

TRATAMENTO DE MANIPUEIRA DE FECULARIA EM BIODIODIGESTOR ANAERÓBIO PARA DISPOSIÇÃO EM CORPO RECEPTOR, REDE PÚBLICA OU USO EM FERTIRRIGAÇÃO

Paulo Henrique Mendonça Pinto¹
Eloneida Aparecida Camili²
Claudio Cabelo³

RESUMO

O objetivo do presente trabalho foi avaliar a eficiência do tratamento da manipueira de extração de fécula de mandioca, em separado da água de lavagem das raízes, através de biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente, com separação das fases, sem controle de temperatura ou adição de produtos químicos e, avaliar sua adequabilidade, através de suas características físicas e químicas para lançamento em corpo receptor, sistema público coletor de esgotos ou, aplicação em processo de fertirrigação. Depois dos reatores estabilizados, foram realizados ensaios variando a vazão de alimentação com 8,0; 12,0 e 16,0 Ld⁻¹, correspondentes a um tempo de retenção hidráulica de 8,17; 5,44 e 4,08 dias, respectivamente. Os melhores resultados para redução da carga orgânica foram obtidos com os tempos de retenção hidráulica (TRH) de 8,17 e 5,44 dias com eficiências médias de 89,8 e 80,9%, respectivamente. As características físicas e químicas dos efluentes tratados foram comparadas com os valores estabelecidos na legislação estadual, federal e, com os parâmetros utilizados pelo órgão ambiental fiscalizador. Os resultados obtidos mostraram que o efluente tratado atende parcialmente aos requisitos legais para o lançamento em corpos receptores, devido ao teor elevado de nitrogênio amoniacal. Por outro lado, foram atendidos integralmente os requisitos legais para o lançamento na rede pública coletora de esgotos. O efluente tratado não atendeu às recomendações requeridas pelo órgão ambiental fiscalizador para a sua disposição através de processo de fertirrigação devido aos teores elevados de ferro (Fe⁺⁺) e de fluoretos (F). Considerando os resultados obtidos, concluímos que, devido à simplicidade do sistema utilizado, com a implantação de melhorias como um pós-tratamento, poderiam ser atingidos os parâmetros que atenderiam integralmente a legislação.

Palavras-chave: Biodigestão, manipueira, mandioca.

ABSTRACT

The aim of this paper was to evaluate the efficiency of the treatment of cassava wastewater, separately from the root washing water, by means of ascending flux anaerobic biodigesters, with separation of the phases, without temperature control or addition of chemical products and to evaluate its suitability by means of its physical and chemical characteristics for throwing in receiving body, public sewage system or application in fertilization and irrigation. After reactors had been stabilized, essays were conducted varying feeding flow with 8.0, 12.0 and 16.0 Ld⁻¹, corresponding to a hydraulic retention time of 8.17, 5.44 and 4.08 days, respectively. The best reduction for organic load reduction were obtained with hydraulic retention time (HRT) of 8.17 and 5.44 days with mean efficiencies of 89.8 and 80.9%, respectively. Physical and chemical characteristics of treated effluents were compared to the values established in the current state and federal legislation and to the parameters used by the environmental supervising organ. The results we obtained showed that the treated effluent partially meets the legal

¹ Professor da Faculdade de Tecnologia de Ourinhos (FATEC), Av. Vitalina Marcusso, 1400 - Campus Universitário - Cep 19910-206, E-mail: phmp@uol.com.br.

² Aluna do curso de Doutorado Energia na Agricultura FCA/UNESP BOTUCATU-SP

³ Professor Dr. do Centro de Raízes e Amidos Tropicais CERAT BOTUCATU-SP, E-mail: dircerat@fca.unesp.br

requirements for throwing in receiving bodies owing to high contents of ammonia nitrogen. On the other hand, legal requirements were fully met to throw effluents into the public sewage system. The treated effluent did not fulfill the recommendations required by the environmental supervising organ for its disposal by means of fertilization and irrigation due to high concentrations of iron (Fe^{++}) and fluorides (F). Considering the results obtained, we conclude that, due to the simplicity of the system used, as improvements such as after-treatment are made, parameters fully obeying the legislation could be met.

Keywords: Biodigestion, cassava wastewater, cassava.

