

UNICESUMAR – CENTRO UNIVERSITÁRIO DE MARINGÁ
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM TECNOLOGIAS LIMPAS

JEAN PAULO SILVA NATAL

ELETROFLOCULAÇÃO SEGUIDO PELA ADIÇÃO DE
MORINGA OLEIFERA PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES
DE LAGOA DE VINHAÇA

MARINGÁ
2017

JEAN PAULO SILVA NATAL

ELETROFLOCULAÇÃO SEGUIDO PELA ADIÇÃO DE
MORINGA OLEIFERA PARA O TRATAMENTO DE EFLUENTES
DE LAGOA DE VINHAÇA

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas do Centro Universitário de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Limpas.

Orientador: Prof. Dr. Luiz Felipe Machado Velho
Coorientador: Prof. Dr. Adriano Valim Reis

MARINGÁ
2017

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

N271e Natal, Jean Paulo Silva.

Eletrofloculação seguido pela adição de Moringa oleífera para o tratamento de efluentes de lagoa de vinhaça / Jean Paulo Silva Natal. – Maringá-PR, 2017.

69 f. ; il. Color. ; 30 cm.

Orientador: Luiz Felipe Machado Velho.

Co-orientador: Adriano Valim Reis.

Dissertação (mestrado) – UNICESUMAR - Centro Universitário de Maringá, Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas, 2017.

Leila Nascimento – Bibliotecária – CRB 9/1722

Biblioteca Central UniCesumar

Permitida a reprodução parcial ou total, desde que citada a fonte.

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, especialmente ao meu Pai Odair Natal por sempre estar presente e apoiar mesmo as minhas ideias mais "loucas".

AGRADECIMENTOS

A Deus por sempre colocar em meu caminho pessoas maravilhosas.

Ao Professor Dr. Lúcio Cardozo Filho que gentilmente emprestou o equipamento de eletrofloculação para que eu pudesse desenvolver meus trabalhos.

Ao UNICESUMAR, por ter me possibilitado desenvolver este trabalho.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela bolsa de estudos.

Aos professores do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas/ UNICESUMAR. Especialmente a Professora Dr^a Rosa Maria Ribeiro que sempre me auxiliou.

Aos meus professores Dr. Adriano Valim Reis e Dr. Luiz Felipe Machado Velho.

Ao Marcelo Teixeira da Silva que, além de um excelente profissional se mostrou um bom amigo durante a realização da parte experimental do meu trabalho.

A minha namorada Ana Paula por toda parceria, carinho e paciência que teve por mim durante essa longa trajetória.

A minha querida Irmã e meu cunhado que sempre me apoiaram e incentivaram a estudar.

A todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho.

“Há mais pessoas que desistem
do que pessoas que fracassam.”

Henry Ford.

JEAN PAULO SILVA NATAL

Eletrofloculação seguido pela adição de *Moringa oleifera* para o tratamento de efluentes de lagoa de vinhaça

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Limpas do Centro Universitário de Maringá, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre em Tecnologias Limpas pela comissão julgadora composta pelos membros:

COMISSÃO JULGADORA

Prof. Dr. Luiz Felipe Machado Velho

UNICESUMAR- Centro Universitário de Maringá (Presidente)

Prof^a. Dr^a. Natália Ueda Yamaguchi

UNICESUMAR- Centro Universitário de Maringá

Prof^a. Dr^a Letícia NishiLuiz

Universidade Estadual de Maringá

Aprovado em: 09 de Dezembro de 2016

Eletrofloculação seguido pela adição de *Moringa oleifera* para o tratamento de efluentes de lagoa de vinhaça

