3.2 Dimensionamento – em períodos de entressafra

Durante os períodos de entressafra, o efluente doméstico será lançado nos decantadores primários juntamente com o efluente agroindustrial, devido à ineficiência dos SCWs nesse período. A mistura dos efluentes proporcionará o processo de decantação, que removerá o excesso de sólidos sedimentáveis e sólidos em suspensão, principalmente a CCA, devido à massa específica consistir de 2160 kg/m³ (AKASAKI *et al.*, 2005). Com isso, a utilização de um decantador com capacidade útil volumétrica de 19,83 m³, em períodos de entressafra, para uma vazão de 34,35 m³/d (soma da produção de efluentes gerados, de 34,2 m³/d, incluindo a vazão média de precipitações pluviométricas incidentes na área de um decantador que é de 0,15 m³/d), propiciará o seguinte tempo mínimo de detenção de hidráulica (segundo a equação 5) no sistema será de:

$$\text{Tempo de detenção (d)} = \frac{19,83 \text{ m}^3}{34,35 \text{ m}^3/\text{d}}$$

Tempo de detenção = 0,58 dias (ou 13h 55min)

O tempo de detenção do efluente, em um decantador primário, em períodos de entressafra, será de 13 horas e 55 minutos para a decantação da mistura de efluente líquido. Esse planejamento visa evitar prejuízos no processo de decantação em períodos de limpeza ou manutenção do sistema. No uso dos dois tanques de decantação, o tempo de detenção hidráulica passará para 27 horas e 50 minutos. A figura 6 apresenta o dimensionamento dos dois tanques primários.

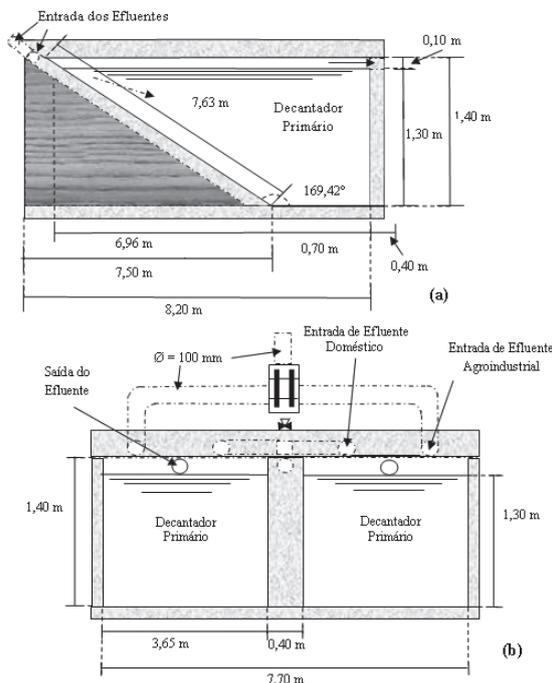


Figura 6 – Proposta de decantadores primários: (a) Corte AA'; (b) Corte BB'
Fonte: Autores, (2010).

Conforme as exigências de dimensionamento para decantadores primários retangulares, presentes na NBR 12209, o decantador primário deve apresentar a relação comprimento: altura mínima de água de 5,9:1, a relação largura: altura mínima de água de 2,8:1 e a relação comprimento: largura de 2,1:1. Essas relações apresentam-se plenamente cumpridas no dimensionamento propostos.

3.4 Filtros anaeróbios de leito fixo com fluxo ascendente (FAFAs)

Os cálculos, utilizados para o dimensionamento dos filtros anaeróbios e todas as

recomendações e normatizações que influenciam essa atividade foram baseadas na norma NBR 13969 e NBR 12209 que têm como ênfase a padronização do dimensionamento de unidades de tratamento complementar de efluentes domésticos, neste caso, os FAFAs.