1 - Introdução

A mandioca desempenha um importante papel na dieta alimentar dos brasileiros pelo seu elevado valor energético. O Brasil aparece como um dos maiores produtores e consumidores desta raiz.

O processamento industrial da mandioca gera quantidades significativas de resíduos que causam sérios problemas ambientais. Indústrias de médio e grande porte chegam a processar 300 toneladas de mandioca por dia, gerando grandes quantidades de resíduos sólidos e líquidos.

Os resíduos sólidos são constituídos basicamente de cascas, fibras, bagaço e outros materiais sólidos que, não são vistos como problema ambiental, pois usualmente são utilizados como complemento na alimentação animal.

O resíduo líquido gerado é comumente chamado de "manipueira" ou água de extração de fécula, com um volume médio de $2,6m^3$ de água de lavagem e $3,6m^3$ de água de extração de fécula por tonelada de mandioca processada. Além do grande volume gerado, este resíduo apresenta um elevado teor poluente devido à presença de carboidratos, açúcares solúveis, matérias graxas e mucopolissacarídeos. Em menores proporções, o ácido cianídrico proveniente da hidrólise de glicosídeo cianogênico presentes na mandioca.

A magnitude do problema depende da capacidade do processamento, e também do número de indústrias localizadas nas mesmas bacias hidrográficas.

A disposição de efluentes líquidos sem tratamento prévio, diretamente no ambiente ainda é uma prática encontrada, porém não mais aceita pelos órgãos ambientais, obrigando as empresas a adotarem medidas para a solução deste problema. Entre estas medidas, podem ser citadas a redução das quantidades dos resíduos gerados, a utilização de tecnologias que permitam gerar resíduos menos poluentes, o tratamento adequado dos resíduos antes da disposição no meio ambiente e, o aproveitamento dos resíduos como subprodutos ou co-produtos para aproveitamento em outras atividades.

A preocupação com o elevado consumo de água e a geração de grandes volumes de efluentes somado às exigências legais têm obrigado as empresas a reavaliar seus processos de forma a melhorar a eficiência, maximizar o aproveitamento de recursos e dispor adequadamente seus resíduos.

Apesar da disponibilidade de vários sistemas para o tratamento de efluentes líquidos, a indústria da mandioca faz parte de um segmento que ainda não permite grandes investimentos em tecnologia para o tratamento dos seus efluentes e, existe outra preocupação com o pós-tratamento, pois a grande maioria das empresas está instalada em áreas rurais, distante de corpos hídricos com capacidade para recepção de despejos, restando como alternativa a disposição em solo através de fertirrigação.

As pesquisas sobre tratamento de efluentes de agroindústrias têm mostrado que os processos biológicos são considerados uma alternativa para o tratamento de resíduos gerados pelas fecularias, de forma simples e econômica.

O objetivo do presente trabalho foi estudar a eficiência do tratamento da manipueira em biodigestores anaeróbios de fluxo ascendente e, avaliar as opções para a destinação final do efluente tratado: disposição em corpo receptor de água, sistema público coletor de esgotos ou uso em processo de fertirrigação.

O sistema proposto foi simples e de baixo custo operacional quando comparado a outras alternativas de tratamento, com possibilidade do aproveitamento do biogás produzido para complementar sistemas térmicos pertencentes ao processo.

2 - Materiais e métodos

Para o desenvolvimento deste experimento, foi utilizado um modelo de bancada representado por um biodigestor anaeróbio de fluxo ascendente confeccionado em PVC, com diâmetro de 30 cm e altura de 30 cm, e volume útil de 16,33 litros, em série com outro biodigestor anaeróbio de fluxo ascendente, confeccionado em aço inoxidável, com diâmetro de 30 cm e altura de 90 cm, com enchimento de anéis de PVC com 1 cm de comprimento e diâmetro de 1/2", com volume útil de 49,00 litros.

O conjunto foi alimentado por uma bomba peristáltica em conjunto com um temporizador. O sistema piloto foi montado em uma unidade agroindustrial processadora de raiz de mandioca, que gerava resíduo líquido com elevada carga poluente (manipueira).

2.1 - Local da pesquisa

A parte experimental desta pesquisa foi realizada na Fecularia Agroindustrial Tarumã Ltda, localizada no município de São Pedro do Turvo, estado de São Paulo, onde foi instalado o conjunto de biodigestores de bancada.

