



UNIVERSIDADE CATÓLICA DE PERNAMBUCO
PRÓ-REITORIA ACADÊMICA
COORDENAÇÃO GERAL DE PÓS-GRADUAÇÃO
MESTRADO EM DESENVOLVIMENTO DE PROCESSOS AMBIENTAIS

ROBERTO ALBUQUERQUE LIMA

**TRATAMENTOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS
DE UNIDADES PRODUTORAS DE FARINHA
DE MANDIOCA**

Recife

2010

ROBERTO ALBUQUERQUE LIMA

TRATAMENTOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE UNIDADES PRODUTORAS DE FARINHA DE MANDIOCA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação do Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais da Universidade Católica de Pernambuco, como pré-requisito para obtenção do título de **Mestre em Desenvolvimento de Processos Ambientais**.

Área de Concentração: Desenvolvimento de Processos Ambientais.

Linha de Pesquisa: Tecnologia e Meio Ambiente.

Orientadora: Prof^a. Dr^a. Alexandra Amorim Salgueiro

Co-orientadora: Prof^a Dr^a Clarissa Daisy da Costa Albuquerque

Recife

2010

L732t

Lima, Roberto Albuquerque

Tratamento de efluentes líquidos de unidades produtoras de farinha de mandioca / Roberto Albuquerque Lima ; orientador Alexandra Amorim Salgueiro ; co-orientador Clarissa Daisy da Costa Albuquerque, 2010.

75 f. : il.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Católica de Pernambuco. Pró-reitoria Acadêmica. Curso de Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, 2010.

1. Resíduos industriais. 2. Água - Purificação - Tratamento biológico. 3. Água - Purificação-Coagulação. 4. Água - Purificação- Floculação. I. Título.

CDU 628.16

TRATAMENTOS DE EFLUENTES LÍQUIDOS DE UNIDADES PRODUTORAS DE FARINHA DE MANDIOCA

Roberto Albuquerque Lima

Examinadores:

Prof^a. Dr^a. Alexandra Amorim Salgueiro (Orientadora)
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP

Prof^a. Dr^a. Maria Helena Paranhos Gazineu
Universidade Católica de Pernambuco - UNICAP

Prof. Dr. Beatriz Susana Ovruski de Ceballos
Universidade Estadual da Paraíba – UEPB/PB

Defendida em 05 de fevereiro de 2010

Coordenadora: Profa. Dra. Alexandra Amorim Salgueiro

DEDICO a Deus, por ter me dado saúde e força para vencer mais um desafio em minha vida, à minha família por sempre ter acreditado em mim, e em especial a minha orientadora Prof^a. Alexandra Amorim Salgueiro, pelo exemplo de profissional e acima de tudo pelo exemplo de ser humano.

“A única coisa que se coloca entre um homem e o que ele quer na vida é apenas à vontade de tentar e a fé para acreditar que aquilo é possível”.

Richard M. Devos

AGRADECIMENTOS

A cada vitória o reconhecimento devido ao meu Deus, pois só ele é digno de toda honra, glória e louvor. Deus, obrigado pelo fim de mais essa etapa;

A minha família, em especial aos meus pais Manoel Jurandi de Albuquerque e Ivanuite Albuquerque de Lima Costa pelo apoio, incentivo e principalmente por sempre acreditarem em mim;

A minha orientadora Prof^a Dr^a Alexandra Amorim Salgueiro, orientadora desse trabalho, agradeço a Deus por permitir que essa pessoa iluminada entra-se na minha vida, agradeço ainda pela paciência, por ajudar a superar minhas fraquezas, pela disponibilidade demonstrada em todos os momentos da nossa jornada, ensinado-me a transformar dificuldades em facilidades e, sobretudo, pela amizade em todos os momentos, muito contribuindo para meu aperfeiçoamento profissional e principalmente pessoal, respeitando o meu estilo de pesquisa e valorizando os meus saberes e competências;

A minha co-orientadora Prof^a Dr^a Clarissa Daisy da Costa Albuquerque, pelos conhecimentos transmitidos, com inteligência e sabedoria;

Ao professor Sérgio Paiva pelo apoio, pela paciência e principalmente por não poupar esforços na transmissão de conhecimentos;

A todos os Colegas do Laboratório do Núcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais, pela atenção e apoio, principalmente à equipe da Prof^a Dr^a Alexandra Amorim Salgueiro: Daniela Silva Gomes, Lívia Lima Noronha, Elma Larestre Vera Cruz pela amizade e companheirismo, e em especial a Walleska Rossane dos Santos pela paciência e dedicação na execução dos experimentos;

Aos meus amigos de turma do Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, que sempre me incentivaram e torceram pela minha vitória, Cíntia Rodrigues, Luiz Queiroz, Francisco Araújo, Selma Neide, Ormiro Joaquim e em especial a Adamares Marques e Ridelson Tavares, amigos que estarão para sempre em meu coração.

Aos Professores do Mestrado em Desenvolvimento de Processos Ambientais, Prof. Dr. Carlos Alberto Alves da Silva, Profa. Dr^a. Kaoru Okada, Prof. Dr. Valdemir Alexandre dos Santos e Profa. Dr^a. Eliane Cardoso Vasconcelos pelos ensinamentos e pela contribuição na formação do profissional;

A Rosileide Fontenele, pelo companheirismo e dedicação durante todo o Mestrado, minha eterna gratidão;

A professora Profa. Dr^a Galba Maria de Campos-Takaki, minha nova orientadora no doutorado, pelos ensinamentos no mestrado e principalmente por permitir a continuação da minha caminhada;

Aos funcionários da Universidade Católica de Pernambuco em especial, a Cláudio Roberto do NPCIAMB e Francisco de Santana, Francisco dos Santos, Genival de Moura e Dilma de Santana do laboratório de Química;

Aos funcionários do NPCIAMB, Sônia Maria de Souza, secretária do Núcleo e aos técnicos André Felipe, Severino Humberto de Almeida e Salatiel Joaquim (em memória) que foram pessoas que sempre se dispuseram a ajudar em todos os momentos;

Aos Professores Dr. Elias Tambourgi e Flávio Vasconcelos pelo apoio dado na UNICAMP;

Ao Prof. Dr. Nelson Durán e ao técnico Francisco do Laboratório de Química do Instituto de Química da UNICAMP, pelo apoio e ensinamentos;

À Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP), na pessoa do Reitor Prof. Dr. Pe Pedro Rubens Ferreira Oliveira pelo acesso e utilização das instalações do Núcleo de Pesquisa em Ciências Ambientais;

À Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) pelo apoio financeiro da bolsa de Mestrado;

À Coordenação de Pessoal de Ensino Superior (CAPES) pela concessão da bolsa para realização do intercâmbio com a UNICAMP pelo Projeto PROCAD.

SUMÁRIO

SUMÁRIO	viii
LISTA DE FIGURAS	x
LISTA DE TABELAS	xii
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
CAPÍTULO I	
1.1 Introdução	16
1.2 Objetivos	18
1.2.1 Objetivo Geral	18
1.2.2 Objetivos Específicos	18
1.3 Revisão da Literatura	19
1.3.1 Mandioca	19
1.3.2 Manipueira	21
1.3.3 Tratamento de efluentes	22
1.3.3.1 Tratamento preliminar de efluentes	22
1.3.3.2 Tratamento físico de efluentes	23
1.3.3.3 Tratamento químico de efluentes	24
1.3.3.4 Tanino	25
1.3.3.5 Tratamento biológico	25
1.3.3.5.1 Consórcio de microrganismo	26
1.3.3.5.2 Processo biológico aeróbio	28
1.3.3.6 Planejamento fatorial	29
1.4 Referências Bibliográficas	31
CAPÍTULO II	
Tratamentos de efluentes líquidos de unidades produtoras de farinha de mandioca	37
2.1 Resumo	38
2.2 Introdução	39
2.3 Material e métodos	41
2.3.1 Amostragem	41
2.3.2 Análises físico-químicas	41
2.3.3 Análises microbiológicas	42
2.3.4 Tratamento biológico do efluente	42
2.3.4.1 Obtenção do consórcio microbiano	42

2.3.4.2 Planejamentos experimentais do tratamento biológico	43
2.3.5 Tratamento físico-químico do efluente.....	44
2.4 Resultados e discussão.....	46
2.4.1 Caracterização da manipueira.....	46
2.4.2 Tratamento biológico.....	48
2.4.2.1 Obtenção de consórcio de microrganismos.....	48
2.4.2.2 Planejamentos experimentais no tratamento biológico.....	51
2.4.3 Tratamento físico-químico	57
2.5 Conclusões	69
2.6 Referências Bibliográficas	70
CAPÍTULO III	
Conclusões gerais	75

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO II - Tratamentos de efluentes líquidos de unidades produtoras de farinha de mandioca

Figura 1 - Obtenção da manipueira pela prensagem da mandioca.....	41
Figura 2 – Biorreator de vidro de bancada com agitação e aeração controladas para obtenção de consórcio microbiano.....	42
Figura 3 – Tratamento biológico da manipueira no “shaker”	43
Figura 4 – Tratamento físico-químico da manipueira no <i>Jar test</i>	44
Figura 5 - Curva de crescimento bacteriano e variação de pH no cultivo de um consórcio microbiano obtido a partir do efluente da produção de farinha de mandioca... ..	51
Figura 6 - Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores o pH, cloreto de amônio e concentrações do consórcio microbiano, como variável resposta a DQO do efluente por 24 h.....	53
Figura 7 - Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores o pH, cloreto de amônio e concentrações do consórcio microbiano, como variável resposta a DQO do efluente por 48 h.	53
Figura 8 - Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e o cloreto de amônio, como variável resposta a DQO do efluente.....	55
Figura 9 - Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e o cloreto de amônio, como variável resposta a turbidez do efluente.....	56
Figura 10 - Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores o pH e as concentrações de tanino e Polipan e, como variável resposta a DQO do efluente.	59
Figura 11 - Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores o pH e as concentrações de tanino e Polipan e, como variável resposta a turbidez do efluente.	60
Figura 12 - Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores o pH e as concentrações de tanino e Polipan e, como variável resposta o cianeto do efluente.....	60

Figura 13 - Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e as concentrações de tanino, como variável resposta a DQO do efluente.....	63
Figura 14 - Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e as concentrações de tanino, como variável resposta a turbidez do efluente.	63
Figura 15 - Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e as concentrações de tanino, como variável resposta o cianeto do efluente.	64
Figura 16 - Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e as concentrações de tanino, como variável resposta a DQO do efluente.....	66
Figura 17 - Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e as concentrações de tanino, como variável resposta a turbidez do efluente.	66
Figura 18 - Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e as concentrações de tanino, como variável resposta o cianeto do efluente.	67

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO II

Tabela 1 - Fatores e níveis investigados no 1º planejamento fatorial do tratamento biológico da manipueira	43
Tabela 2 - Fatores e níveis investigados no 2º planejamento fatorial do tratamento biológico da manipueira	44
Tabela 3 - Fatores e níveis investigados no 1º planejamento fatorial do tratamento físico-químico da manipueira	45
Tabela 4 - Fatores e níveis investigados no 2º planejamento fatorial do tratamento físico-químico da manipueira	45
Tabela 5 - Fatores e níveis investigados no 3º planejamento fatorial do tratamento físico-químico da manipueira	45
Tabela 6 – Composição físico-química da manipueira	46
Tabela 7 – Caracterização físico-química e microbiológica da manipueira	47
Tabela 8 – Contagens de colônias de bactérias dos consórcios microbianos obtidos a partir do efluente da produção de farinha de mandioca.....	50
Tabela 9 – Resultados de DQO das amostras dos consórcios microbianos	51
Tabela 10 – Matriz do 1º planejamento fatorial do tratamento biológico da manipueira e resultados das variáveis respostas	52
Tabela 11 – Matriz do 2º planejamento fatorial do tratamento biológico da manipueira e resultados das variáveis respostas	54
Tabela 12 –Eficiências da remoção de DQO e turbidez do 2º planejamento do tratamento biológico	55
Tabela 13 – Matriz do 1º planejamento fatorial e resultados das variáveis respostas do tratamento físico-químico da manipueira.....	58
Tabela 14 –Eficiências da remoção de DQO, turbidez e cianeto	58
Tabela 15 – Matriz do 2º planejamento fatorial e resultados das variáveis respostas do tratamento físico-químico da manipueira.....	61
Tabela 16 –Eficiências da remoção de DQO, turbidez e cianeto	62
Tabela 17 – Matriz do 3º planejamento fatorial e resultados das variáveis respostas do tratamento físico-químico da manipueira.....	65
Tabela 18 –Eficiências da remoção de DQO, turbidez e cianeto	65

RESUMO

A mandioca (*Manihot esculenta*) é a terceira cultura mais importante do país na alimentação básica da população. A produção de farinha de mandioca gera um efluente denominado manipueira que contém elevada quantidade de matéria orgânica e cianeto. O objetivo deste trabalho foi investigar a remoção da demanda química de oxigênio (DQO), turbidez e cianeto da manipueira por tratamentos físico-químico e biológico. No tratamento físico-químico por coagulação-floculação, três planejamentos fatoriais completos foram realizados para investigar os fatores: pH, tanino e o polímero sintético auxiliar da floculação (Polipan) sobre as variáveis respostas: DQO, turbidez e cianeto. A eficiência máxima de remoção de DQO foi 91 % a pH 8,0, na presença de tanino 1,0 mL/L e Polipan 0,030 ppm. A maior remoção de turbidez (75 %) foi determinada a pH 8 e tanino 0,8 mL/L, na ausência do Polipan para diminuir os custos do tratamento. Nessas condições, a redução máxima de cianeto foi de 12 %. Nos tratamentos biológicos aeróbios durante 48 h, as eficiências máximas de redução de DQO 88 % e de turbidez 69 % foram determinadas na presença de consórcio microbiano 20 % v/v, cloreto de amônio 5 - 6 % e a pH 8,0. Para os tratamentos físico-químico e biológico, os resultados obtidos mostram que o pH 8 foi fator chave para remoção de compostos orgânicos e do cianeto da manipueira. Os tratamentos da manipueira por coagulação-floculação e por consórcio microbiano diminuem a carga orgânica desse efluente antes de ser lançado nos recursos hídricos.

Palavras-chaves: manipueira, coagulação-floculação, consórcio microbiano, tratamento biológico aeróbio, planejamento fatorial.

ABSTRACT

Cassava (*Manihot esculenta*) is the third most important crop in the basic food of the Brazilian population. The production of cassava flour generates an effluent, called “manipueira”, containing high organic matter and cyanide. The objective of this study was to investigate the removal of chemical oxygen demand (COD), turbidity and cyanide from cassava wastewater by physical-chemical and biological treatments. In the physical-chemical treatment by coagulation-flocculation, three full factorial designs were carried out to investigate the factors: pH, tannin concentration and the flocculation polymer (Polipan) concentration on the response variables: COD, turbidity and cyanide. The maximum efficiency for COD removal was 91 % at pH 8.0 in the presence of tannin 1.0 mL/L and Polipan 0.030 ppm. The highest removal of turbidity (75 %) was determined at pH 8 and tannin 0.8 mL/L in the absence of Polipan to reduce the costs of treatment. Under these conditions, the maximum removal of cyanide was 12 %. In the aerobic biological treatment for 48 h, the maximum efficiencies for COD reduction of 88 % and for turbidity reduction of 69 % were determined in the presence of the microbial consortium 20 % v/v, ammonium chloride 5 – 6 % and at pH 8.0. For the treatments, physical-chemical and biological, the results show that pH 8 is a key factor for removal of organic compounds and cyanide from cassava wastewater. The treatments of the “manipueira” by coagulation-flocculation and by microbial consortium decrease the pollution of this effluent before being launched in the water resources.

Keywords: “manipueira”, coagulation-flocculation, microbial consortium, aerobic biological treatment, factorial design.

CAPÍTULO I

1.1 Introdução

Nas últimas décadas, os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais frequentes e mais críticos, principalmente pelo crescimento populacional desordenado e o aumento das atividades industriais. Ações antrópicas têm atingido dimensões catastróficas observadas através de alterações na qualidade do solo, do ar, da água e do clima.

A mandioca é uma planta pertencente à família *Euphorbiaceae*, originária da América tropical. É cultivada em países da África, Ásia, Oceania e América Latina, onde suas raízes constituem importantes fontes alimentícias, rica em calorias e carboidratos. Cultivada praticamente em todo território brasileiro, cujos diferentes resíduos (casca de mandioca, farinha de varredura, entre outros) podem ser utilizados na alimentação animal, por ter considerável valor energético. A farinha de mandioca destinada a consumo humano é resultante do processamento desse tubérculo e apresenta boa disponibilidade, a baixo custo, em regiões de intensa produção no território brasileiro (GOMES, PENA, 1997; MARTINS et al., 2000).