O volume útil do leito filtrante (V_u) de um FAFA é dado pela expressão:

$$V_u = 1,60 \times N \times C \times T \quad (6)$$

Onde:

V_u : volume útil do leito filtrante, em litros;

N : número de contribuintes (pessoas);

C : contribuição de despejos em litros x pessoa / dia;

T : tempo de detenção, em dias.

No caso específico da ETE, sabe-se que a exigência da FEPAM, quanto ao lançamento de efluente tratado em corpo d'água receptor, deverá apresentar uma vazão máxima 35 m³/dia. Com isso, as variáveis N e C serão substituídas pela variável VF que representa a vazão de despejo total de efluente no corpo d'água receptor, conforme exigido pela FEPAM. Então, de acordo com a equação 6, o volume útil total, somando-se os dois filtros propostos, será de:

$$V_u = 1,60 \times 35.000 \text{ L/dia} \times 1d$$

$$\text{Volume útil } (V_u) = 56.000L = 56 \text{ m}^3$$

Pode se observar, na fórmula acima, que o V_u apresenta-se superdimensionado, pois o tempo de detenção, conforme a NBR 13969 (1997), para vazão de 35 m³/d seria de 0,5 dias. Na presente pesquisa, foi utilizado o tempo de detenção de 1 (um) dia, devido à grande área disponível nos tanques primários atuais e a variedade de material carbonado advindo do efluente agroindustrial. Com isso, pode-se trabalhar com um FAFA sem que ocorra alteração ou prejuízo ao modelo de tratamento de efluentes.

Para a implantação de um FAFA, a NBR 13969 exige que o volume útil mínimo do leito filtrante seja de 1 m³. O dimensionamento, aqui proposto, não sofre essa restrição, pois, para o dimensionamento de cada um dos FAFAs, o volume útil do leito filtrante será 28 m³.

Para identificar a seção horizontal de cada um dos filtros, pode-se calculá-la a partir da seguinte expressão (CHERNICHARO, 2001):

$$S = V_u / H \quad (7)$$

Onde:

- S: seção horizontal do FAFA;
- V_u : volume útil do leito filtrante;
- H: profundidade útil do filtro = altura do fundo falso (incluindo a espessura da laje) + altura do leito filtrante + altura sobressalente (incluindo altura das calhas coletoras).

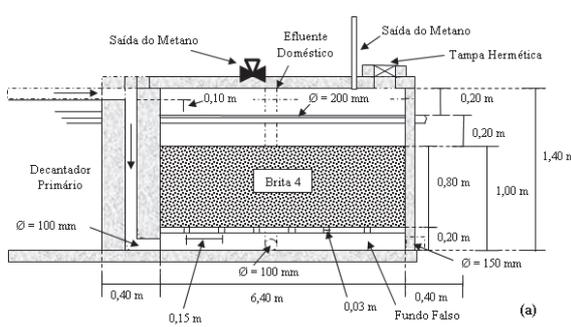
Sabendo-se que a altura máxima dos tanques primários é de 1m 40 cm.

$$S = 28 / (0,2 + 0,8 + 0,2) = 23,33 \text{ m}^2$$

Deste modo, cada filtro retangular deverá possuir uma largura (B) de 3 m 65 cm. A partir da equação 8, o comprimento (L) de cada FAFA é de:

$$S = B \times L \tag{8}$$

$$23,33 \text{ m}^2 = 3,65 \text{ m} \times L$$



Onde,

$$L = 6,40 \text{ m (6 m 40 cm)}$$

As recomendações da NBR 13969 indicam que a altura do leito filtrante, incluindo o fundo falso, seja limitada a 1m 20 cm, e o fundo falso seja de, no máximo 0,6 m. Conforme a norma, a perda de carga hidráulica a ser prevista entre o nível mínimo no tanque séptico e o nível máximo no filtro anaeróbio é de 0,1 m (1 kPa).