As análises físico-químicas foram realizadas nos laboratórios do Centro de Raízes e Amidos Tropicais CERAT da Universidade Estadual Paulista (UNESP), campus de Botucatu - SP.

2.2 - Matéria-prima

O substrato utilizado nos ensaios foi a manipueira proveniente da produção de fécula de mandioca coletada diretamente na calha de alimentação do descascador de mandioca, na área de processo da empresa. A manipueira passou por dois tratamentos físicos para separação de materiais particulados sendo: peneira de separação e ciclone.

No período de desenvolvimento do experimento foram processados os diversos cultivares de mandioca com idades diferenciadas. Estes dados não foram levados em consideração para o desenvolvimento do experimento.

As coletas de substratos para os biodigestores foram realizadas diariamente e, acondicionadas em recipientes plásticos de 20 litros, de forma que o efluente não necessitasse de meios de conservação e transporte, obtendo assim, resultados mais próximos da realidade.

A manipueira coletada era deixada em repouso por aproximadamente 3 horas para decantação da areia e outros materiais indesejáveis, e o sobrenadante era retirado através de sifão, de modo que se utilizasse apenas a matéria orgânica em suspensão e solubilizada.

Concluídas as fases de decantação e separação da manipueira, procedia-se a separação de amostras para as caracterizações físico-químicas e era iniciada a alimentação dos biodigestores.

2.3 - Experimento

O experimento teve seu início em 13 de agosto de 2.007 e foi avaliado até 14 de março de 2.008. O trabalho consistiu em implantar e operar um sistema de tratamento de manipueira de fecularia em escala piloto, representado por, um reator acidogênico, um reator anaeróbio metanogênico, uma bomba peristáltica com temporizador, e duas caixas coletoras de amostra e, avaliar o efluente tratado para propor sua destinação final através de processo de fertirrigação ou, na impossibilidade ou indisponibilidade de área apropriada, o lançamento em corpo receptor de águas ou rede pública coletora de esgotos.

2.4 - Inóculo

O inóculo utilizado foi o lodo proveniente das lagoas anaeróbias de tratamentos dos efluentes líquidos da Indústria de Polvilho Ouro Minas, instalada na cidade de São Pedro do Turvo, estado de São Paulo.

O inóculo foi coletado em frascos plástico de 5 litros e armazenado em câmara fria para reduzir o metabolismo das bactérias, evitando sua morte.

O volume do inóculo utilizado foi de 15 Litros, escolhido aleatoriamente, o que representou cerca de 30,6 % do volume útil do reator metanogênico.

A fase de aclimação do inóculo à manipueira e a partida do sistema foram realizadas seguindo as recomendações de Barford (1978), Lettinga et al. (1987) e Chernicharo (1977).

Na fase inicial, o lodo do reator metanogênico foi sendo adaptado lentamente, através da adição diária de 2 litros do substrato fermentado diluído com 8 litros de água, até completar o volume final de 49 litros, o que ocorreu em 5 dias.

3 - Resultados e discussão

A caracterização físico-química média de 20 amostras de manipueira coletadas durante a realização do presente trabalho está apresentada na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição física e química média da manipueira da agroindústria do processamento da mandioca, utilizada no experimento.

| Variáveis | Valores |
|--------------------------------------|---------------------------|
| pH | 6,63 |
| Demanda bioquímica de oxigênio (DBO) | 12.215 mg L ⁻¹ |
| Demanda química de oxigênio (DQO) | 14.300 mg L ⁻¹ |
| Carbono orgânico total (COT) | 3.352 mg L ⁻¹ |
| Nitrogênio total (N) | 360 mg L ⁻¹ |
| Relação Carbono:Nitrogênio (C:N) | 9,3:1 |
| Fósforo (P) | 42 mg L ⁻¹ |
| Relação Carbono:Fósforo (C:P) | 79,8:1 |
| Potássio (K) | 1.268 mg L ⁻¹ |
| Cianeto total | 12,6 mg L ⁻¹ |
| Sólidos totais (ST) | 6,98 mg L ⁻¹ |
| Sólidos voláteis (SV) | 3,86 mg L ⁻¹ |
| Sólidos fixos (SF) | 3,12 mg L ⁻¹ |
| Temperatura da amostra | 26,7 °C |
| Temperatura ambiente | 29,8 °C |

Fonte: Autores

Os valores comprovam os relatos da literatura em que o substrato apresenta variações em sua composição.