O processamento de raízes da mandioca para produção de farinha ou fécula gera grande quantidade de casca e manipueira (TAKAHASHI, 1987). A manipueira contém elevada concentração de matéria orgânica que possibilita sua ampla utilização na agricultura (VIEITES, BRINHOLI, 1994). A quantidade de manipueira atinge no mínimo 250 L para cada tonelada de raiz de mandioca processada e sendo um efluente geralmente destinado a tanques de decantação (FIORETTO, 1987).

Estudos de biodegradação expressam a busca contínua de microrganismos versáteis, capazes de degradar de maneira eficiente grande número de poluentes a baixo custo operacional. Na prática, sabe-se que é difícil atingir a mineralização, principalmente em função da diversidade, concentração e composição das substâncias químicas presentes em cada efluente (CONNELL, 1997).

Os processos de tratamento físico-químicos, coagulação, floculação, flotação e sedimentação, apresentam elevada eficiência na remoção de material particulado. Nas indústrias, o efluente tratado através desses processos pode ser neutralizado, proporcionando melhorias na relação custo x benefício, além das vantagens ambientais com seu reuso (TCHOBANOGLIOUS et al., 2002).

Em função desse panorama, muitas pesquisas têm sido realizadas buscando desenvolver tecnologias capazes de minimizar o volume e a toxicidade dos efluentes industriais. A aplicabilidade das etapas de tratamento está subordinada ao

desenvolvimento de processos modificados e ao estabelecimento de sistemas de reciclagem de efluentes, atividades que implicam em tecnologias evolutivas na linha de desenvolvimento sustentável. Assim, o estudo de novas alternativas para o tratamento dos efluentes industriais continua sendo uma das principais estratégias de combate à poluição antropogênica (KELLER, 2000).

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo geral deste trabalho foi investigar as eficiências dos tratamentos físico-químicos e biológicos do efluente da produção de farinha de mandioca.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Caracterizar o efluente gerado no processo de fabricação da farinha de mandioca;
- realizar estudos de tratabilidade da manipueira por processos físico-químicos e biológicos;
- determinar as eficiências de remoção da demanda química de oxigênio (DQO), da turbidez e do cianeto da manipueira por tratamentos físico-químicos e biológicos.
- Investigar as interações entre as variáveis pH, tanino e Polipan no tratamento por coagulação-floculação.

1.3 Revisão de Literatura

1.3.1 Mandioca

A mandioca (*Manihot esculenta*) é um dos principais ícones da agricultura brasileira. Mais de 80 países produzem mandioca, cuja produção está direcionada principalmente para o consumo humano. O Brasil participa com mais de 15 % da produção mundial, sendo atualmente o segundo maior produtor. Segundo a FAO, a produção máxima atingiu 30 milhões de toneladas na Nigéria em 2002. A área plantada no Brasil em 2008 é de 1,7 milhões de hectares. A produção brasileira segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB) foi de 22,6 milhões de toneladas de raízes; desse total, apenas 0,5 % são exportados (EMBRAPA, 2009).

Esse tubérculo é um alimento comum em países tropicais e semitropicais. De fácil adaptação, a mandioca é tradicionalmente cultivada em todos os estados brasileiros; situa-se entre os nove primeiros produtos agrícolas do país em termos de área cultivada e o sexto em valor de produção. O estado do Pará com 17,9 % dessa produção é o primeiro colocado. Toda a mandioca produzida no país é consumida em forma de farinha e de fécula (MATSUURA et al., 2003; MARTINS et al., 2000).

A maior parte do valor energético da planta está nas raízes tuberosas, com alto teor de carboidratos (amido) que são largamente utilizadas na alimentação humana e animal, e também como matéria-prima para diversos perfis de indústrias. O conteúdo nutricional da parte aérea, rica em proteínas, carboidratos, minerais e vitaminas, também possibilitam seu uso na alimentação humana e animal, em regiões de predominância da pecuária (BEZERRA, 2000).

Nos últimos trinta anos, a área cultivada com mandioca diminuiu, principalmente no Nordeste; essa cultura expandiu apenas em Mato Grosso do Sul em virtude da instalação de grandes indústrias produtoras da fécula (CAVALCANTI, 2004).

A produção brasileira atingiu o máximo de 30 milhões de toneladas de mandioca no início da década de 70, e se estabilizou em torno de 24 milhões de toneladas no período de 1972 a 1987; atingiu o mínimo, de cerca de 20 milhões de toneladas no início do século XXI (FERNANDES-JR, 2001).

O Nordeste é a maior região consumidora de farinha de mesa e, freqüentemente, importa o produto de São Paulo e Paraná devido à eventual redução de produção provocada por irregularidade climática e ou devido aos menores preços da farinha nos referidos estados. Nas regiões mais secas do semi-árido (agreste e Cariri), as chuvas são

escassas e o período chuvoso irregular não permite a oferta de matéria-prima de boa qualidade e por longo período para viabilizar um baixo custo operacional nas indústrias. Conseqüentemente, essa região não oferece condições para competir com as farinhas produzidas na região sul e sudeste do Brasil. Além disso, a farinha é considerada um produto inelástico, cujo consumo não aumenta com o aumento de renda da população e apresenta tendência de redução de consumo com o aumento da urbanização. A indústria da mandioca (farinha de mandioca e fécula) é limitada pela necessidade de grande quantidade de água de boa qualidade, nem sempre disponível na área mais seca do semi-árido, além de ser grande poluidora do meio ambiente (CAVALCANTI, 2004).

A mandioca é uma planta heliófila, perene, arbustiva, de cultura anual, extensamente cultivada em regiões tropicais de todo o mundo devido a suas raízes comestíveis. Nos trópicos, após o arroz e o milho, é a terceira mais importante fonte de calorias na alimentação humana (RIMOLDI et al., 2003).

Há espécies que apresentam baixa toxicidade e podem ser consumidas diretamente (denominadas de mandioca de mesa) as quais servem para alimentar o gado com cascas e folhas. As mandiocas são classificadas quanto à toxicidade em função do teor do HCN; mansas é a denominação da mandioca que contém menos de 50 mg HCN/Kg de raiz fresca sem casca; moderadamente venenosa quando apresenta 50 a 100 mg HCN/Kg de raiz fresca sem casca; venenosa ou brava, acima de 100 mg HCN/Kg de raiz fresca sem casca. A toxicidade da planta limita o seu emprego, tanto na alimentação humana como na nutrição animal. As técnicas de processamento industrial para diminuição do princípio tóxico baseiam-se em processos de maceração, embebição em água, fervura, torrefação ou fermentação das raízes de mandioca, ou ainda, a combinação desses processos (CAGNON et al., 2002).

Dentre as vantagens da cultura de mandioca, ressaltam-se: obtenção de altas produtividades, tolerância a seca e a solos degradados ou ácidos, grande flexibilidade no plantio e na colheita e fácil adaptação a ambientes, onde o plantio de outras culturas é mais arriscado (ASPIAZÚ, 2009).

A produção interna projetada pela CONAB para 2008 abrange uma área plantada de 1,7 milhões de hectares, com rendimento médio de 14 t/ha. Essa produtividade é muito baixa se for considerado o potencial de produção da cultura que atinge aproximadamente 100 - 150 t/ha na África, principal produtor. Um dos fatores que tem contribuído para a baixa produtividade da cultura em nível nacional é o manejo inadequado das plantas daninhas. Normalmente, os produtores de mandioca acreditam que, por ser essa cultura rústica, não precisam se preocupar muito com o controle das

plantas daninhas, as quais estão sempre presentes nos mandiocais (ALBUQUERQUE, 2006).

1.3.2 Manipueira

O efluente da produção de farinha de mandioca tem como principal componente a manipueira, que em tupi-guarani quer dizer “o que brota da mandioca”, líquido resultante da prensagem desse tubérculo. Contem elevada concentração de matéria orgânica, notadamente carboidratos, além de cianeto. Esse efluente causa impacto negativo no meio ambiente quando dispensado em mananciais e no solo devido à carga poluente orgânica. A preocupação com o resíduo manipueira é de importância relevante, já que a produção da farinha de mandioca gera entre 267 a 419 litros desse resíduo para cada tonelada de raiz processada (CEREDA, 2001).

A mandioca acumula dois glicosídeos cianogênicos nas raízes e folhas, linamarina e lotaustralina, em proporções aproximadas de 93:7. Esses dois glicosídeos são capazes de gerar ácido cianídrico por hidrólise. Quando o tecido vegetal é dilacerado, a linamarina é hidrolisada por uma enzima glicosidase, denominada de linamarase. Essa clivagem produz glicose e hidroxinitrila. Essa última substância quando catalisada por uma liase, transforma-se espontaneamente em HCN e nas cetonas correspondentes (CEREDA, 2003). Embora essa reação possa não ocorrer na planta, enzimas presentes no trato digestivo dos animais e seres humanos possuem a capacidade de efetivá-la, podendo advir sintomas de intoxicação, dependendo da quantidade e tipo de alimento ingerido (CAGNON et al., 2002).

Apesar das maiores fontes de agentes poluidores serem os descartes de processos de mineração, usinas siderúrgicas, indústrias químicas e estações de tratamento de água, a presença de cianeto na manipueira, causa impacto negativo no meio ambiente e riscos à saúde pública pela sua toxicidade, em especial quando esse efluente é lançado diretamente nos recursos hídricos (YONG, 2001).

Segundo Barana (2008), apesar da manipueira ser um potente agente poluidor, dezenas de vezes superiores ao esgoto doméstico, ela é aproveitada na alimentação animal, no controle de pragas e de doenças de plantas, assim como apresenta potencial para produção de biogás. Esse resíduo tem causado poluição nos locais de processamento da raiz da mandioca, em praticamente todos os municípios que fazem seu uso. O aproveitamento desse resíduo tem como principais obstáculos, a própria desorganização dos produtores/processadores de mandioca, inexistência de estruturas

de aproveitamento, o enorme volume gerado de manipueira e o próprio desconhecimento sobre o seu potencial de uso. É comum esse efluente ser lançado diretamente nos corpos d'água e no próprio ambiente circundante, formando enormes lagos.

1.3.3 Tratamento de efluentes

A disposição no ambiente de resíduos gerados em diversas atividades industriais tem resultado em freqüentes relatos de poluição ambiental. Tais problemas levaram as autoridades a elaborar medidas efetivas para minimizar a poluição. Entre essas medidas, podem ser citadas: a redução da produção de resíduos, a utilização de tecnologias que gerem resíduos menos poluentes, tratamento adequado dos resíduos antes de sua disposição no ambiente e reaproveitamento dos resíduos em outras atividades ou reciclagem. Atualmente, as alternativas de valorização de resíduos através do seu aproveitamento são muito incentivadas, já que podem contribuir para a redução da poluição ambiental, bem como permitir a valorização econômica desses resíduos, tornando-os subprodutos (CEREDA, 2001).

No caso específico da manipueira, os elevados valores de carboidratos, proteínas e lipídios que apresenta conferem aos sistemas aquáticos receptores, elevada carga orgânica. Quando efluentes ricos em matéria orgânica são lançados sem tratamento adequado, a concentração de oxigênio dissolvido é reduzida pelos microrganismos e coloca em risco o ecossistema aquático (SPERLING, 2005).

Esse efluente tem sido reaproveitado no desenvolvimento tecnológico de produção de metabólito comercializável por cultivo de microrganismos. A carga poluidora de resíduos industriais, quando utilizada como fonte de nutrientes, minimiza o problema do manejo dos efluentes, aliado à preservação ambiental. Por outro lado, muitos estudos foram realizados com intuito de desenvolver tecnologias capazes de minimizar o volume e a toxicidade de efluentes industriais (BRANCO, 1967; CAMPOS et al., 2006; FERNANDES-JR, 2001).

Os contaminantes presentes nos efluentes líquidos são removidos por meios físicos, químicos e biológicos. Os métodos são normalmente classificados em tratamento preliminar, operação física, processo químico e processo biológico.

1.3.3.1 Tratamento preliminar de efluente

O tratamento preliminar de efluentes é definido como a remoção dos constituintes desse líquido que podem causar problemas de manutenção ou operação nas etapas de

tratamento, processos e sistemas auxiliares. Remove apenas sólidos muito grosseiros, flutuantes e matéria mineral sedimentável. Os processos de tratamento preliminar utilizam grades, desarenadores (caixa de areia) e caixas de retenção de óleo e gordura (DI-BERNARDO, DANTAS, 2005).

1.3.3.2 Tratamento físico de efluente

O tratamento físico de efluentes envolve operações físicas que são métodos de tratamento nos quais predomina a aplicação de forças físicas. Como a maioria destes métodos envolve diretamente observações naturais, foram os primeiros a serem utilizados para o tratamento de efluentes líquidos.

As principais operações do tratamento físico são: a) peneiramento: remoção de materiais grosseiros e sedimentáveis por interceptação; b) trituração: redução de tamanho de sólidos grosseiros para um tamanho menor ou mais uniforme; c) equalização de fluxo: usada para superar os problemas operacionais causados pelas variações de fluxo, para melhorar o desempenho de processos posteriores e para reduzir o tamanho e custo dos equipamentos; d) mistura: quando compostos químicos (gases) são misturados ao efluente para manter sólidos em suspensão; e) sedimentação: separação dos sólidos da água, por decantação gravitacional de partículas suspensas; f) filtração: remoção de sólidos suspensos finos residuais, utilizando material de porosidade controlável que retém as partículas; g) flotação: operação unitária usada para separar partículas sólidas ou líquidas de uma fase líquida por injeção de ar; e h) floculação: promove a agregação de pequenas partículas em partículas maiores para facilitar sua remoção por sedimentação gravitacional (DI-BERNARDO, DANTAS, 2005).

Na floculação, são utilizados coagulantes químicos como sais de alumínio e de ferro que reagem com a alcalinidade presente ou adicionada nas águas residuárias, formando hidróxidos que desestabilizam colóides, partículas em suspensão, pela redução do seu potencial zeta a valores próximos de zero, denominado ponto isoelétrico (DI-BERNARDO, DANTAS, 2005).

A decantação objetiva a sedimentação da matéria floculada sob ação da gravidade. Essa etapa é viabilizada pela floculação quando coágulos tornam-se mais densos e estáveis, formando os flocos. Os flocos sedimentam, arrastando além dos compostos poluentes, muitos microrganismos. O período da permanência da água em um decantador deve ser superior ao tempo necessário para que a partícula se desloque desde a superfície até o fundo do tanque (SPERLING, 2005).

1.3.3.3 Tratamentos químicos de efluentes

Os tratamentos químicos são processos usados para tratar efluentes cujas alterações ocorrem por meio de transformações químicas dos substratos. Geralmente ocorrem reações de precipitação entre substâncias adicionadas e os poluentes. Essas reações químicas aliadas ao processo físico, de coagulação-floculação é um dos processos mais empregado de tratamento de efluente.

Os processos físicos e químicos por coagulação-floculação de águas residuárias, decorrentes dos processos industriais é largamente utilizado para reduzir a carga orgânica, considerando a elevada eficiência na remoção, a praticidade operacional e os custos envolvidos. Na maioria das vezes, esse tratamento precede o tratamento biológico auxiliando na remoção de fósforo e de sólidos suspensos (DI-BERNADO, DANTAS, 2005).

A coagulação é empregada para remoção de substâncias em suspensão ou coloidal. Os colóides são representados por partículas que têm tamanhos de 0,1 a 1 nm. Essas substâncias causam cor e turbidez no efluente. As partículas coloidais não sedimentam e não são removidas por processos de tratamento físicos convencionais. Esses compostos possuem propriedades elétricas que geram uma força de repulsão e impedem a aglomeração e sedimentação. Na maioria dos efluentes industriais, o colóide possui carga negativa, se suas características não forem alteradas, permanece no meio líquido (VANACÔR, GEHLING, 2007).

O processo de coagulação consiste na mistura do coagulante (inorgânico ou orgânico) com o efluente que produz em solução, íons positivos por hidrólise em meio alcalino cujo processo é extremamente rápido. Esses íons desestabilizam as cargas negativas dos colóides e sólidos em suspensão, permitindo a aglomeração das partículas e conseqüente, formação dos coágulos (BARRADAS, 2004).