Com isso, no presente projeto, tendo em vista a limitação de altura dos tanques primários atuais, que irão alojar os FAFA, a altura do leito filtrante será de 1 m, incluindo um fundo falso de 0,2 m. A altura sobressalente (incluindo altura das calhas coletoras) deverá ser de 0,2 m acima do leito filtrante, proporcionando a retirada do efluente tratado. E o nível de saída do efluente do filtro estará a 0,1 m abaixo do nível do tanque séptico ou tanque primário. O redimensionamento do tanque primário para implantação de um FAFA pode ser visualizado na figura 7.

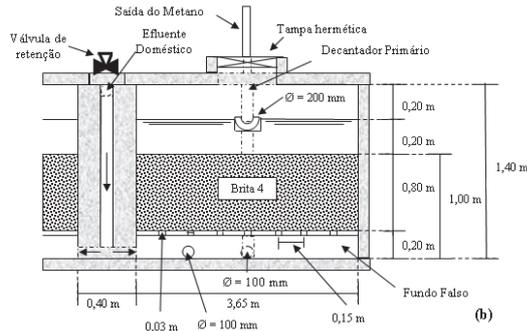


Figura 7 - Proposta de FAFA para ETE: (a) Corte AA'; (b) Corte BB'

Fonte: Autores, (2010)

3.5 Sistemas *Constructed Wetlands* (SCWs) de fluxo subsuperficial

Para o dimensionamento e os cálculos de implementação do SCW, serão consideradas todas as recomendações e normatizações que influenciam a introdução do SCW, as quais seguirão as normas NBR 13969 e a NBR 12209. O tempo de detenção ou de resistência hidráulica considerará no dimensionamento a V_F , de $35 \text{ m}^3/\text{d}$, apenas para um SCW, pois assim, em períodos esporádicos (limpeza, excesso de vazão e etc.), será possível utilizar apenas um sistema SCW, sem que ocorram prejuízos no tratamento.

Os dois leitos cultivados que substituirão os atuais tanques secundários (a capacidade

volumétrica de cada tanque é de $7,67 \text{ m}^3$), serão dimensionados a partir da capacidade volumétrica do sistema em torno de 70% ($5,37 \text{ m}^3$), devido à porosidade dos materiais utilizados para formulação do substrato. Com isso, o tempo de resistência hidráulica para um SCW será calculado, conforme a equação 9:

$$\text{Tempo de resistência (d)} = \frac{\text{Capacidade do SCW (m}^3\text{)}}{\text{Vazão (m}^3\text{/d)}} \tag{9}$$

$$\text{Tempo de resistência (d)} = \frac{5,37 \text{ m}^3}{35 \text{ m}^3/\text{d}} = 0,153 \text{ d} \times 24 \text{ h} = 3,68 \text{ h (3 h 40 min)}$$

Portanto, o tempo de resistência hidráulica para passagem do efluente em um SCW será

de 3 horas e 40 minutos, com o emprego dos dois sistemas, o tempo de resistência sobe para 7 horas e 22 minutos. As dimensões dos tanques de decantação secundários atuais (2,00 m de comprimento \times 1 m 5 cm de altura \times 3 m 65 cm de largura) apresentam-se adequadas para a substituição, conforme as necessidades do projeto, pois a razão comprimento \times largura do leito é de 0,55:1.

Segundo Guimarães; Leopoldo e Breda (1999) e Leopoldo; Guimarães e Breda (1999),

o substrato, onde será cultivado o capim-arroz, é composto por uma camada de brita nº 1 de 0,2 m, sendo sobreposta por uma camada de solo, misturada com casca de arroz, de 0,25 m e, posteriormente, uma camada de casca de arroz de 0,1 m. Observa-se, ainda, os tanques de decantação secundária, reutilizados nos sistemas de leitos cultivados, apresentam uma inclinação de 1% em sua base, possibilitando a passagem de efluente para a saída do sistema, conforme pode ser verificado na figura 8.