3.1- Redução da carga orgânica no conjunto de reatores

Através da análise dos dados da Tabela 2, observa-se que para os tempos de retenção hidráulica (TRH) de 8,17 e 5,44 dias, foi possível uma eficiência na redução da carga orgânica expressa em carbono orgânico total (COT) de 89,8 e 80,9% respectivamente, porém para o último tratamento o sistema apresentou instabilidade resultando numa eficiência de 66%.

Tabela 2 - Valores de redução da concentração de carbono orgânico total (COT) no conjunto de reatores em função do tempo de retenção hidráulica (TRH).

| Vazão (Ld ⁻¹) | 8,0 | | | 12,0 | | | 16,0 | | |
|----------------------------------|-------|---------------|----------|-------|---------------|----------|-------|---------------|----------|
| TRH (dias) | 8,17 | | | 5,44 | | | 4,08 | | |
| Variáveis | Média | Desvio padrão | C.V. (%) | Média | Desvio padrão | C.V. (%) | Média | Desvio padrão | C.V. (%) |
| COT Afluente | 3379 | 414 | 12,2 | 3535 | 355 | 10,1 | 3428 | 463 | 13,5 |
| COT Efluente | 342 | 41 | 11,9 | 677 | 113 | 16,6 | 1167 | 183 | 15,7 |
| mgL ⁻¹ Eficiência (%) | 89,8 | - | - | 80,9 | - | - | 66,0 | - | - |

Fonte: Autores

Os valores de redução de carga orgânica deste trabalho foram inferiores aos obtidos por Barana (2000) e Feiden (2001) para TRH próximos, porém, os valores de redução de carga orgânica, a partir de 80%, atendem às especificações dos órgãos ambientais para a disposição em rios ou mesmo em sistema público de coleta e tratamento. Este rendimento inferior de capacidade de redução de carga orgânica pode ser explicado pela temperatura média de trabalho do conjunto de biodigestores que operou por períodos abaixo da mínima recomendada na literatura.

3.2 - Avaliação do efluente tratado para disposição em corpo receptor

Os lançamentos de efluentes de qualquer fonte de poluição deverão atender à legislação federal e à legislação estadual, quando houver; e na ocorrência de conflitos entre os valores especificados para uma determinada variável, deve-se considerar o de valor mais restritivo.

O efluente do segundo experimento foi utilizado para comparação com a legislação estadual e federal, para disposição em corpo receptor, por ser o primeiro que atendeu ao requisito mínimo de redução de carga orgânica, exigido pelas duas esferas legais que, deve ser maior ou igual a 80%. O segundo experimento apresentou uma taxa de redução média de carga orgânica, expressa em COT de 80,9%.

Tabela 3: Composição física e química do efluente após tratamento nos reatores acidogênico e metanogênico e os valores limites definidos por legislação para o lançamento em corpo receptor de água.