Polímeros orgânicos naturais e sintéticos têm sido utilizados como coadjuvantes da coagulação no tratamento da água; atuam como uma ponte para o coagulante ajudar na remoção das partículas formadas quando sais de alumínio ou de ferro são utilizados como coagulante. Logo, na etapa de floculação, os grandes agregados de flocos que arrastam os poluentes, precipitam mais rapidamente e conseqüentemente, a eficiência do processo é maior. Esse processo é muito aplicado no tratamento da água para abastecimento de água potável (DI-BERNADO, DANTAS, 2005).

1.3.3.4 Tanino

O tanino apresenta alto peso molecular sendo constituído por compostos aromáticos policíclicos amplamente distribuídos no reino vegetal. É encontrado nas folhas, frutos, cascas, raízes e madeira de árvores. Esses compostos são particularmente importantes, como matéria-prima para curtir couros, na perfuração de petróleo, na produção de adesivos, no tingimento de tecidos, assim como em indústrias farmacêuticas e em tratamento de efluentes industriais. O tanino tem sido utilizado na coagulação há mais de três décadas como coagulante primário. Coagulação com polímero orgânico seguido de sedimentação pode tratar efluentes industriais quando os flocos formados são suficientemente densos (OZACAR, SENGIL, 2003).

Os taninos são compostos insolúveis que de acordo com a sua estrutura química podem ser divididos em duas categorias (BARROS, NOZAKI, 2002; PIZZI, 1993):

- os hidrolisáveis possuem um grupo carboidrato e sofrem hidrólise ácida, alcalina ou enzimática, são classificados em galotaninos que liberam o ácido gálico e seus derivados por hidrólise ácida e em elagitaninos que por hidrólise, liberam ácido elágico e ácido valônico;
- os condensados apresentam estrutura polimérica de unidades de pigmentos flavonóides com diferentes graus de condensação, associada a seus precursores.

O coagulante apresenta alta capacidade de associação com proteínas e carboidratos; atua em sistemas coloidais com ação neutralizantes de cargas e forma pontes entre as partículas. Esse processo é responsável pela formação de flocos e conseqüente, sedimentação. Dentre os floculantes orgânicos biodegradáveis de origem vegetal, o tanino é utilizado em muitas empresas de saneamento para tratamento de efluentes e de águas de abastecimento (ÖZACAR, SENGIL, 2003). Esse agente apresenta também as vantagens de não alterar o pH da água e ser efetivo na faixa de pH entre 4,5 e 8,0 (MORAES et al., 2005).

1.3.3.5 Tratamento biológico

Processos biológicos são métodos de tratamento realizados por meio de atividades de bactérias, leveduras, fungos filamentosos e protozoários para remoção de contaminantes. Nesses tratamentos, as substâncias orgânicas biodegradáveis (coloidais ou dissolvidas) são metabolizadas por microrganismos que utilizam os compostos orgânicos como fonte de carbono e de energia. Inicialmente, os organismos produzem os sistemas enzimáticos específicos requeridos em função dos substratos presentes. Quando a biodegradação é completa, as substâncias são convertidas em gás carbônico,

metano e água. Às vezes, após esse tratamento, a biomassa é removida por sedimentação (CONNELL, 1997).

Nos últimos anos, o desenvolvimento da microbiologia tem propiciado varias alternativas que viabilizam o tratamento biológico de efluentes industriais. (ORHON et al., 1999, apud FREIRE et al., 2000).

A capacidade dos microrganismos de degradar compostos orgânicos é cientificamente reconhecida e vem sendo utilizada ao longo do tempo em processos de tratamento biológico de efluentes líquidos e de resíduos sólidos. Devido a essa habilidade dos microrganismos, foram desenvolvidos processos biotecnológicos destinados a diversas finalidades, dentre os quais se destacam a degradação de poluentes e a recuperação de locais contaminados (solo, águas superficiais e subterrâneas). Os microrganismos podem ser encontrados no próprio ambiente impactado, sendo na maioria das vezes, os responsáveis pelo desaparecimento de contaminantes na natureza (OLIVEIRA, SOUZA, 2003).

O tratamento biológico fundamenta-se na utilização de compostos poluentes como substrato para o crescimento e manutenção de microorganismos. Dependendo da natureza do aceptor de elétrons, os processos biológicos podem ser divididos em aeróbios ou anaeróbios. Nos aeróbios, que levam à formação de CO_2 e H_2O , o aceptor de elétrons é o oxigênio molecular. Nos anaeróbios, que degradam a matéria orgânica a CO_2 e CH_4 , o oxigênio molecular está ausente, sendo que participam como aceptores de elétrons algumas formas de carbono, enxofre e nitrogênio, respectivamente, CO_2 , SO_4^{2-} e NO_3^- (SANTAELLA et al., 2009; SARATALE et al., 2009). A eficiência de remoção da matéria orgânica presente nos rejeitos industriais é usualmente medida na forma de demanda bioquímica de oxigênio (DBO), demanda química de oxigênio (DQO) ou carbono orgânico total.

1.3.3.5.1 Consórcio de microrganismo

Os processos biológicos são utilizados no tratamento de efluente pela utilização de uma mistura microbiana denominada "consórcio", especializado em degradar ou tolerar diversos compostos. Grupos específicos de microrganismos metabolizam apenas limitada gama de substratos e, portanto, populações mistas com amplo poder enzimático e sinergismo, relaciona-se de forma interativa. Contudo, devem ser considerados as atividades enzimáticas específicas (habilidades) e os co-metabolismos dos microrganismos presentes no consórcio efetivo (SCHLEGEL, 1992).

A biodegradação depende da presença de uma população microbiana, diversificada e estável e da interação entre os diversos microrganismos presentes no meio. Entre outros fatores que nem sempre são controlados com facilidade, ressalta-se o pH e a temperatura. Além disso, o longo tempo de degradação e a grande área necessária para a implantação das estações desse tratamento podem dificultar a aplicação dos processos biológicos (SPERLING, 2005). A utilização de consórcios microbianos tem sido investigada para reduzir o tempo de degradação aeróbia de substâncias presentes em efluentes por ação de espécies não identificadas que atuam em sinergismo (ABRAHAM et al., 2008).

O processo de biodegradação pode ser acelerado pela utilização das técnicas de bioestimulação e de bioaugmentação. Na bioestimulação, nutrientes são adicionados e as condições ambientais otimizadas, visando ao desenvolvimento de populações nativas de microrganismos. Pela bioaugmentação, são adicionados microrganismos capazes de degradar rapidamente contaminantes específicos (FENIMAN et al., 2006).

A eficiência do crescimento do consórcio microbiano depende da concentração de poluentes, da sua disponibilidade como fonte de carbono, da temperatura e do pH, entre outros parâmetros. A suplementação nutricional acelera o processo de biorremediação. A adição de grande quantidade de poluentes deve ser balanceada com relação à concentração de C:N para que seja favorável à atividade microbiana. Nos casos em que comunidades naturais de degradação estão presentes em número reduzido ou mesmo ausentes, a bioaugmentação pode acelerar o processo de degradação (TCHOBANOGLIOUS et al., 2002).

O óleo bruto e derivado de petróleo constitui uma mistura complexa de diferentes classes de hidrocarbonetos. Um único organismo não é capaz de degradar completamente uma área contaminada, e, portanto é interessante o uso de um consórcio microbiano com várias amostras de microrganismos, para promover biorremediação mais efetiva (SANTAELLA et al., 2009).

No Brasil, os processos de biorremediação ainda são pouco empregados, provavelmente devido à necessidade de maiores adequações do processo para ações *in situ* em curto prazo. Algumas áreas contendo uma mistura complexa de contaminantes, onde a remediação rápida se faz necessária pelo perigo à saúde pública, várias técnicas conjugadas de biorremediação podem ser empregadas no intuito de acelerar o processo. Ao longo prazo, a microbiota fica adaptada ao local e os compostos são mineralizados pela ação intermitente dos microrganismos. A biorremediação no país deve ser

observada com especial atenção, uma vez que há uma microbiota rica, um clima tropical e ambiente com características que propiciam a vida microbiana (CETESB, 2009).

A bioaugmentação deve ser realizada utilizando microrganismos com conhecida habilidade metabólica para os solos contaminados, capazes ainda de competirem com a microbiota natural dos locais de tratamento e manterem sua competência na degradação dos compostos poluentes. A taxa de biodegradação natural em solos contaminados é na maioria das vezes baixa, devido à falta de microrganismos na microbiota natural com capacidade de metabolizar os contaminantes (CONNELL, 1997).

1.3.3.5.2 Processo biológico aeróbio

O processo aeróbio fundamenta-se na utilização de microrganismos que requerem oxigênio molecular para o seu metabolismo. As formas mais comuns de aplicação industrial estão representadas pelas lagoas aeradas e pelos sistemas de lodos ativados. Nas lagoas aeradas, os efluentes são submetidos à ação de consórcios de organismos, muitas vezes de composição desconhecida, durante vários dias. Neste tipo de tratamento, a toxicidade aguda é removida com relativa facilidade. No entanto, outros parâmetros importantes, como cor e toxicidade crônica, não são eficientemente reduzidos. Além disso, alguns problemas associados às perdas de substratos tóxicos por volatilização e contaminação de lençóis freáticos por percolação, são também bastantes críticos. A toxicidade aguda corresponde a efeitos adversos que ocorrem em um curto período de tempo, geralmente até 14 dias, após a exposição de um organismo a única dose da substância (poluente) ou depois de múltiplas doses em até 24 h enquanto a toxicidade crônica envolve efeitos adversos que ocorrem em um organismo durante a maior parte do seu ciclo de vida (FREIRE et al., 2000).

O tratamento por lodos ativados talvez seja o sistema de biorremediação mais versátil e eficiente. Esse sistema opera com pouco substrato auxiliar e é capaz de remover a toxicidade crônica e aguda, com menor tempo de aeração. No lodo, existe grande número de espécies bacterianas, fungos, protozoários e outros microorganismos que podem favorecer a redução de grande diversidade de compostos. Esse processo, desenvolvido na Inglaterra no início do século XX, é utilizado nos mais diversos tipos de efluentes, inclusive no tratamento de esgotos sanitários (DI-BERNADO-DANTAS, 2005).

Um dos graves problemas associados ao tratamento aeróbio de efluentes corresponde às perdas de substratos tóxicos por volatilização. Para evitar a poluição do ar, sistemas de biorreatores que operam com membranas, foram desenvolvidos e

utilizados com sucesso no tratamento de efluentes, retendo as substâncias voláteis (TCHOBANOGLIOUS et al., 2002).

Segundo Rosenberg et al. (1992), as fontes usuais de nitrogênio e fósforo possuem alta solubilidade em água, limitando a utilização dessas fontes em sistemas abertos (águas e solos contaminados no tratamento *in situ*) devido a sua rápida diluição. Os autores sugerem a utilização de outras fontes de nitrogênio e fósforo menos solúveis, tais como fertilizantes hidrofóbicos na forma de P_2O_5 .

1.3.3.6 Planejamento fatorial

O procedimento para execução do planejamento e análise dos resultados normalmente segue as seguintes etapas:

- a) reconhecer e definir o problema que depende da experiência adquirida no estudo de processos semelhantes;
- b) escolher as variáveis (fatores de influência) e as faixas de valores em que essas variáveis serão avaliadas;
- c) definir o nível específico (valor) para cada variável;
- d) escolher a variável resposta;
- e) executar os experimentos, monitorando-os e controlando-os;
- f) analisar os resultados, utilizando métodos estatísticos;
- g) elaborar as conclusões e recomendações, permitindo que decisões sejam tomadas a respeito do processo em estudo.

A idéia básica do método é executar um conjunto de experimentos de modo a considerar todas as possíveis variações dos fatores em estudo, ao mesmo tempo, determinando as interações entre esses fatores com um número mínimo de experimentos, fazendo uma triagem e descarte das variáveis não significativas, visando à racionalização do experimento. Os experimentos fatoriais são realizados para determinar a influência de uma ou mais variáveis independentes (fatores) sobre uma ou mais variáveis dependentes (respostas) de interesse. O objetivo final é propor uma função matemática que represente cada sistema, ou pelo menos que se aproxime de um modelo satisfatório. Os erros padrão são calculados, a superfície de resposta é proposta e as curvas de nível são ajustadas, visando à otimização do processo (BARROS-NETO, SCARMINIO, BRUNS, 2005).

O planejamento experimental é uma ferramenta essencial no desenvolvimento de novos processos e no aprimoramento de processos em utilização. Representa um conjunto de ensaios estabelecidos com critérios científicos e estatísticos e objetiva

determinar a influência de diversas variáveis nos resultados de um dado sistema ou processo.

1.2 Referências Bibliográficas

ABRAHAM, T. E.; SENAN, R. C.; SHAFFIQU, T. S.; ROY, J. J.; POULOSE, T. P.; THOMAS, P. P. Bioremediation of textile azo dyes by an aerobic bacterial consortium using a rotating biological contactor. **Biotechnology Progress**, Estados Unidos, v. 19, n. 4, p. 1372-1376, sep., 2008.

ALBUQUERQUE, J. A. A. **Interferência de plantas daninhas e do feijão sobre a cultura da mandioca**. 2006. 56f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2006.

ASPIAZÚ, I. **Interferência de Plantas daninhas em características fisiológicas e produtivas de plantas de mandioca**. 2009. 32 f. Tese (Doutorado em Fitotecnia). Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2009.

BARANA, A. C. Despoluição da manipueira e uso em fertilização do solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE A MANIPUEIRA, 1. **Anais...** Vitória da Conquista: Uesb, 2008. 1CD.

BARRADAS, J. L. D. **Tanino** - uma solução ecologicamente correta: agente floculante biodegradável de origem vegetal no tratamento de água. Novo Hamburgo, 2004.

BARROS, M. J; NOZAKI, J. Redução de poluentes de efluentes das indústrias de papel e celulose pela floculação/coagulação e degradação fotoquímica. **Química Nova**, São Paulo, v. 25, n. 5, p.736-740, dec., 2002.

BARROS-NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. **Como fazer experimentos - pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria**. Campinas, Editora da Unicamp, 2005.

BEZERRA, V. S. **Alterações na composição química e cocção de raízes de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) minimamente processadas**. 2000. 65 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo). Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2000.

BRANCO, M. S. A dinâmica de populações microbiológicas na estabilização aeróbia de resíduos orgânicos de fecularias de mandioca. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 1, n. 2, p.126-140, dec., 1967.

CAGNON, J. R.; CEREDA, M. P.; PANTAROTTO, S. **Cultura de tuberosas amiláceas latinoamericanas**. São Paulo: Fundação Cargill, 2002. v. 2, p. 13-37.

CAMPOS, T. A.; DAGA, J.; RODRIGUES, E. E.; FRANZENER, G.; SUGUIY, M. M. T.; SYPPERCK, V. L. G. Tratamento de águas residuárias de fecularia por meio de lagoas de estabilização. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 235-242, jan. /abr., 2006.

CAVALCANTI, J. **Perspectivas da mandioca na região semi-árida do Nordeste**. Recife: EMBRAPA. 2004. Disponível em: <<http://www.embrapa.br/imprensa/artigos/>>. Acesso em: 24 nov. 2009.

CEREDA, M. P. Caracterização dos subprodutos da industrialização da mandioca. In: _____. **Manejo, Uso e Tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. São Paulo: Fundação Cargill, 2000. v. 4, p. 13-37.

_____. Processamento da Mandioca como mecanismo de detoxificação. In: _____. **Culturas de tuberosas amiláceas latino-americanas**. São Paulo: Fundação Cargill. 2003, v. 3. 1CD.

CETESB - Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental. Disponível em: <<http://www.cetesb.sp.org.br>>. Acesso em: 25 ago. 2009.

CONNELL, D. W. Environmental transformation and degradation processes. In: **BASIC concepts of environmental chemistry**. Nova York: Lewis, 1997. p. 45-76.

DIAS, F.G. **Utilização de consórcio microbiano para biorremediação do meio ambiente contaminado com derivados de petróleo**. 2007. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2007.

LIMA, R. A. Tratamentos de efluentes líquidos de unidades produtoras de farinha de mandioca. 33

DI-BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**, 2. ed., São Paulo: Rima, 2005, v. 1.

FENIMAN, D. P. G.; FERRARI, F.; TRIA, F. D. K.; BALSALOBRE, T. D. A. Biodegradação Ambiental: Petróleo e Pesticidas. Disponível em: <<http://www.herbario.com.br/bot/toxicologia/biodegre.htm>>. Acesso em: 14 maio 2009.

FERNANDES-JR, A. Tratamentos físicos e biológicos da manipueira. In: _____ **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. Botucatu: UNESP. 2001, cap. 10, v. 4, p. 138-151.

FIORETTO, A. R. Uso direto da manipueira em fertirrigação. In: _____. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina. 2001, v. 4, p. 67-79.