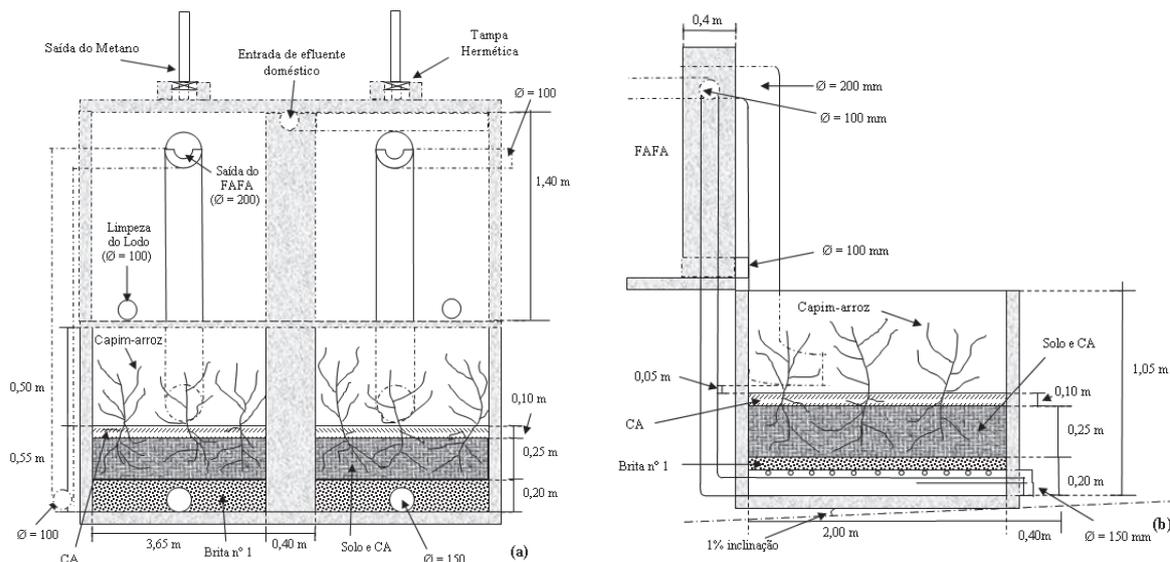


Figura 8 - Proposta de SCW para ETE: (a) Corte AA'; (b) Corte BB'
 Fonte Autores, (2010).

4 Discussões

As calhas Parshall introduzidas neste trabalho poderão proporcionar medição das vazões máximas de efluente doméstico e efluente agroindustrial que são 12,6 m³/d e 21,6 m³/d, respectivamente. Essas vazões, incluindo ainda 0,8 m³/d de precipitações pluviométricas, representam a vazão total de 35 m³/d (VF) de emissão de efluentes ao corpo d'água receptor, de acordo com os níveis permitidos pela FEPAM na última LO emitida à agroindústria. A implantação desses equipamentos pode ocasionar um maior controle na geração de efluentes oriundos das atividades humanas ou agroindustriais.

A inclusão de uma peneira estática visa, principalmente, à retenção da CA contida no efluente agroindustrial. Sabe-se que esses materiais possuem uma granulometria condizente com a capacidade de retenção da peneira estática

que é de 0,25 mm em uma vazão de 21,6 m³/d. A peneira promoverá retenção de sólidos orgânicos grosseiros em suspensão, presentes em grandes concentrações no efluente. Com isso, espera-se remover em torno de 15 a 25% de DQO contida no efluente agroindustrial (NUNES, 2004).

Conforme Matos (2005), o uso de decantadores primários para o tratamento de efluente agroindustrial pode representar a redução de até 80% de sólidos sedimentáveis, 60% de sólidos em suspensão e 40% de DQO. Esses são parâmetros de interesse neste projeto, pois são fiscalizados pela FEPAM e normatizados na última LO. Jordão e Pessôa (2005) relatam que os decantadores primários podem proporcionar ao efluente doméstico uma redução de 70 a 80% de sólidos sedimentáveis, 40 a 60% de sólidos em suspensão e DQO entre 25 a 35%. Parâmetros esses normalizados pela FEPAM. De acordo com Takamatsu (1995), o lodo biológico de estações

de ETE, sedimentado nos decantadores primários, poderá ser utilizado, após desidratação mecânica ou exposição ao ambiente, como biofertilizante para lavouras de arroz, desde que seja realizada uma prévia análise de seus constituintes, sem a presença de efluente doméstico.