| Variável | Unidade | Valores médios | DECRETO N° 8.468 | CONAMA 357 |
|---------------------------------------|--------------------|----------------|------------------|------------|
| pH | - | 6,09 | 5-9 | 5-9 |
| Temperatura | °C | 27,83 | <40°C | <40°C |
| Materiais sedimentáveis | mL L ⁻¹ | 1,0 | 1,0 | 1,0 |
| Substâncias solúveis em hexana | mL L ⁻¹ | 12,6 | 100 | 100 |
| DBO * | mL L ⁻¹ | 1110,0 | 60 | 60 |
| Arsênio (As) | mL L ⁻¹ | 0,04 | 0,2 | 0,5 |
| Bário (Ba) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 5,0 | 5,0 |
| Boro (Bo) | mL L ⁻¹ | 0,24 | 5,0 | 5,0 |
| Cádmio (Cd) | mL L ⁻¹ | 0,02 | 0,2 | 0,2 |
| Chumbo (Pb) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 0,5 | 0,5 |
| Cianetos (CN ⁻) | mL L ⁻¹ | 0,07 | 0,2 | 0,2 |
| Cobre (Cu) | mL L ⁻¹ | 0,02 | 1,0 | 1,0 |
| Cromo hexavalente (Cr ⁶⁺) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 0,1 | - |
| Cromo total (Cr) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 5,0 | 0,5 |
| Estanho (Sn) | mL L ⁻¹ | 0,05 | 4,0 | 4,0 |
| Fenol | mL L ⁻¹ | <0,01 | 0,5 | 0,5 |
| Ferro solúvel (Fe ⁺⁺) | mL L ⁻¹ | 5,64 | 15,0 | 20,0 |
| Fluoretos (F ⁻) | mL L ⁻¹ | 2,43 | 10,0 | 10,0 |
| Manganês (Mn) | mL L ⁻¹ | 0,15 | 1,0 | 1,0 |
| Mercúrio (Hg) | mL L ⁻¹ | <0,001 | 0,01 | 0,01 |
| Níquel (Ni) | mL L ⁻¹ | 0,02 | 2,0 | 2,0 |
| Nitrogênio amoniacal | mL L ⁻¹ | 116,2 | - | 20,0 |
| Prata (Ag) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 0,02 | 0,1 |
| Selênio (Se) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 0,02 | 0,3 |
| Sulfetos (S ⁻) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 1,00 | 1,00 |
| Zinco (Zn) | mL L ⁻¹ | 0,11 | 5,0 | 5,0 |

Fonte: Autores.

* Este limite somente poderá ser ultrapassado no caso de efluentes de sistema de tratamento de águas residuárias que reduza a carga poluidora em termos de DBO 5 dias, 20°C do despejo em no mínimo 80%.

Analisando a Tabela 3, verifica-se que o valor médio de DBO foi de 1.110 mg L⁻¹ que, quando comparado com o valor médio de caracterização da manipueira utilizada neste experimento, calcula-se uma redução de ordem de 90,9%. Este nível de redução de carga orgânica em termos de DBO, atende ao requisito do Decreto assim como os demais parâmetros, com exceção do nitrogênio amoniacal.

O elevado teor de nitrogênio amoniacal presente no efluente tratado pode ser justificado pela presença de terra removida durante o processo de lavagem das raízes de mandioca, proveniente de processo de adubação, no efluente utilizado no experimento.

A concentração de nitrogênio amoniacal no efluente tratado o inviabiliza para o seu lançamento diretamente em corpo receptor, necessitando um pós-tratamento para atendimento integral aos requisitos. O pós-tratamento sugerido por alguns autores é composto de sistemas aeróbios e/ou facultativos.

Os teores de materiais sedimentáveis também apresentaram valores médios no limite da especificação legal. O sistema proposto trabalha com elevadas cargas de

alimentação e, a produção do biogás pode facilitar o efeito de flotação de forma que ocorra o arraste de materiais sedimentáveis para os coletores de gás.

3.3 - Avaliação do efluente tratado para disposição em rede pública coletora de esgotos

Para a avaliação das características físico-químicas do efluente tratado para a disposição em rede pública, foi utilizado como referência legal o Artigo 19 do decreto estadual 8468 de 08/09/1976. Foi utilizado o efluente do segundo experimento para a caracterização físico-química e comparação com a legislação.

O Artigo 19 cita que, onde houver sistema público de esgotos, em condições de atendimento, os efluentes de qualquer fonte poluidora deverão ser nele lançado.

O Artigo 19-A define as condições de lançamento e as concentrações máximas para as substâncias presentes em efluentes industriais tratados. Como o sistema público recebe em suas instalações diversas contribuições individuais de fontes poluidoras, a legislação permite ao órgão receptor o estabelecimento de outros padrões ou limites, de forma que não ocorram danos ou prejuízos ao sistema de coleta e tratamento.

Especificamente no Estado de São Paulo, a SABESP possui legislação própria para a determinação do custo de recebimento e tratamento de efluentes não domésticos, sendo estes custos calculados em função da vazão de lançamento e de características físico-químicas. O uso da rede pública deve ser autorizado também pela CETESB Companhia Ambiental do Estado de São Paulo.

A legislação exige um teor limite de cianeto de $0,2 \text{ mg L}^{-1}$ mas, não define se é cianeto total ou livre Barana (2000); Feiden (2001). Neste experimento trabalhou-se com o cianeto total.