FIORETTO, R. A. Manipueira na fertirrigação: efeito sobre a germinação e produção de algodão (*Gossypium hirsutum* var. *hirsutum*, L.) e milho (*Zea mays*, L.). **Semina**, Londrina, v. 8, p. 17-20. 1987.

FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURAN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 504-511, jan., 2000.

GOMES, S. Z.; PEÑA, M. C. G. Digestibilidade aparente da mandioca (*Manihot esculenta*) pelo camarão de água doce (*Macrobrachium rosenbergii*). **Revista Brasileira de Zootecnia**, Pelotas. v. 26, n. 3, p. 858-862, maio /jun., 1997.

KELLER, E. **Environmental geology**. 8th. ed. Rio de Janeiro: Prentice Hall, 2000.

MARTINS, A. S.; PRADO, I. N.; ZEOLA, L. M. Digestibilidade aparente de dietas contendo milho ou casca de mandioca como fonte energética e farelo de algodão ou levedura como fonte protéica em novilhas. **Revista Brasileira de Zootecnia**, Maringá, v. 29, n.1, p. 269-277, jan., 2000.

MATSUURA, F. C. A. U.; FOLEGATTI, M. I. S.; SARMENTO, S. B. S. **Processamento de mandioca - iniciando um pequeno grande negócio agroindustrial**. Brasília, DF: EMBRAPA/SEBRAE. 2003. Cap. 2, p. 19-30. (Série Agronegócios).

MORAES, L. C. K.; BERGAMASCO, R.; TAVARES, C. R. G.; RIBEIRO, R. M. Utilização do polímero natural quitosana no processo de coagulação / floculação / ultrafiltração para a produção de água potável. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 23., 2005. Campo Grande, **Anais ...**, Rio de Janeiro: ABES, 2005. 1CD.

OLIVEIRA, J. R.; SOUZA, R. R. Biodegradação de efluentes contendo corantes utilizados na indústria têxtil. In: SEMINÁRIO DE PESQUISA, 2003, Aracajú. **Anais....** Rio de Janeiro: ABES, 2003. 1CD.

ÖZACAR, M., SENGIL, I. A. Evaluation of tannin biopolymer as a coagulant aid for coagulation of colloidal particles. **Colloids and Surfaces A: physicochemical and engineering aspects**. Amsterdam, v. 229, n.1-3, p. 85-96, nov., 2003.

PIZZI, A. Tanin - based adhesives. In: _____. **Chemistry and Technology**, Nova York: Wood adhesives, 1993. p. 177-246.

RIMOLDI, F.; FILHO, P. S. V.; SCAPIM, C. A.; VIDIGAL, M. C. G. Avaliação de cultivares de mandioca nos municípios de Maringá e de Rolândia no Estado do Paraná. **Acta Scientiarum**. Agronomy. Maringá. v. 25, n. 2, p. 459-465, 2003.

SANTAELLA, S. T.; JUNIOR, F. C. G. S.; COSTA, K. O.; AGUIAR, R.; ARTHAUD, I. D. B.; LEITÃO, R. C. Tratamento de efluentes de refinaria de petróleo em reatores com *Aspergillus niger*. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, N. 1, p. 139-148, jan./mar., 2009.

SARATALE, R.G.; SARATALE, G.D.; KALYANI, D.C.; CHANG, J.S. and GOVINDWAR, S.P. Enhanced decolorization and biodegradation of textile azo dye Scarlet R by using developed microbial consortium-GR. **Bioresource Technology**, Amsterdam, v. 100, n. 9, p. 2493-2500, maio, 2009.

SCHLEGEL, H. G. Growth of microorganisms. In: _____ **General microbiology**. 17th ed., Cambridge: Cambridge University, 1992. p. 193-233.

SPERLING, M. R. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. 3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.

TCHOBANOGLOUS, G.; BURTON, F.; STENSEL, H. D. **Wastewater engineering - treatment and reuse**. New York: MCGRAW-HILL, METCALF & EDDY, 2002.

TAKAHASHI, M. Aproveitamento da manipueira e de resíduos do processamento da mandioca. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v. 13, n. 145, p. 83-87, 1987.

VANACÔR, R. N.; GEHLING, G. R. Caracterização do efluente da lavagem dos filtros de uma ETA convencional utilizando coagulante orgânico derivado do tanino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. 2007, Belo Horizonte. **Anais ...** Rio de Janeiro: ABES, 2007. 1CD.

VIEITES, R. L.; BRINHOLI, O. Efeito da manipueira, em condições de campo, na emergência de brotos de mandioca (*Manihot esculenta* Crantz) e no controle de plantas daninhas. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 9, n. 4, p. 29-33, maio, 1994.

YONG, C. A. Cyanide - just the facts. In: **CYANIDE** - Social, Industrial and Economic Aspects. Nova Orleans: Illumina .2001. p. 97-113.

CAPÍTULO II

Tratamentos de efluentes líquidos de unidades produtoras de farinha de mandioca

Roberto Albuquerque Lima

Universidade Federal de Pernambuco - Centro Acadêmico do Agreste

roberto_biologia@hotmail.com

Clarissa Daisy da Costa Albuquerque

Núcleo de Pesquisas em Ciências Ambientais (NPCIAMB)

Centro de Ciências e Tecnologia (CCT)

Universidade Católica de Pernambuco (UNICAP)

cdaisy@unicap.br

Alexandra Amorim Salgueiro*

NPCIAMB, CCT, UNICAP

aas@unicap.br

Rua do Príncipe, 526, Boa Vista, Recife, PE, Brasil, 50050-900;

Tel. +55 081 21194017; Fax +55 081 21194043; www.unicap.br

Suporte financeiro – UNICAP, FACEPE e CAPES

*Autor para correspondência

Manuscrito a ser submetido ao Electronic Journal of Biotechnology

2.1 Resumo

O presente trabalho teve como objetivo investigar as eficiências de remoção da demanda química de oxigênio (DQO), da turbidez e do cianeto da manipueira por tratamentos físico-químicos e biológicos. No tratamento físico-químico por coagulação-floculação, três planejamentos fatoriais completos foram realizados para investigar os fatores pH, tanino e o efeito do polímero sintético Polipan sobre as variáveis respostas (DQO, turbidez e cianeto) da manipueira. A eficiência máxima de remoção de DQO foi 91 % a pH 8,0 na presença de tanino 1,0 mL/L e Polipan 0,030 ppm. A maior remoção de turbidez atingiu 75 %, determinada a pH 8 e tanino 0,8 mL/L na ausência do Polipan, visando diminuir os custos. Nessas condições foi determinado 0,7 mg CN⁻/L na manipueira tratada correspondendo a uma redução de 25% da concentração presente no efluente bruto. Nos tratamentos biológicos aeróbios por consórcio microbiano durante 48 h, as remoções de DQO e turbidez atingiram a mesma faixa de valores dos tratamentos físico-químicos. As eficiências máximas de redução de DQO (88 %) e de turbidez (69 %) foram determinadas na presença do consórcio microbiano 20 % v/v, cloreto de amônio 5 % e a pH 8,0. Os resultados dos tratamentos da manipueira mostram que o pH 8 foi fator chave para remoção de DQO desse efluente.

Palavras-chaves: manipueira, tanino, coagulação-floculação, consórcio microbiano, tratamento biológico aeróbio.

2.2 Introdução

A manipueira é um líquido de aspecto leitoso que é liberado das raízes da mandioca por ocasião da sua moagem e prensagem. Tem grande potencial poluente decorrente de seu elevado conteúdo em matéria orgânica. Quimicamente, apresenta-se como uma mistura de amido, glicose e outros açúcares, proteínas e derivados cianogênicos dentre outras substâncias orgânicas e sais minerais. Sua potencialidade como nematicida, inseticida e acaricida advém da presença do cianeto, enquanto o enxofre garante-lhe a eficiência como fungicida. A manipueira pode ainda ser utilizada na fertirrigação (MANIPUEIRA, 2007).

A manipueira pode poluir os recursos hídricos quando lançada diretamente em águas superficiais ou em áreas com fertirrigação. O enriquecimento do corpo aquático por macronutrientes, com destaque para os compostos de nitrogênio e fósforo altera a capacidade de autodepuração do corpo receptor e favorece o fenômeno de eutrofização pelo crescimento de algas em excesso (BARANA, 2008).

O potencial tóxico da manipueira é agravado pela presença de cianeto. Existem relatos de morte de animais que beberam da água em locais de descarga desse poluente. A manipueira é procurada pelos animais pelo seu gosto adocicado devido à presença da glicose na sua composição química. É freqüente a morte de peixes em corpos d'água receptores desse efluente (FIORETTO, 2001).

O glicosídeo característico da planta de mandioca (linamarina) é hidrolisável a ácido cianídrico (BRANCO, 1979). Esse glicosídeo pode afetar células nervosas, combinar com a hemoglobina do sangue e, por inibir a cadeia respiratória, é tóxico para os seres vivos (CEREDA, 2000). Uma tonelada de mandioca produz cerca de 300 L de manipueira e uma fecularia que processe uma tonelada dessas raízes/dia produz manipueira com capacidade poluidora equivalente à poluição ocasionada por 200 - 300 habitantes/dia (HESS, 1962).

Os processos de tratamento de efluentes industriais visam reduzir a carga orgânica e a toxicidade dos efluentes de maneira a atingir os padrões de qualidade de lançamentos estabelecidos por órgãos oficiais de controle da poluição ambiental. A coagulação é um fenômeno físico e químico que depende da concentração da substância coagulante e do pH final da mistura. O fenômeno químico consiste de reações entre o coagulante e a água com formação de espécies hidrolisadas de carga positiva. No fenômeno físico, há transporte das espécies hidrolisadas para que haja contato com as impurezas. É um processo rápido, que depende do pH, da temperatura, da condutividade

elétrica, da concentração e da composição das impurezas. É utilizado em estações de tratamento de água por mistura rápida seguida de mistura lenta, para que favoreça a formação de flocos no processo denominado, floculação. Esses flocos podem ser removidos por sedimentação, flotação ou filtração (DI-BERNARDO, DANTAS, 2005).

A capacidade dos microrganismos de degradar compostos orgânicos é cientificamente reconhecida e vem sendo utilizada ao longo do tempo em processos de tratamento biológico de efluentes líquidos e resíduos sólidos (SANTAELLA et al., 2009; SARATELA et al., 2009). Devido a essa habilidade, processos biotecnológicos destinados à degradação de poluentes e à recuperação de áreas contaminadas foram desenvolvidos (COSTA et al., 2007; DIAS, 2007). Bactérias, leveduras e fungos filamentosos podem ser encontrados no próprio ambiente impactado, e na maioria das vezes, responsáveis pela biodegradação natural de contaminantes. Em tratamentos biológicos, os consórcios de microrganismos autóctones podem ser bioestimulados para facilitar o crescimento celular e consequentemente, degradar por interação metabólica, a matéria orgânica com maior eficiência (ABRAHAM et al., 2008)

Este trabalho teve como objetivo investigar as eficiências de remoção de DQO, turbidez e cianeto de efluente de produção de farinha de mandioca (manipueira) por tratamento físico e químico por coagulação-floculação e por tratamento biológico aeróbio por consórcio microbiano.

2.3 Material e métodos

2.3.1 Amostragem

A manipueira foi coletada na prensa de uma casa de farinha de mandioca, localizada no estado de Pernambuco (Brasil). Esse efluente foi distribuído em depósitos de plástico de 2 – 5 L e fermentado à temperatura ambiente por 48 h no laboratório. O material sólido sedimentado denominado (popularmente) de “goma” foi descartado e o sobrenadante foi succionado e armazenado em depósitos (de plástico) e congelado a – 20 °C para padronização da amostra nos experimentos, em tempos diferentes (Figura 1).



Figura 1 Obtenção da manipueira pela prensagem da mandioca

2.3.2 Análises físico-químicas

A determinação do pH foi realizada com o auxílio de um potenciômetro (Quimis – Q400S) e a turbidez, no turbidímetro (Policontrol AP100). A DQO foi determinada segundo o método de refluxo fechado (micro), utilizando a solução digestora de dicromato de potássio a quente, em meio ácido (APHA, 1998). O cianeto livre foi determinado por colorimetria, na faixa de 0,002 a 0,400 mg CN⁻/L por curva de calibração (kit da MERCK). A composição física e química do efluente foi determinada utilizando kit enzimático para proteínas (Labtest); os carboidratos foram quantificados de acordo com a metodologia de Dubois et. al. (1956), utilizando fenol e ácido sulfúrico e os lipídios foram determinados, após a extração com clorofórmio e metanol por Kit enzimático; e o resíduo mineral foi calculado em função da diferença entre os sólidos totais e os sólidos voláteis de acordo com a APHA (1998).

2.3.3 Análises microbiológicas

- a) Quantificação de bactérias aeróbias heterotróficas mesófilas a 35 °C por 48 h, utilizando o meio de contagem padrão (triptona glicose agar);
- b) Quantificação de fungos filamentosos e leveduras a 20 °C por 5 a 7 dias, utilizando o meio de malte agar na presença de cloranfenicol.

Para quantificar as densidades de bactérias e dos fungos expressas em unidades formadoras de colônias por 100 mL (UFC/mL), foram preparadas diluições decimais das amostras do efluente. Foi utilizada água tamponada a pH 7,2, distribuídas em frascos de diluição contendo 90 ou 99 ml do diluente, esterilizado em autoclave (APHA, 1998).

2.3.4 Tratamento biológico

2.3.4.1 Obtenção do consórcio microbiano

Foram montados três reatores de vidro com volume útil de 1500 mL do efluente. Foi adicionado sulfato de amônio a 0,8 % a aeração foi de 1 vvm a temperatura entre 28 – 30 °C e a agitação mecânica de 200 rpm durante 30 dias (Figura 2). Após 7 dias de cultivo, foram adicionados semanalmente “pulsos” do efluente, de 150 mL cada um, contendo o sulfato de amônio. Para avaliar o crescimento e o potencial biotecnológico de cada consórcio microbiano foram retiradas amostras dos cultivos em tempos prefixados (0, 7, 21 e 28 dias), designados com as letras A, B e C.



Figura 2 Biorreator de vidro de bancada com agitação e aeração controladas para obtenção do consórcio microbiano

2.3.4.2 Planejamentos experimentais do tratamento biológico

Foram realizados dois planejamentos fatoriais completos cujos níveis e fatores estão apresentados nas tabelas 1 e 2. O primeiro teve como fatores o pH e as concentrações do consórcio e de cloreto de amônio (tabela 1) e como variáveis respostas a DQO com 24 e 48 h. O segundo teve como fatores o pH e a concentração de cloreto de amônio (tabela 2) e como variáveis respostas a DQO e a turbidez. O tratamento biológico das amostras do efluente foi realizado em frascos de Erlenmeyer de 500 mL, com volume útil de 200 mL que foi mantido sob agitação em orbital a 150 rpm e a 28 °C (Figura 3). No segundo planejamento do tratamento biológico, a concentração do consórcio microbiano foi padronizada, em função dos resultados obtidos no primeiro planejamento. Cada frasco continha 160 mL do efluente e 40 mL do consórcio microbiano e os experimentos foram realizados durante 48 h.



Figura 3 Tratamento biológico da manipueira no “shaker”

Tabela 1 Fatores e níveis investigados no primeiro planejamento fatorial do tratamento biológico da manipueira

Fatores	Níveis		
	-1	0	+1
Consortio (%)	10	15	20
NH ₄ Cl (%)	1	3	5
pH	4	6	8

Tabela 2 Fatores e níveis investigados no segundo planejamento do tratamento biológico da manipueira

Fatores	Níveis		
	-1	0	+1
NH ₄ Cl (%)	5	6	7
pH	7	8	9

2.3.5 Tratamento físico-químico do efluente

O tratamento físico-químico foi realizado por coagulação-floculação e decantação, obedecendo a planejamentos fatoriais completos realizados sequencialmente cujos níveis e fatores investigados encontram-se especificados nas tabelas 3, 4 e 5. Foram investigados os fatores: pH, tanino (Tanfloc) e o polímero sintético auxiliar da floculação (Polipan); as variáveis respostas foram DQO, turbidez e concentração de cianeto. A adição de tanino e de Polipan foram realizadas por mistura rápida (200 rpm por 30 s), seguida de mistura lenta (15 rpm por 15 min.) no *Jar Test*. Após uma hora de decantação, o sobrenadante foi separado e armazenado para análises (Figura 4).