Os filtros anaeróbios, propostos por este projeto, visaram à remoção de parte significativa do material orgânico em suspensão fino de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em suspensão, não removido nos tratamentos à montante. E parte do material orgânico na forma de sólidos dissolvidos (DBO solúvel). Esses sólidos são originados da mistura de efluente doméstico e agroindustrial (MATOS, 2005). De acordo com NBR 13969, com o tratamento proporcionado pelos FAFAs, espera-se reduzir de 40 a 70% de DQO, 60 a 90% de sólidos não filtráveis, 70% de sólidos sedimentáveis e 20 a 50% de fosfatos. A produção de lodo biológico em sistemas anaeróbios projetados apresentara-se baixa em relação a outros processos de tratamento biológico.

A implantação dos SCWs resultará em reduções nos parâmetros fiscalizados e permitidos pela FEPAM. Além disto, a DQO poderá ser reduzida em 48%, os sólidos em suspensão em 57%, a turbidez em 60%, o fósforo 57% e o nitrogênio 75%. Caso tais providências sejam adotadas, o efluente produzido pelos SCWs, contidos na ETE da agroindústria, em períodos de maior produção de carga poluente, poderá ser emitido ao corpo d'água receptor em condições que alterem minimamente a sua qualidade (LEOPOLDO; GUIMARÃES; BREDA, 1999; NAIME; GARCIA, 2005).

5 Conclusões

Conforme os objetivos propostos neste trabalho, a atual ETE da agroindústria foi redimensionada para tratar uma vazão máxima de 35 m³/dia de efluentes, conforme LO expedida pelo órgão fiscalizador (FEPAM). O planejamento desta reestruturação possibilita o fluxo contínuo de cada um dos processos de tratamento de efluentes propostos, incluindo os períodos de manutenção e limpeza, pois foram projetados em duplicata. Os novos processos de tratamento de efluentes apresentam-se adequadas às necessidades e às condições físicas da ETE, conforme as normas utilizadas.

Com isso, este projeto buscou oferecer ao tratamento de efluentes da agroindústria pesquisada, o uso de tecnologias alternativas que,

em sua essência, propiciam melhores padrões de sustentabilidade no tratamento de efluente. Além disso, caso tais iniciativas sejam implementadas pela agroindústria pesquisada, os resíduos, que se constituíam em um problema ambiental serão transformados em insumos, uma vez que os resíduos, anteriormente descartados ao longo do processo produtivo pela empresa, terão uma finalidade mais nobre como, por exemplo, a correção de solos e o uso energético. E, por fim, mas não menos importante, os efluentes lançados no corpo hídrico receptor não comprometerão a qualidade da água que é um recurso fundamental para a sobrevivência humana.

Referências

AKASAKI, J. L.; SILVA, E. J.; TASHIMA, M. M.; BARBOSA, M. B. Influência da adição de cinza de casca de arroz nos tempos de pega e retração por secagem. In: SIMPÓSIO IBERO-AMERICANO: O Betão nas Estruturas. 2005, Coimbra. **Anais...** Coimbra: IBRACON, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. **NBR 12209**. Elaboração de Projetos Hidráulicos - Sanitários de Sistemas de Tratamento de Esgotos Sanitários. Rio de Janeiro, 1990.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. **NBR 7229**. Projeto, construção e operação de sistemas de tanques sépticos. Rio de Janeiro, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS ABNT. **NBR 13969**. Tanques sépticos: unidades de tratamento complementar e disposição final de efluentes líquidos – projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

CAMPOS, J. R. (coord.). **Tratamento de esgotos sanitários por processos anaeróbios e disposição controlada no solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CHERNICHARO, C. A. L. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios**. In: **Tratamento de efluentes de reatores anaeróbios por sistemas de aplicação no solo**. Belo Horizonte: SEGRAC, 2001.