A Tabela 4 apresenta os dados relativos às análises físico-químicas realizadas no efluente tratado em comparação com a legislação estadual para a disposição em rede pública coletora de esgotos.

Tabela 4: Composição física e química do efluente após tratamento nos reatores acidogênico e metanogênico e os valores limites definidos por legislação para o lançamento em rede pública coletora de esgotos.

| Variáveis | Unidade | Valores médios | DECRETO N° 8.468 |
|---|--------------------|----------------|------------------|
| pH | - | 6,09 | 5,0 9,0 |
| Óleos e graxas | - | Ausência | Ausência |
| Temperatura | °C | 27,83 | < 40°C |
| Materiais sedimentáveis | mL L ⁻¹ | 1,0 | 20,0 |
| Substâncias solúveis em hexano | mL L ⁻¹ | 36,0 | 150 |
| DBO * | mL L ⁻¹ | 1.110 | 60 |
| Arsênio (As) | mL L ⁻¹ | 0,04 | 1,5 |
| Cádmio (Cd) | mL L ⁻¹ | 0,02 | 1,5 |
| Chumbo (Pb) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 1,5 |
| Cianetos (CN ⁻) | mL L ⁻¹ | 0,07 | 0,2 |
| Cobre (Cu) | mL L ⁻¹ | 0,02 | 1,5 |
| Cromo hexavalente (Cr ⁶⁺) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 1,5 |
| Cromo total (Cr) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 5,0 |
| Estanho (Sn) | mL L ⁻¹ | 0,05 | 4,0 |
| Fenol | mL L ⁻¹ | <0,01 | 5,0 |
| Ferro solúvel (Fe ⁺⁺) | mL L ⁻¹ | 5,64 | 15,0 |
| Fluoretos (F) | mL L ⁻¹ | 2,43 | 10,0 |
| Mercúrio (Hg) | mL L ⁻¹ | <0,001 | 1,5 |
| Níquel (Ni) | mL L ⁻¹ | 0,02 | 2,0 |
| Prata (Ag) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 1,5 |
| Selênio (Se) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 1,5 |
| Sulfato (SO ₄ ⁻) | mL L ⁻¹ | 25,00 | 1000 |
| Sulfetos (S) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 1,0 |
| Zinco (Zn) | mL L ⁻¹ | <0,01 | 5,0 |

Fonte: Autores

Analisando os valores relacionados na Tabela 4, conclui-se que o efluente tratado poderia ser lançado na rede pública, porém para o atendimento integral do decreto, deverá ainda ser comprovado:

- Ausência de solventes, gasolina, óleos leves e substâncias explosivas ou inflamáveis em geral;
- Ausência de despejos que causem ou possam causar obstrução das canalizações ou qualquer interferência na operação do sistema de esgotos;
- Ausência de qualquer substância em concentrações potencialmente tóxicas a processos biológicos de tratamento de esgotos;

Estes elementos não são encontrados no efluente tratado, exceto se houver efluentes reunidos com outros setores como oficina mecânica e lavador de caminhões entre outros que, devem possuir tratamento específico para seus efluentes.

3.4 - Avaliação do efluente tratado para uso em fertirrigação

O efluente tratado do segundo experimento foi caracterizado e comparado com as recomendações do Parecer Técnico N° 13/06/ESSS da CETESB, que utilizou como referência as recomendações da FAO, para aplicação em solo agrícola por processo de fertirrigação.

Mengel e Kirkly (1978) salientaram que a disposição de manípueira no solo provoca

danos imediatos à cultura instalada, porém após certo tempo, a área se cobre de plantas que apresentam novo vigor, fato que gerou a expectativa de se avaliar conseqüências agrônômicas da fertilidade com este resíduo, objetivando-se a avaliação do solo e planta e também demonstrou-se a necessidade de tratamento adequado para posterior reuso.

Através da análise dos resultados apresentados na Tabela 5, observam-se elevados valores dos coeficientes de variação dos elementos monitorados, provavelmente devido às variações de matéria-prima e suas origens.