**Figura 4** Tratamento físico-químico da manipueira no *Jar test*

Tabela 3 Fatores e níveis investigados no primeiro planejamento fatorial do tratamento físico-químico da manipueira

Fatores	Níveis		
	- 1	0	+1
pH	4,6	6,3	8,0
Tanino (mL/L)	0,2	0,6	1,0
Polipan (ppm)	0	0,015	0,030

Tabela 4 Fatores e níveis investigados no segundo planejamento fatorial do tratamento físico-químico da manipueira

Fatores	Níveis		
	-1	0	+1
pH	8,0	9,0	10
Tanino (mL/L)	0,4	0,6	0,8

Tabela 5 Fatores e níveis investigados no terceiro planejamento fatorial do tratamento físico-químico da manipueira

Fatores	Níveis		
	-1	0	+1
pH	6,0	7,0	8,0
Tanino (mL/L)	1,0	2,0	3,0

2.4 Resultados e discussão

2.4.1 Caracterização da manipueira

As características físico-químicas e microbiológicas dos efluentes dependem da matéria-prima e de técnicas no processamento industrial. No caso da manipueira que é originada de um agro-produto, outros fatores também interferem na composição físico-química: condições climáticas e adubação de solo. A composição química de raízes de mandioca, segundo a EMBRAPA (2002), é formada principalmente por umidade 60 – 65 g/100 g do tubérculo, carboidratos 30 – 35 g/100 g e proteínas 0,5 - 2,5 g/100 g. Na obtenção da farinha de mandioca, após a prensagem do tubérculo, partes desses compostos são arrastadas pela água os quais compõem a manipueira.

A tabela 6 apresenta a caracterização físico-química da manipueira coletada numa casa de farinha localizada no nordeste do Brasil.

Tabela 6 Composição físico-química da manipueira

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3	Média ± desvio padrão
Carboidratos (%)	2,57	2,78	2,70	2,68 ± 0,11
Proteínas (%)	1,84	1,73	1,65	1,74 ± 0,10
Lipídios (%)	0,42	0,70	0,87	0,66 ± 0,23
Resíduo mineral (%)	0,44	0,98	0,95	0,79 ± 0,30
Extrato seco (%)	5,27	6,19	6,17	5,87 ± 0,53

A manipueira utilizada nesse trabalho apresentou valores de carboidratos entre 2,6 - 2,8 %; proteínas, 1,6 - 1,8 %; lipídeos, 0,4 - 0,9 % e resíduo mineral 0,4 - 1 %. Esses resultados comprovaram que esse efluente é rico em carboidratos e que não é um efluente gorduroso. A presença de substâncias químicas e sais minerais na manipueira contribuem para seu reaproveitamento em processo biotecnológico onde esses nutrientes podem ser metabolizados por microrganismos.

A separação da goma presente no efluente da prensagem da mandioca ocorreu por decantação no laboratório, conforme especificado na metodologia, devido ao valor comercial desse produto no mercado. Conseqüentemente, o conteúdo de carboidratos

determinado no efluente do presente trabalho foi menor que a quantidade de amido (5 a 7 %), especificada na literatura para amostra de manipueira (FIORETTO, 2001).

O pH em torno de 4,0 (tabela 7) foi determinado no efluente investigado. O meio ácido favorece o crescimento de fungos e evita ou reduz a contaminação bacteriana (PELCZAR, CHAN, KRIEG, 2004). A literatura apresenta valores de pH ácido para efluentes da produção de farinha de mandioca. Fioretto (2001) determinou os seguintes valores de pH: 3,3; 3,9; 4,0 e 4,2 para quatro diferentes amostras de manipueira enquanto Barros e colaboradores (2008) determinaram pH 3,6 para a manipueira coletada numa casa de farinha de mandioca em Pombos (PE).

Tabela 7 Caracterizações físico-química e microbiológica da manipueira

Parâmetros	Amostra 1	Amostra 2	Amostra 3
pH	4,3	4,0	3,8
DQO (mg O ₂ /L)	33.440	52.160	44.250
Turbidez (UNT)	800	800	800
Cianeto (mg CN ⁻ /L)	0,75	0,82	0,84
Contagem padrão de bactérias (UFC/mL)	2 x 10 ³	1 x 10 ³	9 x 10 ³
Fungos filamentosos (UFC/mL)	1 x 10	1 x 10 ²	7 x 10
Leveduras (UFC/mL)	0	0	2 x 10 ²

Nesse trabalho, três amostras do efluente da produção de farinha apresentaram elevado conteúdo de matéria orgânica expressa em DQO cujos valores determinados variaram entre 33.440 e 52.160 mg O₂/L (tabela 7).

Feiden (2001) determinou valores de DQO entre 20.930 e 92.000 mg O₂/L para águas residuárias da produção de farinha de mandioca, comprovando o elevado teor de matéria orgânica nesse efluente. Maróstica e Pastore (2007) obtiveram valores médios de DQO de 53.400 mg O₂/L para amostras de manipueira da cidade de Campinas, São Paulo. Salgueiro e colaboradores (2009) determinaram valores de DQO de 37.908 mg O₂/L para amostras da manipueira coletada no município de Pombos, Pernambuco. A legislação brasileira não determina o valor máximo permitido para DQO em lançamento de efluentes industriais, entretanto os valores determinados demonstraram a presença de elevada carga poluidora (BRASIL, 2005).

O efluente da produção de farinha de mandioca utilizado nesse trabalho apresentou concentrações de cianeto entre 0,75 a 0,84 mg CN⁻/L. Esse dado está acima do valor permitido pelo CONAMA 357 (BRASIL, 2005) que permite um valor máximo de

cianeto de 0,2 mg/L para lançamento de efluentes em corpos d'água. Sendo assim, fica comprovado que o efluente da produção de farinha de mandioca não deve ser lançado em corpos d'água sem tratamento adequado. Ressalta-se que a água do rio Tapacurá que atravessa a região onde ocorre a produção de farinha de mandioca, é utilizada no abastecimento público da população da região metropolitana de Recife.

No estado do Paraná no sul do Brasil, foi constatada a poluição por cianeto oriunda de uma indústria de fecularia; foram determinados valores de 10 mg/L para o cianeto livre em efluentes da produção de farinha de mandioca, cujo valor é 50 vezes maior que o máximo permitido pela legislação (FEIDEN, 2001). Por outro lado, Barros e colaboradores (2008) apresentaram valores de cianeto de 0,32 mg CN/L para amostras de manipueira, oriundas de uma casa de farinha localizada no município de Pombos, em Pernambuco.

O efluente da produção de farinha de mandioca investigada apresentou uma população microbiológica formada principalmente por bactérias e em menor concentração, fungos filamentosos e leveduras. As três amostras do efluente apresentaram $10^3 - 10^4$ UFC/mL de bactérias e de $10 - 10^2$ UFC/mL de fungos filamentosos; as leveduras não foram enumeradas em duas amostras de manipueira enquanto na outra amostra, foram determinados 10^2 UFC/mL de leveduras (tabela 7).

A literatura apresenta números elevados de bactérias em efluentes industriais e nos respectivos corpos receptores que recebe as descargas desses efluentes (COSTA et al., 2007).

A população microbiana da manipueira pode viabilizar o tratamento biológico por processo de bioestimulação onde os poluentes são degradados para produção de energia e utilizados para crescimento e manutenção celular. No tratamento desse efluente, os microrganismos autóctones poderão ser estimulados, favorecendo o crescimento celular pela utilização da matéria orgânica como fonte de energia e de carbono, degradando os poluentes.

2.4.2 Tratamento biológico da manipueira

2.4.2.1 Obtenção de consórcio de microrganismos

A manipueira pode ser utilizada na obtenção do consórcio microbiano considerando a presença de carboidratos, proteínas, lipídios e resíduos minerais (tabela 6) e a presença de microrganismos (tabela 7), atuando na matéria orgânica como

nutrientes no cultivo de microrganismos, o pH ácido (tabela 7) favorece o controle de contaminação durante o processo.

O consórcio microbiano utilizado na biodegradação da manipueira foi obtido por bioestimulação dos microrganismos autóctones. A obtenção do consórcio microbiano na presença do sulfato de amônio foi justificada, considerando o baixo teor de nitrogênio presente nesse efluente.

A tabela 8 ilustra os resultados das contagens de bactérias durante a obtenção dos três consórcios de microrganismos (designados por A, B e C) a partir do efluente da produção de farinha de mandioca. Na primeira etapa de crescimento do consórcio microbiano, o número de colônias aumentou de 10^2 a 10^7 UFC/mL de bactérias. No sétimo dia de cultivo, foi adicionado o primeiro “pulso” do efluente, correspondente a 10 % do volume útil do biorreator. A biomassa máxima atingiu 10^8 UFC/mL de bactérias, permanecendo constante até o término do experimento, independente dos outros dois “pulsos” adicionados.

A figura 5 ilustra a curva de crescimento dos microrganismos para o consórcio microbiano C, em função das contagens bacterianas. Foi observada a presença da fase lag nos dois primeiros dias de cultivo, possivelmente por não ter sido adicionado inóculo nos cultivos dos consórcios. A taxa máxima de crescimento celular de bactérias foi determinada na fase exponencial de crescimento microbiano, atingindo o valor de 0,12 células/h. A fase estacionária máxima de crescimento celular foi atingida a partir do sétimo dia de cultivo, quando a biomassa total aumentou após a adição do primeiro “pulso” do efluente.

Nas condições de trabalho investigadas, a biomassa final não ultrapassou a ordem de grandeza 10^8 UFC/mL. Apesar de ter sido adicionado mais de um pulso do efluente contendo fonte de nitrogênio, a limitação do crescimento microbiano pode ser justificada por problemas de transferência de massa no biorreator, especificamente, diminuição do oxigênio dissolvido ou então, devido à elevação do pH do meio durante o cultivo (SCRAGG, 1988).

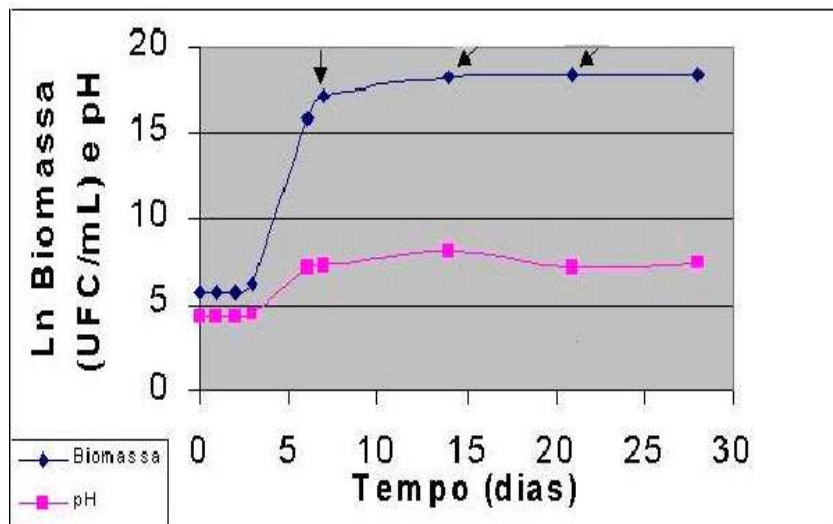
Tabela 8 Contagens de colônias de bactérias durante a obtenção dos consórcios microbianos a partir de efluentes da produção de farinha de mandioca

Tempo de cultivo do consórcio microbiano (dias)	Contagem padrão de bactérias (UFC/mL)		
	Consórcio A	Consórcio B	Consórcio C
0	5×10^2	3×10^2	2×10^3
1	4×10^2	3×10^2	3×10^3
2	3×10^2	3×10^2	4×10^3
3	3×10^2	3×10^3	1×10^3
6	1×10^3	2×10^7	1×10^6
7	1×10^3	5×10^7	5×10^7
14	1×10^5	5×10^7	2×10^8
21	9×10^7	1×10^8	2×10^8
28	1×10^8	1×10^8	1×10^8

A variação do pH durante a obtenção dos consórcios microbianos em função do tempo está apresentada na figura 5. Nos experimentos realizados, o pH inicial de 4,3, aumentou gradativamente e atingiu o valor máximo de 8,1, na fase estacionária máxima de crescimento celular. No final do experimento, o pH decresceu e atingiu o valor de 7,2. Esse parâmetro influencia diretamente o crescimento de microrganismos por alterar as atividades das enzimas celulares e, por conseguinte, pode ter sido um dos fatores limitantes do crescimento do consórcio microbiano (SAID, PIETRO, 2004).

As condições nutritivas e ambientais não favoreceram o crescimento de fungos filamentosos nos cultivos dos consórcios microbianos. Os fungos filamentosos não resistiram à competição microbiana e, por conseguinte, não foram enumeradas colônias desses microrganismos durante o crescimento do consórcio microbiano,. Por outro lado, colônias de leveduras foram enumeradas na fase estacionária de crescimento, atingindo valores de 6 a 53 UFC/mL.

Durante a obtenção dos consórcios microbianos, houve diminuição gradativa da DQO embora três pulsos do efluente foram adicionados durante o experimento. Nos primeiros sete dias de cultivo, antes de ser adicionado o primeiro pulso do efluente, a DQO decresceu 71, 50 e 75 % nos consórcios A, B e C, respectivamente (tabela 9). Para o tratamento biológico da manipueira nesse trabalho, o consórcio microbiano foi obtido durante 7 dias, considerando o elevado potencial de redução de DQO nesse período.



Legenda: As setas indicam a adição dos pulsos do efluente.

Figura 5 Curva de crescimento bacteriano e variação de pH no cultivo de um consórcio microbiano obtido a partir do efluente da produção de farinha de mandioca

Tabela 9 Resultados de DQO durante a obtenção dos consórcios microbianos

Tempo de cultivo (dias)	DQO (mg O ₂ /L)		
	Consórcio A	Consórcio B	Consórcio C
0	33.440	52.160	44.250
7	9.698	26.080	11.068
28	5.016	15.648	6.637

2.4.2.2 Planejamentos experimentais no tratamento biológico

Dois planejamentos fatoriais completos foram realizados no tratamento biológico do efluente da manipueira investigada.

1º Planejamento do tratamento biológico

O primeiro planejamento fatorial do tratamento biológico teve como objetivo investigar os efeitos e interações dos fatores concentração do consórcio microbiano, concentração de cloreto de amônio e pH, sobre as variáveis respostas DQO com 24 e 48 h, constituído por 8 ensaios e 4 repetições no ponto central. Os níveis e fatores investigados nesse planejamento estão apresentados na tabela 1. A matriz decodificada

do planejamento e os resultados obtidos para as variáveis respostas DQO, com 24 e 48 h de tratamento biológico, estão apresentados na tabela 10.

Conforme se pode observar na tabela 10, os valores de DQO dos ensaios com 48 h apresentaram decréscimo de 64 %, em relação ao valor da DQO do ensaio com 24 h nas mesmas condições experimentais. A menor DQO nos ensaios com 48 h foi igual a 4.830 mg O₂/L e foi obtida no ensaio 8, usando o consórcio microbiano 20 %, o cloreto de amônio 5 % e pH igual a 8. Nessas condições, as eficiências de remoção de DQO, foram de 59 e 88 % para os tratamentos com 24 e 48 h, respectivamente.

Tabela 10 Matriz do 1º planejamento fatorial do tratamento biológico da manipueira e resultados de DQO

Ensaio	Consórcio (% v/v)	NH ₄ Cl (%)	pH	DQO - 24h (mgO ₂ /L)	DQO - 48h (mgO ₂ /L)
1	10	1	4,0	24.940	13.690
2	20	1	4,0	21.350	10.450
3	10	5	4,0	22.250	12.030
4	20	5	4,0	20.840	9.340
5	10	1	8,0	19.650	8.540
6	20	1	8,0	17.820	6.120
7	10	5	8,0	18.800	7.680
8	20	5	8,0	16.380	4.830
9	15	3	6,0	18.950	7.530
10	15	3	6,0	18.200	7.680
11	15	3	6,0	19.550	7.750
12	15	3	6,0	20.300	8.030

O aumento do pH, da concentração do consórcio e da concentração do cloreto de amônio, nessa ordem foram os fatores que mais favoreceram a remoção da DQO, ao exercerem efeitos negativos sobre o aumento da DQO com 24 e 48 h (figuras 6 e 7). Consequentemente, esses fatores nas condições investigadas, favoreceram a diminuição da DQO, que é o objetivo principal a ser atingido pelo tratamento de efluente. Ressalta-se que no tratamento biológico com 48 h, esses fatores foram estatisticamente significativos, conforme pode ser observado no diagrama de Pareto, ilustrado na figura 7. As interações entre os fatores estudados não apresentaram efeitos estatisticamente significativos sobre a remoção da DQO do efluente analisado (figuras 6 e 7).