CONSEMA (Conselho Estadual do Meio Ambiente) . Resolução n° 128, de 24 de novembro de 2006. **Dispõe sobre a fixação de**

padrões de emissão de efluentes líquidos para fontes de emissão que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2006.

DELLA, V. P.; KÜHN, I.; HOTZA, D.; JUNKES, J. A.; OLIVEIRA, A. P. N. Estudo comparativo entre sílica obtida por lixívia ácida da casca de arroz e sílica obtida por tratamento térmico da cinza de casca de arroz. **Revista Química Nova.** São Paulo, v. 29, n. 6, p.1175-1179, jul./ago. 2006.

ELIAS, M. C. **Pós-colheita de arroz: secagem, armazenamento, qualidade.** Pelotas: Editora UFPEL, 2007.

GUIMARÃES, A. B.; LEOPOLDO, P. R.; BREDÁ, C. C. Extração de nutrientes através de plantas aquáticas em sistemas de *wetlands*. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27., 1999. Santiago. Disponível em: <<http://www.cepis.org.pe/bvsaidis/aresidua/i-046.pdf>>. Acesso em: 22 nov. 2010.

JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. **Tratamento de esgotos domésticos.** Rio de Janeiro: ABES, 2005.

LEOPOLDO, P. R.; GUIMARÃES, A. B.; BREDÁ, C. C. Emprego de plantas aquáticas em sistema integrado de tratamento de esgoto de pequena comunidade rural. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 1999. Santiago. Disponível em: www.cepis.ops-oms.org/bvsaidis/aresidua/i-048.pdf. Acesso em: 22 nov. 2010.

MATOS, A. T. **Tratamento de resíduos agroindustriais. Curso sobre tratamento de resíduos agroindustriais.** Viçosa: Fundação Estadual do Meio Ambiente, 2005.

METCALF, L.; EDDY, H. P. **Wastewater engineering: treatment and reuse.** New York: McGraw Hill, 2003.

MIRANDA, S. H. G.; SILVA, G. S.; MOTTA, M. A. S. B.; ESPOSITO, H. Sistema Agroindustrial do Arroz no Rio Grande do Sul. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 45, 2007, Londrina. **Anais...** Londrina: UEL, 2007.

NAIME, R.; GARCIA, A. C. Utilização de enraizadas no tratamento de efluentes agroindustriais. **Revista Estudos Tecnológicos.** São Leopoldo, v. 1, n. 2. p. 9-20. jul/dez. 2005.

NETTO, J. M. de A.; FERNANDEZ, M. F.; ARAUJO, R.; ITO, A. E. **Manual de hidráulica.** São Paulo: Editora Edgard Blücher Ltda., 1998.

NUNES, J. A. **Tratamento físico-químico de águas residuárias indústrias.** Aracaju: Gráfica Editora J. Andrade Ltda., 2004.

PELZER, H. PELIZER; PONTIERI, M. H.; MORAES, I. O. Utilização de resíduos agro-industriais em processos biotecnológicos com perspectivas de redução do impacto ambiental. **Journal of Technology Management & Innovation.** Santiago. v. 2. n.1, p. 118 -127, mar. 2007.

PUZZI, D. **Abastecimento e armazenamento de grãos.** Campinas: Instituto Campineiro de Ensino: Agrícola, 2000.

TAKAMATSU, A. A. **Avaliação da biolixiviação de metais pesados por bactérias do gênero Thiobacillus em lodos biológicos para utilização agrícola com fertilizante.** 1995. 106 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 1995.