Tabela 5: Composição física e química do efluente após tratamento nos reatores acidogênico e metanogênico e os valores limites recomendados pela FAO para uso em fertirrigação.

| Elemento | Valores médios (mg L ⁻¹) | Desvio padrão | CV, % | Concentração máx. permitida * |
|------------------|---|------------------|----------|----------------------------------|
| Alumínio (Al)* | 0,15 | 0,13 | 89,3 | 5,00 |
| Arsênio (As) | 0,04 | 0,02 | 43,3 | 0,10 |
| Berílio (Be)* | 0,05 | 0,02 | 50,3 | 0,10 |
| Cádmio (Cd) | 0,002 | 0,01 | 74,2 | 0,01 |
| Chumbo (Pb) | <0,01 | - | - | 5,00 |
| Cobalto (Co)* | <0,01 | - | - | 0,05 |
| Cobre (Cu) | 0,02 | 0,01 | 53,0 | 0,20 |
| Cromo (Cr)* | <0,01 | - | - | 0,10 |
| Fluoretos (F) | 2,43 | 0,48 | 19,9 | 1,00 |
| Ferro (Fe) | 5,64 | 4,57 | 81,0 | 5,00 |
| Lítio (Li)* | <0,01 | - | - | 2,50 |
| Manganês (Mn) | 0,15 | 0,11 | 71,1 | 0,20 |
| Molibdênio (Mo)* | <0,01 | - | - | 0,01 |
| Níquel (Ni) | <0,01 | - | - | 0,20 |
| Selênio (Se)* | <0,01 | - | - | 0,02 |
| Vanádio (V)* | <0,01 | - | - | 0,10 |
| Zinco (Zn) | <0,01 | - | - | 2,00 |

Fonte: Autores

*Parâmetros citados pela FAO, não considerados pela CETESB

4 - Conclusões

Com base nos resultados obtidos em comparação com as especificações legais e, considerando as condições experimentais adotadas, concluem-se:

O sistema mostrou-se eficiente para o tratamento de manipueira de fecularia de mandioca, separado das águas de lavagem de raízes, sem o controle de temperatura e adição de nutrientes para as vazões de 8,0 e 12,0 Ld⁻¹, que correspondem a tempos de retenção hidráulica (TRH) de 8,17 e 5,44 dias, respectivamente.

As análises físico-químicas mostraram que o efluente atende parcialmente aos parâmetros legais para a disposição em corpo hídrico, devendo ser implantado um pós-tratamento para a remoção do nitrogênio amoniacal. Deverão ser observados outros parâmetros como a vazão de lançamento e a classe do rio que irá receber o efluente tratado.

O efluente tratado atende aos parâmetros preliminares para disposição em rede

pública coletora de esgotos. Sugere-se que o órgão responsável pela coleta e tratamento seja consultado para avaliação, cálculo dos custos e obtenção da autorização.

O efluente tratado atende parcialmente às recomendações da FAO, citadas pela CETESB para a caracterização de efluentes para uso em fertirrigação, merecendo atenção aos elementos Ferro (Fe^{++}) e Fluoretos (F).

5- Referências

- BARANA, A. C. **Avaliação de tratamento de manipueira em biodigestores fase acidogênica e metanogênica**. 2000. 95p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, Botucatu, 2000.
- BARFORD, J.P. **Start-up dynamics, and control of anaerobic digesters**. In: ERICKSON, L.E., FUNG, D.Y.C. Handbook on anaerobic fermentation. New York: Marcel Dekker, Inc. 1988.850p.
- CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, 1977, v. 5. p. 13-77
- CHERNICHARO, C.A.L. **Reatores Anaeróbios princípios do tratamento biológico de águas residuárias**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, Belo Horizonte, v.5, 2000.
- FEIDEN, A. **Tratamento de águas residuárias de indústrias de fécula de mandioca através de biodigestor anaeróbio com separação de fases em escala piloto**. 2001, 120p. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura) Faculdade de Ciências Agrônomicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2001.
- LETTINGA, G.; SIERRA-ALVAREZ, R.; HUSHOFF POL, L.W. Start-up of a UASB reactor on a carbohydrate substrate. In: LETTINGA, G., ZEHNDER, A.J.B., GROTENHUIS, J.T.C., HULSHOF POL, L.W. **Granular anaerobic sludge; microbiology and technology**. Proceedings of the Gasmatoworkshop. Lunteren, Netherlands, 1987. Wageningen: Pudoc. 253p, 1988.
- MENGEL, K. E. A.; KIRKLY, E. A. **Principles of plant nutrition**. Berne: International Potash Institute, 1978. 175p.