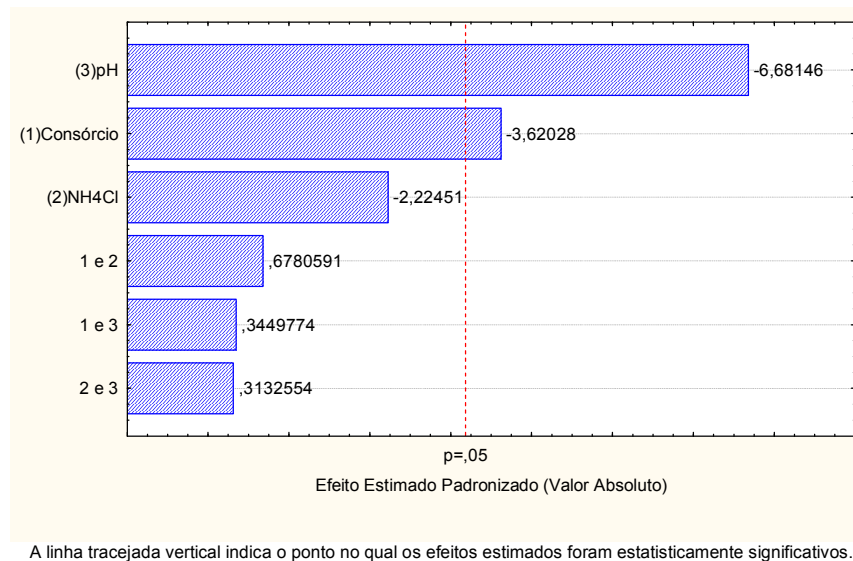


Figura 6 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores o pH e as concentrações de consórcio e de cloreto de amônio e como variável resposta a DQO do efluente com 24 h

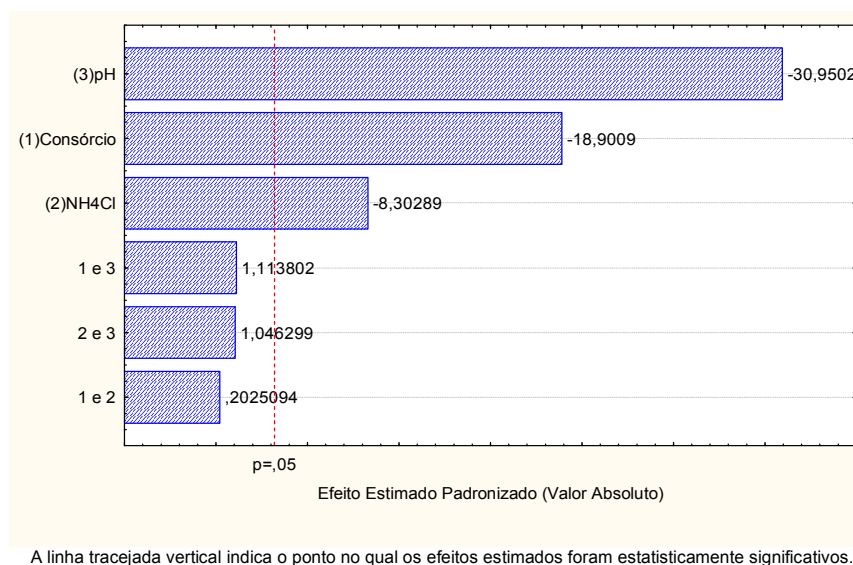


Figura 7 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores o pH e as concentrações de consórcio e de cloreto de amônio e como variável resposta a DQO do efluente com 48 h

2º Planejamento do tratamento biológico

Considerando que o aumento da concentração do consórcio microbiano no primeiro tratamento biológico, apresentou um efeito negativo na variável resposta (DQO), logo esse fator foi utilizado na concentração máxima, igual a 20% v/v no tratamento biológico seguinte.

O segundo planejamento fatorial do tratamento biológico teve como objetivo investigar os efeitos e interações dos fatores concentração de cloreto de amônio e pH, sobre as variáveis respostas DQO e turbidez com 48 h, sendo constituído por 8 ensaios, incluindo 4 repetições no ponto central. Os níveis e fatores investigados nesse planejamento encontram-se especificados na Tabela 2. A matriz decodificada do planejamento e os resultados obtidos para as variáveis respostas DQO e turbidez estão apresentados na Tabela 11.

Tabela 11 Matriz do 2º planejamento fatorial do tratamento biológico da manipueira e resultados das variáveis respostas

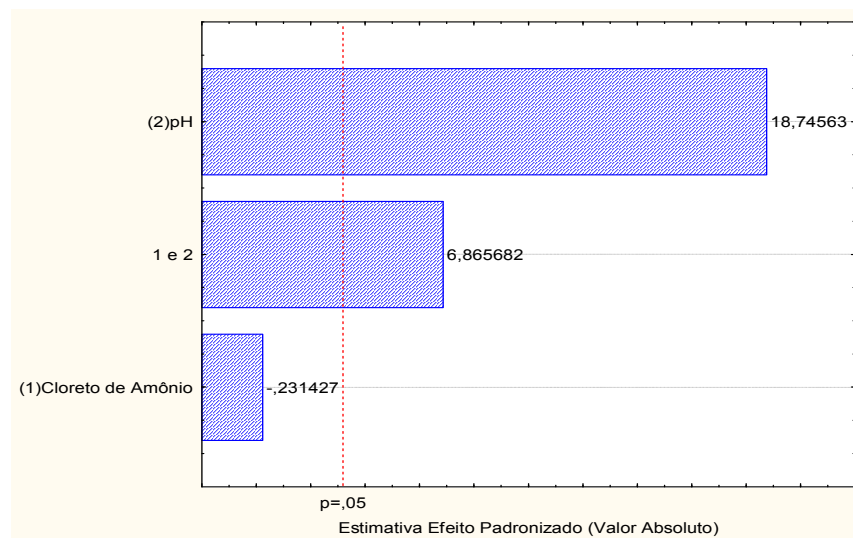
Ensaio	NH₄Cl (%)	pH	DQO (mg L⁻¹ O₂)	Turbidez (UNT)
1	5	7	9.850	400
2	7	7	7.550	450
3	5	9	13.700	580
4	7	9	15.850	550
5	6	8	5.400	250
6	6	8	5.650	300
7	6	8	4.900	250
8	6	8	5.140	220

Conforme se pode observar na tabela 11, os menores valores de DQO e turbidez foram obtidos nos ensaios realizados no ponto central do planejamento (concentração de cloreto de amônio 6 % e pH 8), onde o valor médio da DQO atingiu 5.272 mgO₂/L e o valor médio da turbidez atingiu 255 UNT, correspondendo a eficiências de remoção de DQO e de turbidez de 77 e 69 %, respectivamente (tabela 12). A manipueira utilizada nesses experimentos apresentou DQO de 40.120 mgO₂/L e turbidez, 820 UNT.

Tabela 12 Eficiências da remoção de DQO e turbidez do 2º Planejamento do tratamento biológico

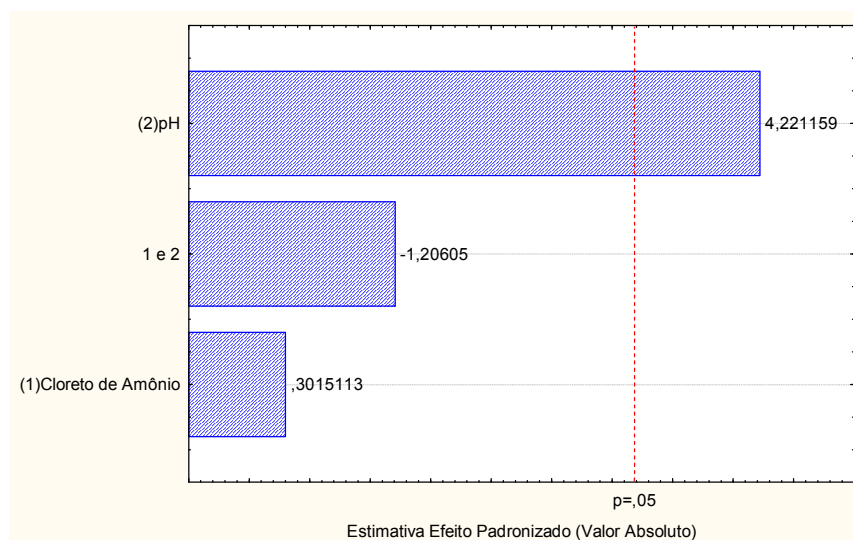
Parâmetros	Resultados	Eficiências
DQO (inicial)	40.120 mgO ₂ /L	77 %
DQO (final)	5.272 mgO ₂ /L	
Turbidez (inicial)	820 UNT	69 %
Turbidez (final)	255 UNT	

O aumento do pH de 7 para 9 exerceu efeitos positivos, estatisticamente significativos, sobre o aumento da DQO e da turbidez com 48 h, desfavorecendo a redução desses parâmetros, conforme pode ser observado nos diagramas de Pareto, ilustrados nas figuras 8 e 9. Nas condições estudadas, a maior redução da DQO foi obtida em pH 8,0. Ressalta-se que a interação entre o pH e a concentração de cloreto de amônio também exerceu efeito positivo estatisticamente significativo no aumento da DQO (figura 8)



A linha tracejada vertical indica o ponto no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos.

Figura 8 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2², tendo como fatores o pH e a concentrações de cloreto de amônio, como variável resposta a DQO do efluente



A linha tracejada vertical indica o ponto no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos.

Figura 9 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e a concentração de tanino, como variável resposta a turbidez do efluente

Freire e colaboradores (2001) afirmaram que os tratamentos baseados em processos biológicos são os mais frequentemente utilizados, uma vez que permitem o tratamento de grandes volumes de efluente, transformando compostos orgânicos tóxicos em CO_2 e H_2O (ou em CH_4 e CO_2). A capacidade de certos microrganismos para degradar substâncias orgânicas tóxicas é um fato bem documentado na literatura.

Costa e colaboradores (2007) realizaram tratamento biológico na presença de consórcio microbiano visando à redução de turbidez de efluente de lavanderia e tinturaria industriais. A menor turbidez foi alcançada no ponto central do planejamento, com concentração de 1,25 % v/v do consórcio e agitação de 50 rpm; a turbidez média do efluente tratado foi aproximadamente 39 UNT, correspondente a um aumento de 100 % com relação a do efluente não tratado. Esse valor alto da turbidez é consequência da presença dos microrganismos suspensos nas amostras tratadas biologicamente, devido à utilização do consórcio microbiano.

Lima e colaboradores (2009) bioestimularam a obtenção de consórcio microbiano a partir de microrganismos autóctones e realizaram tratamento biológico da manipueira durante 9 dias, sob pH ácido (4,3 - 4,4). A biodegradação máxima da matéria orgânica ocorreu pela interação do efluente com o consórcio microbiano na presença do sulfato de

amônio a 0,8 %. Os percentuais de biodegradação atingiram 69 e 80 % na ausência e presença da fonte de nitrogênio, respectivamente.

Nos processos biológicos, grandes volumes de águas são tratados por ação de microrganismos que degradam os poluentes com custo relativamente baixo. A utilização de consórcios microbianos favorece a redução do tempo de degradação por ação de espécies não identificadas que atuam em sinergismo (ABRAHAM et al., 2008).

Efluente de fecularia, contendo mais de 9.500 mg O₂/L de DQO e 4.000 mg O₂/L de DBO, após ser submetido a tratamento em lagoas de polimento, teve reduzida a sua carga poluidora em mais de 90 %, tanto em termos de DQO como de DBO, enquanto que as concentrações de fósforo e de sólidos não variaram significativamente. As concentrações de nitrogênio amoniacal e de cloreto, e a condutividade elétrica apresentaram valores reduzidos nesse tratamento (CAMPOS et al., 2006).

A estabilização de efluentes das casas de farinha de mandioca foi obtida por processos físico-químicos e biológicos com aeração prolongada. Nesses processos, ocorreu o intumescimento do lodo, onde ações de populações microbiológicas influenciaram a eficiência do tratamento. O sistema de lodos ativados no tratamento desses resíduos foi mantido por aplicação de recargas orgânicas adequadas e adição de fósforo, atingindo máximas produtividades de biodegradação. A eficiência do sistema foi verificada por controle microscópico e redução de DBO (BRANCO, 1967).

2.4.3 Tratamento físico-químico

No tratamento físico-químico do efluente da manipueira, foram realizados três planejamentos fatoriais completos.

1º Planejamento do tratamento físico-químico

Um planejamento fatorial completo 2³ constituído por 12 ensaios, incluindo 4 repetições no ponto central, foi realizado para investigar os efeitos e interações dos fatores pH, concentração de tanino e concentração de Polipan sobre as variáveis respostas DQO, turbidez e concentração de cianeto. Os níveis e fatores investigados nesse planejamento encontram-se especificados na tabela 3. A matriz decodificada do planejamento e os resultados obtidos para as variáveis respostas DQO, turbidez e cianeto estão apresentados na tabela 13.

Nesse planejamento, o efluente da manipueira apresentou DQO de 33.440 mg O₂/L, turbidez de 800 UNT e concentração de cianeto de 0,750 mg CN⁻/L. Os melhores

resultados do tratamento físico-químico foram obtidos no ensaio 8 do planejamento, onde a manipueira apresentou DQO de 3.040 mg O₂/L, turbidez de 460 UNT e concentração de cianeto igual a 0,69 mg CN⁻/L. Nessas condições, as eficiências de remoção de DQO, turbidez e cianeto foram respectivamente iguais a 91, 44 e 10 % (tabela 14).

Tabela 13 Matriz do 1º planejamento fatorial do tratamento físico-químico da manipueira e resultados das variáveis respostas

Ensaio	Tanino (mL/L)	pH	Polipan ppm	DQO (mgO ₂ /L)	Turbidez (UNT)	CN ⁻ (mgCN ⁻ /L)
1	0,2	4,6	0	12.160	1000	0,970
2	1,0	4,6	0	6.080	420	0,820
3	0,2	8,0	0	30.400	850	0,980
4	1,0	8,0	0	15.200	460	0,950
5	0,2	4,6	0,030	21.280	750	0,960
6	1,0	4,6	0,030	6.080	440	0,720
7	0,2	8,0	0,030	18.240	680	0,940
8	1,0	8,0	0,030	3.040	460	0,690
9	0,6	6,3	0,015	30.400	650	0,825
10	0,6	6,3	0,015	30.400	650	0,790
11	0,6	6,3	0,015	24.320	650	0,815
12	0,6	6,3	0,015	27.360	600	0,805

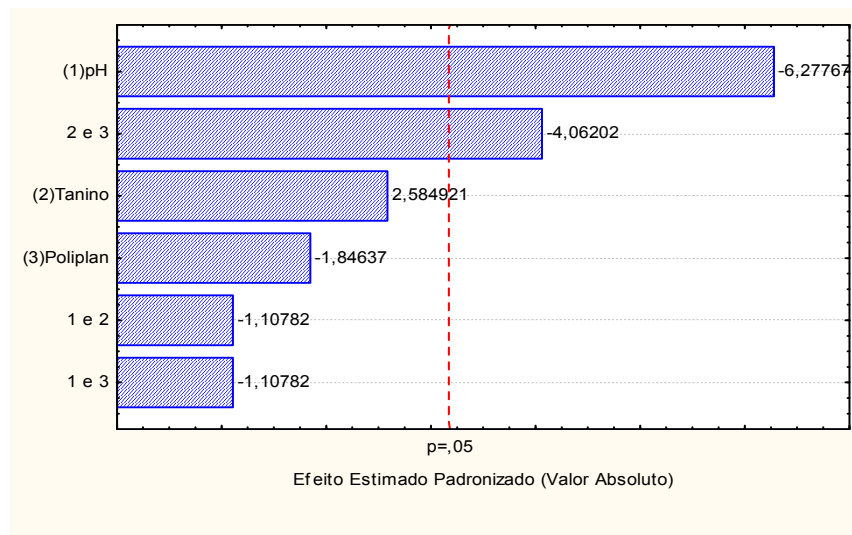
Tabela 14 Eficiências da remoção de DQO, turbidez e cianeto

Parâmetros	Resultados	Eficiências
DQO (inicial)	33.440 mg O ₂ /L	91 %
DQO (final)	3.040 mg O ₂ /L	
Turbidez (inicial)	800 UNT	44 %
Turbidez (final)	460 UNT	
Cianeto (inicial)	0,750 mg CN ⁻ /L	10 %
Cianeto (final)	0,690 mg CN ⁻ /L	

Os diagramas de Pareto apresentados nas figuras 10, 11 e 12 ilustram os efeitos exercidos pelos fatores pH, tanino e Polipan sobre as variáveis respostas DQO, turbidez e concentração de cianeto, respectivamente. A seguir, serão discutidos apenas os efeitos e interações dos parâmetros analisados que foram estatisticamente significativos.

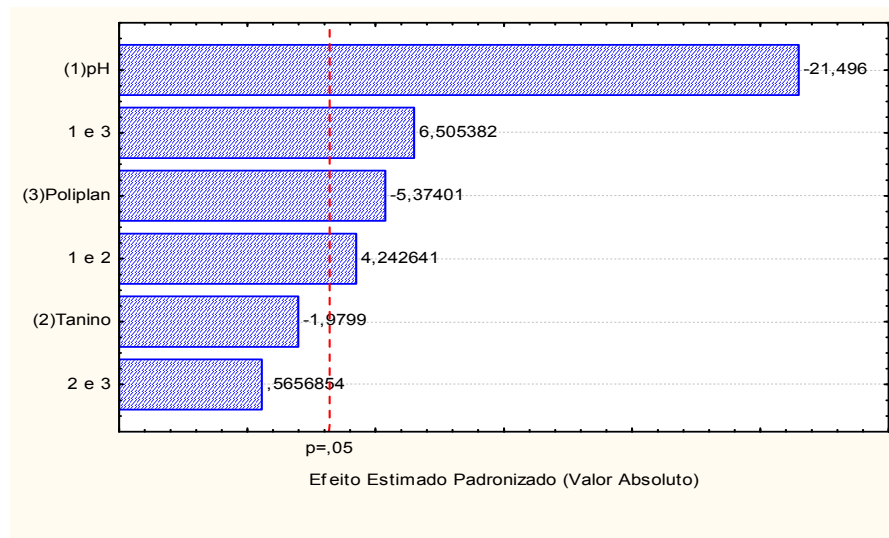
As análises desses diagramas indicam que, nas condições estudadas, o aumento do pH exerceu efeito negativo, altamente significativo do ponto de vista estatístico sobre o aumento da DQO, turbidez e concentração de cianeto, favorecendo a redução desses parâmetros. O aumento da concentração do Polipan exerceu efeito negativo, apenas sobre o aumento da turbidez e da concentração de cianeto, favorecendo também a redução dessas variáveis respostas (figuras 11 e 12).

Apenas algumas interações entre os fatores analisados favoreceram a diminuição das variáveis respostas, ou seja, exerceram efeitos negativos sobre o aumento da DQO, turbidez e concentração de cianeto. A interação do tanino com o Polipan favoreceram a redução da DQO e da concentração de cianeto (figuras 10 e 12) e a interação do pH com o Polipan exerceu efeito negativo sobre o aumento da concentração do cianeto (figura 12). Por outro lado, as interações do pH com o tanino e do pH com o Polipan exerceram efeitos positivos sobre o aumento da concentração da turbidez (figura 11), ou seja, favoreceram o aumento desse parâmetro.



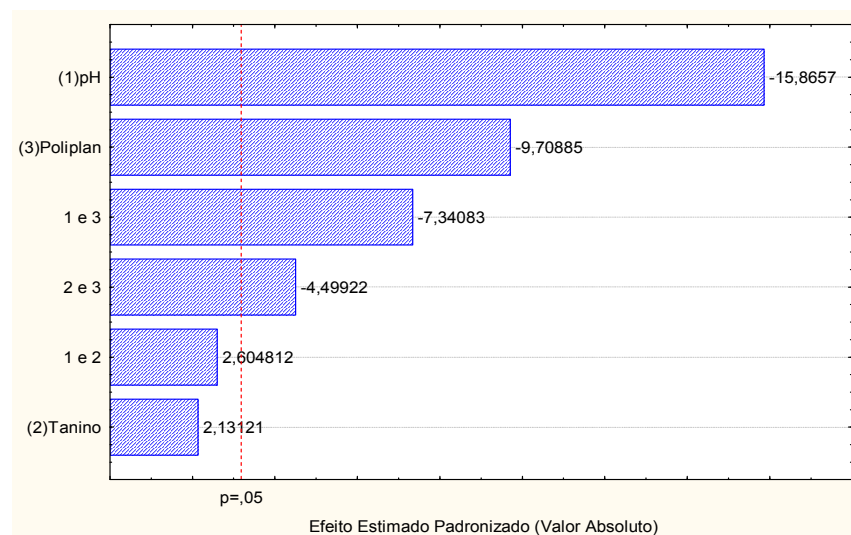
A linha tracejada vertical indica o ponto no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos.

Figura 10 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para o planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores o pH e a concentração de tanino e o Polipan e, como variável resposta a DQO do efluente.



A linha tracejada vertical indica o ponto no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos.

Figura 11 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores o pH e a concentração de tanino e o Polipan e, como variável resposta a turbidez do efluente



A linha tracejada vertical indica o ponto no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos.

Figura 12 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^3 , tendo como fatores o pH e a concentração de tanino e o Polipan e, como variável resposta a concentração de cianeto do efluente

2º Planejamento do tratamento físico-químico

Apesar dos bons resultados obtidos com o uso do Polipan no primeiro planejamento, esse agente floculante não foi incluído entre os fatores a serem investigados no segundo planejamento experimental, visando principalmente a redução de custos do tratamento físico-químico. Portanto, um planejamento fatorial completo 2^2 , constituído por 8 ensaios, incluindo 4 repetições no ponto central, foi realizado para investigar os efeitos e interações dos fatores pH e concentração de tanino sobre as variáveis respostas DQO, turbidez e concentração de cianeto. Os níveis e fatores investigados nesse planejamento encontram-se especificados na tabela 4. A matriz decodificada do segundo planejamento e os resultados obtidos para as variáveis respostas está apresentada na tabela 15.

Nesse planejamento, o efluente de manipueira apresentou DQO de 52.160 mg O_2/L , turbidez de 800 UNT e concentração de cianeto de 0,820 mg CN^-/L após o tratamento. Os melhores resultados foram obtidos no ensaio 2, onde a manipueira apresentou DQO de 9.208 mg O_2/L , turbidez de 200 UNT e concentração de cianeto igual a 0,703 mg CN^-/L . Nessas condições, as eficiências de remoção de DQO, turbidez e cianeto foram respectivamente de 82, 75 e 12 % (tabela 16). As eficiências de remoção de turbidez e de cianeto nesse segundo planejamento foram bastante satisfatórias e superiores as do primeiro planejamento. Entretanto, em termos de eficiência da remoção de DQO, o valor determinado de 91 % no primeiro foi superior à eficiência de 82 % no segundo. A ausência do polímero sintético auxiliar da floculação (Polipan) diminuiu a remoção de DQO no tratamento.

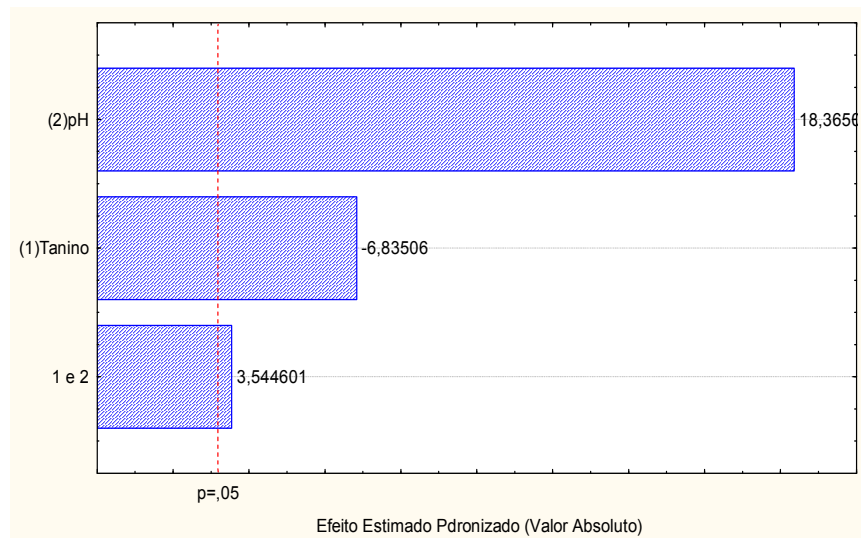
Tabela 15 Matriz do 2º planejamento fatorial do tratamento físico e químico da manipueira e resultados das variáveis respostas

Ensaio	Tanino (mL/L)	pH	DQO (mg O_2 /L)	Turbidez (UNT)	CN ⁻ (mgCN ⁻ /L)
1	0,4	8,0	15.416	270	0,804
2	0,8	8,0	9.208	200	0,703
3	0,4	10,0	24.280	260	0,921
4	0,8	10,0	22.312	260	0,940
5	0,6	9,0	16.215	240	0,730
6	0,6	9,0	15.416	240	0,725
7	0,6	9,0	15.928	250	0,721
8	0,6	9,0	16.850	260	0,781

Tabela 16 Eficiências da remoção de DQO, turbidez e cianeto

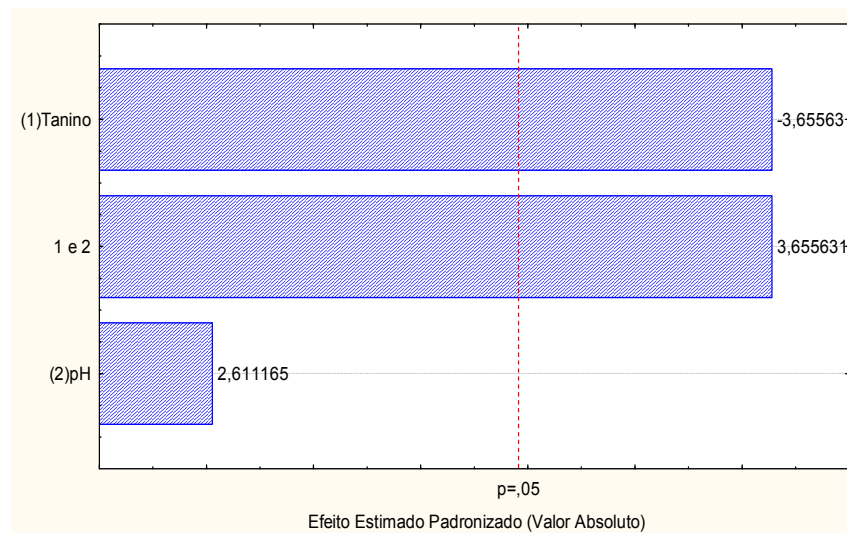
Parâmetros	Resultados	Eficiências
DQO (inicial)	52.160 mg O ₂ /L	82 %
DQO (final)	9.208 mg O ₂ /L	
Turbidez (inicial)	800 UNT	75 %
Turbidez (final)	200 UNT	
Cianeto (inicial)	0,820 mg CN ⁻ /L	12 %
Cianeto (final)	0,703 mg CN ⁻ /L	

Os diagramas de Pareto apresentados nas figura 13, 14 e 15 ilustram os efeitos exercidos pelos fatores pH e tanino sobre as variáveis respostas DQO, turbidez e concentração de cianeto, respectivamente. Considerando apenas os efeitos e interações dos parâmetros analisados que foram estatisticamente significativos, nas condições estudadas, o aumento da concentração do tanino exerceu efeitos negativos tanto sobre o aumento da DQO como da turbidez, favorecendo a redução dessas variáveis respostas (figuras 13 e 14). Por outro lado, favoreceram o aumento de variáveis respostas, ou seja, apresentaram efeitos positivos, o fator pH sobre o aumento da DQO e da concentração de cianeto (figuras 13 e 15) além da interação entre os fatores pH e tanino, sobre o aumento da DQO e da turbidez (figuras 13 e 14).



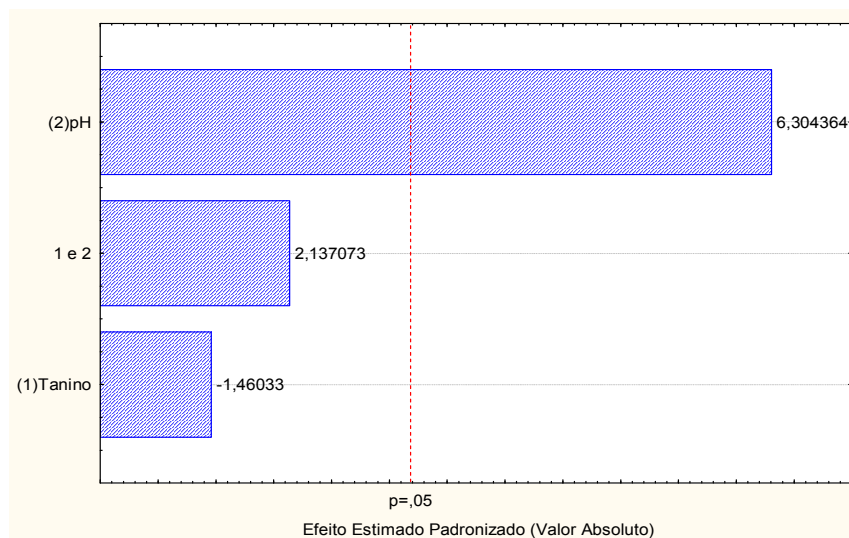
A linha tracejada vertical indica o ponto no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos.

Figura 13 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e a concentração de tanino, como variável resposta a DQO do efluente



A linha tracejada vertical indica o ponto no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos.

Figura 14 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e a concentração de tanino, como variável resposta a turbidez do efluente



A linha tracejada vertical indica o ponto no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos.

Figura 15 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e a concentração de tanino, como variável resposta a concentração de cianeto do efluente

3º Planejamento do tratamento físico-químico

Considerando os resultados do segundo planejamento, onde o fator que mais favoreceu o aumento da DQO foi o aumento do pH de 8 para 10 e o fator que mais favoreceu a redução da DQO e da turbidez foi o aumento da concentração de tanino de 0,4 para 0,8 mL/L, um planejamento fatorial completo 2^2 foi realizado para investigar os efeitos do pH e da concentração de tanino sobre as variáveis respostas DQO, turbidez e concentração de cianeto no efluente. Os níveis e fatores investigados nesse planejamento são apresentados na tabela 5. A matriz decodificada do terceiro planejamento e os resultados obtidos para as variáveis respostas esta apresentadas na Tabela 17.

Nesses experimentos, a manipueira apresentou uma DQO de 44.250 mg O_2 /L, turbidez de 800 UNT e cianeto 0,840 mg CN^- /L. No planejamento, os melhores resultados do tratamento físico e químico foram obtidos no ensaio 2, onde a manipueira apresentou DQO de 8.540 mg O_2 /L, turbidez de 240 UNT e cianeto 0,63 mg CN^- /L. Nessas condições, as eficiências de remoção de DQO, turbidez e cianeto foram respectivamente de 81 , 70 e 25 % (tabela 18). Portanto, comparando essas eficiências com as de remoção de DQO, turbidez e cianeto do segundo planejamento (82, 75 e 12 %, respectivamente), pode-se observar que o resultado conjunto das eficiências de DQO,

turbidez e cianeto obtido no terceiro planejamento foram melhor que o resultado conjunto das eficiências de DQO, turbidez e cianeto obtido no segundo planejamento, haja vista que os índices de eficiências de DQO e turbidez dos dois planejamentos são praticamente iguais, enquanto que a maior remoção de cianeto determinada no terceiro planejamento (condição 4), foi duas vezes maior que o valor máximo determinado de remoção no segundo planejamento (condição 2).

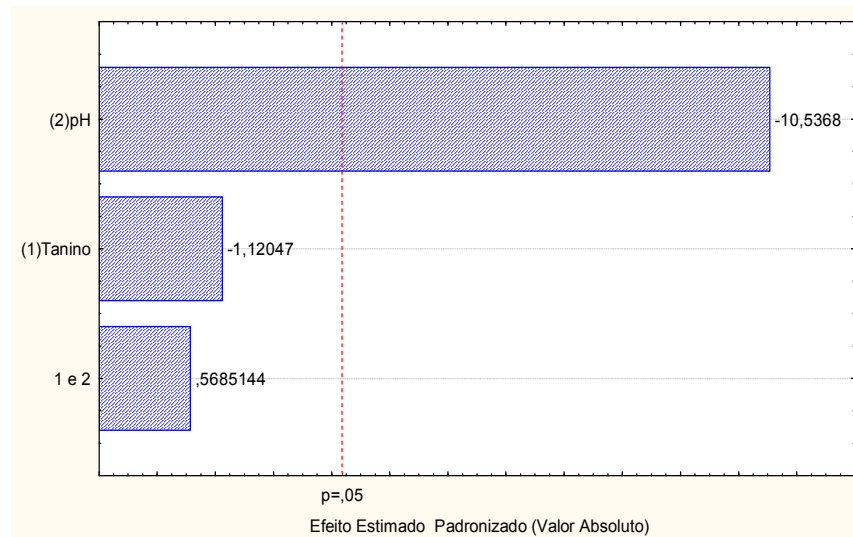
Tabela 17 Matriz do 3º planejamento fatorial do tratamento físico e químico da manipueira e resultados das variáveis respostas

Ensaio	Tanino (mL/L)	pH	DQO (mgO ₂ /L)	Turbidez (UNT)	CN ⁻
1	1,0	6,0	20.600	620	0,940
2	3,0	6,0	18.070	600	0,970
3	1,0	8,0	9.040	250	0,650
4	3,0	8,0	8.540	240	0,630
5	2,0	7,0	15.880	300	0,730
6	2,0	7,0	16.320	350	0,780
7	2,0	7,0	16.450	320	0,800
8	2,0	7,0	22.550	600	0,890

Tabela 18 Eficiências da remoção de DQO, turbidez e cianeto

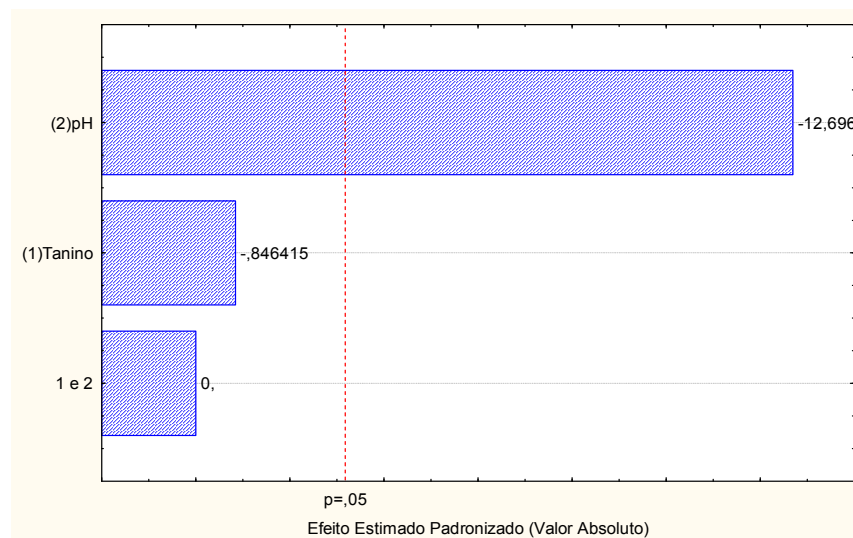
Parâmetros	Resultados	Eficiências
DQO (inicial)	44.250 mg O ₂ /L	81 %
DQO (final)	8.540 mg O ₂ /L	
Turbidez (inicial)	800 UNT	70 %
Turbidez (final)	240 UNT	
Cianeto (inicial)	0,840 mg CN ⁻ /L	25 %
Cianeto (final)	0,630 mg CN ⁻ /L	

Os diagramas de Pareto apresentados nas figuras 16, 17 e 18 ilustram os efeitos exercidos pelos fatores pH e tanino sobre as variáveis respostas DQO, turbidez e concentração de cianeto, respectivamente. As análises desses três diagramas indicam que, nas condições estudadas, o aumento do pH exerceu efeitos negativos estatisticamente significativos sobre as variáveis respostas DQO, turbidez e concentração de cianeto, favorecendo a redução das mesmas.



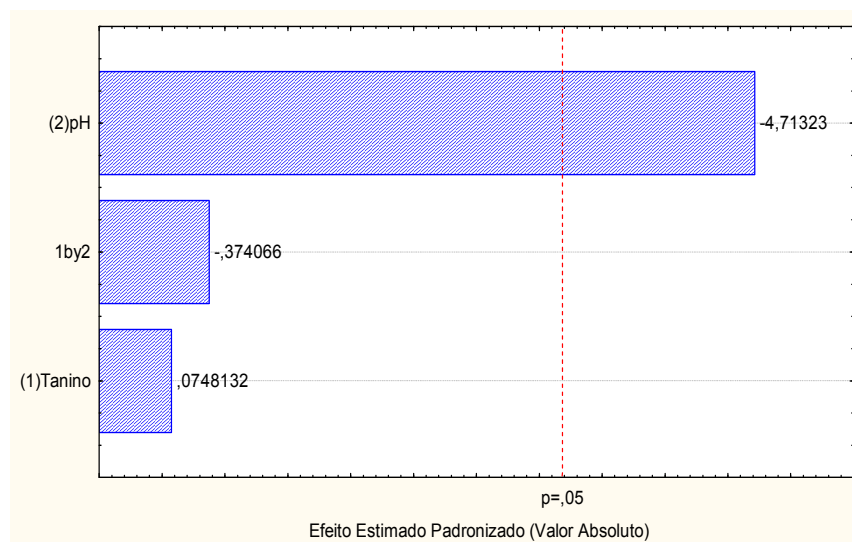
A linha tracejada vertical indica o ponto no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos.

Figura 16 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e a concentração de tanino, como variável resposta a DQO do efluente



A linha tracejada vertical indica o ponto no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos.

Figura 17 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e a concentração de tanino, como variável resposta a turbidez do efluente



A linha tracejada vertical indica o ponto no qual os efeitos estimados foram estatisticamente significativos.

Figura 18 Diagrama de Pareto de efeitos padronizados para planejamento fatorial completo 2^2 , tendo como fatores o pH e a concentração de tanino, como variável resposta a concentração de cianeto do efluente

Resumidamente nesse trabalho, as reduções de DQO atingiram valores de 81 a 91 % após os tratamentos físico-químicos com variações de pH, tanino e Polipan, cujas reduções de matéria orgânica da manipueira atingiram valores apresentados na literatura.

Vanacôr e Gehling (2007) determinaram que efluentes ricos em matéria orgânica, tratada com tanino diminuíram a DQO mais do que na presença de sulfato de alumínio; em contrapartida, para águas brutas de rios que não apresentaram grande quantidade de matéria orgânica, a coagulação-floculação, com o tanino não foi satisfatória.

Nesse trabalho, valores máximos de redução de turbidez foram determinados na faixa de 50 a 75 % após tratamento físico-químico, utilizando tanino como agente coagulante. A literatura apresenta valores de turbidez para efluentes industriais tratados na mesma faixa de grandeza obtidos também em tratamento por coagulação-floculação e decantação.

Costa e colaboradores (2007) realizaram tratamento por coagulação-floculação com a utilização do tanino e do Polipan como agente coagulante em efluente de indústria têxtil. A redução máxima de turbidez foi obtida no ponto central do planejamento (0,3 mg/L de tanino, 15 ppm do polímero auxiliar de floculação, a pH 7,5 durante 20 minutos),

condição em que a turbidez média atingiu aproximadamente 4 UNT. Foi determinada uma redução de turbidez de aproximadamente 79 % com relação ao efluente bruto.

Santana e colaboradores (2009) realizaram tratamento de água utilizando vários agentes coagulantes para a redução da turbidez da água. Nesse trabalho, foi utilizado um coagulante natural, extraído da *Moringa oleifera*. Os autores determinaram os melhores resultados com o coagulante natural cujos valores atingiram em torno de 80 % para a remoção da turbidez da água.

2.5 Conclusões

No tratamento biológico da manipueira, os microrganismos autóctones por bioestimulação originam um consórcio microbiano que apresenta potencial biotecnológico na degradação da matéria orgânica do efluente. Na presença de consórcio microbiano a 20 % v/v, cloreto de amônio a 5 - 6 % e a pH 8,0, eficiências máximas de reduções de DQO (88 %) e de turbidez (69 %) são obtidas em tratamentos biológicos aeróbios da manipueira durante 48 h.

Os tratamentos físico-químicos por coagulação-floculação e decantação da manipueira na presença de tanino e auxiliar de floculação (Polipan), a pH 8,0 são condições para remoção máxima de DQO (91%). O tanino a 1 mL/L a pH 8,0 reduz a DQO em mais de 80 % enquanto a eficiência de remoção da turbidez atinge 75 % e de cianeto, 12 %.

O pH 8,0 é o principal fator que contribui para a degradação de matéria orgânica nos tratamentos físico-químico e biológico da manipueira.

2.6 Referências Bibliográficas

ABRAHAM, T. E.; SENAN, R. C.; SHAFFIQU, T. S.; ROY, J. J.; POULOSE, T. P.; THOMAS, P. P. Bioremediation of textile azo dyes by an aerobic bacterial consortium using a rotating biological contactor. **Biotechnology Progress**, Estados Unidos, v. 19, n. 4, p. 1372-1376, sep., 2008.

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION. WATER ENVIRONMENT FEDERATION. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 20th. ed. Baltimore: APHA, 1998.

BARROS, G. S.; CRUZ, E. M. L.; PAIVA, S. C.; SALGUEIRO, A. A.; GAZINEU, M. H. P. Impacto ambiental de efluentes de unidades produtoras de farinha de mandioca do rio Tapacurá. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA AMBIENTAL, 6., 2008, São Paulo. **Anais...** São Paulo: ASBEA, 2008. 1CD.

BARANA, A. C. Despoluição da manipueira e uso em fertilização do solo. In: SIMPÓSIO NACIONAL SOBRE A MANIPUEIRA, 1. **Anais...** Vitória da Conquista: Uesb, 2008. 1CD.

BRANCO, M. S. A dinâmica de populações microbiológicas na estabilização aeróbia de resíduos orgânicos de feculíngias de mandioca. **Revista de Saúde Pública**, São Paulo, v. 1, n. 2, p.126-140, dec., 1967.

BRANCO, S. M. Investigation on biological stabilization of toxic wastes from manioc processing. **Progress in Water Technology**, Inglaterra, v. 11, n. 6, p. 4 - 51, 1979.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**, Brasília, DF. Disponível em: <<http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>>. Acesso em: 11 fev 2008.

CEREDA, M. P. Caracterização dos subprodutos da industrialização da mandioca. In: _____. **Manejo, Uso e Tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. São Paulo: Fundação Cargill, 2000. v. 4, p. 13-37.

CAMPOS, T. A.; DAGA, J.; RODRIGUES, E. E.; FRANZENER, G.; SUGUIY, M. M. T.; SYPPERCK, V. L. G. Tratamento de águas residuárias de fecularia por meio de lagoas de estabilização. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, 235-242, jan. /abr., 2006.

COSTA, A. F. S.; PAIVA, S. C.; ALBUQUERQUE, C. D. C.; SALGUEIRO, A. A. Tratamento biológico de efluentes de lavanderias e tinturarias industriais de Toritama, Pernambuco. In: CONGRESSO ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. 2007, Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: ABES, 2007. 1CD.

DIAS, F.G. **Utilização de consórcio microbiano para biorremediação do meio ambiente contaminado com derivados de petróleo**. 2007. 106f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química). Universidade Estadual de Campinas, São Paulo, 2007.

DI-BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. B. **Métodos e técnicas de tratamento de água**, 2. ed., São Paulo: Rima, 2005, v. 1.

DUBOIS, M.; GILLES, K. .A.; HAMILTON, J. K.; REBERS, P.A., SMTH, F. Colorimetric method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, Chapel Hill, v. 29, n. 3, p. 350–356, mar., 1956.

FEIDEN, A. **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). Universidade Estadual Paulista, São Paulo. 2001.

FIORETTO, A. R. Uso direto da manipueira em fertirrigação. In: _____. **Manejo, uso e tratamento de subprodutos da industrialização da mandioca**. Londrina: Universidade Estadual de Londrina, 2001. p. 138-151.

FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; KUBOTA, L. T.; DURAN, N.; PERALTA-ZAMORA, P. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. **Química Nova**, São Paulo, v. 23, n. 4, p. 504-511, jan., 2000.

HESS, M. L. **Tratamento de despejos de feculárias de mandioca por oxidação biológica**. São Paulo: SABESP, 1962. 8p.

LIMA, R. A.; SANTOS, W. R.; CRUZ, E. L. V.; PAIVA, S. C.; SALGUEIRO, A. A. Biodegradação da manipueira por consórcio microbiano. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 25. 2009, Recife. **Anais ...** Rio de Janeiro: ABES, 2009. 1CD.

MANIPUEIRA se aproveita? Recife: SNE, 2007, 6p. (CORREDOR DA FARINHA, n. 3).

MANOCHA, M. S.; SAN-BIAS. G.; CENTENO. S. Lipid composition of paracoccidioides brasiliensis: Possible correlation with virulence of different strains. **Journal of General Microbiol**, Nova Jersey, v. 177, p. 147-154, jul., 1980.

MARÓSTICA M. R.; PASTORE, G. M. Production of R-(+)- α -terpineol by the biotransformation of limonene from orange essential oil, using cassava waste water as medium. **Food Chemistry**, New York, v. 101, n. 1, p. 345-350, mar., 2007.

OLIVEIRA, K. R. F.; IDE, C. N.; PAULO, P. L. Processos ecotecnológicos no tratamento de efluentes líquidos de fecularia. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE MANDIOCA, 11. Campo Grande, 2005, **Anais ...** Mato Grosso, EMBRAPA, 2005. 1CD.

PELCZAR, M. J.; CHAN, E. C. S.; KRIEG, N. R. **Microbiologia: conceitos e aplicações**. v. 1. 2. ed. São Paulo: Markron Books, 2004, v. 1.

SALGUEIRO, A. A.; NORONHA, L. L. B.; BARROS, G. S.; CRUZ, E. L. V.; LIMA, R. A.; PAIVA, S. C., GAZINEU, M. H. P. Monitoramento da qualidade de água do rio Tapacurá - um estudo de caso. In: **GESTÃO integrada de ambientes costeiros e impactos ambientais**. Recife: Universidade Católica de Pernambuco, 2009. v. 5, p. 13-23.

SANTAELLA, S. T.; JUNIOR, F. C. G. S.; COSTA, K. O.; AGUIAR, R.; ARTHAUD, I. D. B.; LEITÃO, R. C. Tratamento de efluentes de refinaria de petróleo em reatores com *Aspergillus niger*. **Engenharia Sanitária Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, N. 1, p. 139-148, jan./mar., 2009.

SANTANA, C. R.; PEREIRA, D. F.; ARAUJO, N. A.; CAVALCANTI, E. B.; SILVA, G. F. Eficiência do Coagulante Natural da *Moringa oleifera Lam* no Tratamento de Água Produzida. In: ENCONTRO NACIONAL DE MORINGA, 2. 2009, Aracaju. **Anais...Cd-rom**. Aracaju: ENAM, 2009. 1CD.

SCRAGG, A. H. **Biotechnology for Engineers**: Biological Systems in Technological Processes. Grã Bretanha: Ellis Horwood, 1988.

SAID, S.; PIETRO, R. Generalidades sobre aplicação industrial de enzimas. In: _____ **Enzimas como agentes biotecnológicos**. Ribeirão Preto: Legis Summa, 2004. p. 1-7.

VANACÔR, R. N.; GEHLING, G. R. Caracterização do efluente da lavagem dos filtros de uma ETA convencional utilizando coagulante orgânico derivado do tanino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 24. 2007, Belo Horizonte. **Anais ...** Rio de Janeiro: ABES, 2007. 1CD.

CAPÍTULO III

3 Conclusões Gerais

A coleta e tratamento dos resíduos de diversas origens, com destaque para os efluentes domésticos e industriais são importantes questões ambientais. A crescente complexidade desses efluentes aumenta as dificuldades para otimizar a sua degradação e são as causas da busca constante de novas tecnologias ou de melhorias nas já existentes para o tratamento ou mineralização desses resíduos. Existe grande variedade de métodos físico-químicos e biológicos aplicados no tratamento de efluentes e a escolha depende da composição e da viabilidade econômica associada à preservação dos recursos naturais.

O tratamento físico-químico por coagulação-floculação seguido da decantação da manipueira, na presença de tanino e Polipan, a pH 8 são condições para remoção de DQO que viabilizam seu lançamento em corpos aquáticos receptores. Visando diminuir os custos do tratamento da manipueira, o polímero Polipan pode ser excluído do tratamento, e na ausência desse agente auxiliar da floculação, as reduções de DQO, turbidez e cianeto atingem valores em torno de 80, 75 e 25 %, respectivamente.

O tratamento biológico da manipueira por bioestimulação dos microrganismos autóctones origina um consórcio microbiano que apresenta potencial biotecnológico de biodegradação da matéria orgânica.

Por análise estatística, o pH 8,0 é o principal fator que contribui para a degradação de matéria orgânica tanto nos tratamentos físico-químico como no biológico da manipueira.