RESUMO

Com o avanço industrial a geração de efluentes líquidos tem aumentado consideravelmente. A disposição inadequada destes resíduos pode prejudicar a saúde dos seres humanos e a qualidade ambiental. O setor sucroalcooleiro, por exemplo, é responsável pela geração de uma grande quantidade do efluente líquido denominado de vinhaça, que possui significativa quantidade de matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅). Diante disso, o objetivo geral desse trabalho consiste em utilizar a técnica de eletrofloculação em conjunto com a utilização das sementes de *Moringa oleifera* no tratamento de efluentes proveniente de lagoas de vinhaça. Foi utilizado na etapa de eletrofloculação o planejamento fatorial 3² como método de análise, nesta etapa avaliou-se a influência dos parâmetros: tempo e intensidade de corrente elétrica através dos valores de redução do (COT) e DBO₅. Na etapa seguinte foram avaliadas diferentes quantidades do pó das sementes de *M. oleifera*. Foram utilizados como parâmetros para avaliação da eficiência do processo os valores de turbidez, carbono orgânico total COT e DBO₅. Foi estabelecido como melhor condição de operação para etapa de eletrofloculação a combinação de tempo e intensidade de corrente elétrica em 90 minutos e 1 ampere (A). A etapa de eletrofloculação apresentou uma redução de 72% de COT, 36 % de DBO₅ e 92 % de turbidez. Na etapa seguinte onde foram adicionados diferentes quantidades de pó das sementes de *M. oleifera*, a melhor condição de operação foi com a adição de 0,5 g.L⁻¹ do pó das sementes de *M. oleifera* desengordurada, com eficiência de redução de 70 % DBO₅ e 81% na turbidez. No entanto para o parâmetro COT nenhuma amostra apresentou resultados satisfatórios, devido ao incremento de matéria orgânica pela adição das sementes de *M. oleifera* no efluente. Ao avaliar a eficiência geral do processo (eletrofloculação aliada com a utilização das sementes) verificou-se para os parâmetros avaliados COT, DBO₅ e turbidez uma redução significativa de 38 %, 80 % e 90 % respectivamente. Conclui-se que a utilização da técnica de eletrofloculação aliada à utilização das sementes de *M. oleifera* desengordurada é uma alternativa limpa e com grande potencial para o tratamento de efluentes de vinhaça.

Palavras-chaves: Eletrofloculação, biopolímeros, *Moringa oleifera*, vinhaça.

Electroflocculation followed by the addition of *Moringa oleifera* for the treatment of vinasse pond effluents

ABSTRACT

With the industrial advance, the generation of liquid effluents has grown considerably. The inappropriate disposal of this waste can prejudice the health of the human beings and the environmental quality. The sugar and alcohol sector, for example, is responsible for the generation of a big quantity of liquid effluents, called vinasse, which has significant quantity of organic material, low pH, high corrosivity and high indexes of biochemical oxygen demand (DBO₅). Being that, the general objective of this project consists in using a electroflocculation technique together with usage of the seeds of *Moringa oleifera* in the treatment of effluents from vinasse ponds. It was used in the step of electroflocculation, the factorial planning 3². As a method of analysis, in this step, it was evaluated the influence of parameters: Time and intensity of a electric chain through the values of total organic carbon reduction (COT) and DBO₅. In the next step the seed powder of *M. oleifera* was evaluated in different quantities. As parameters for the evaluation of efficiency of the process of turbidity values, total organic carbon COT and DBO₅ were used. It has been established as the best condition of operation for the electroflocculation step with the combination of time and intensity of a electric chain in 90 minutes and 1 ampere (A). The step of electroflocculation presented a reduction of 72% COT, 36 % DBO₅ and 92 % of turbidity. The next step, where different quantities of *M. oleifera*'s seed powder were added, it was obtained different results, the best condition of the operation was the addition of 0,5 g.L⁻¹ of degreased *Moringa*'s seed powder where it was obtained a reduction of 70 % DBO₅ and 81% in turbidity. However for the parameter COT none of the samples presented satisfactory results, due to the increase of organic material through the seeds of *M. oleifera* in effluent. When evaluating the general efficiency process (electroflocculation allied with the usage of the seeds) it was verified for the evaluated parameters COT, DBO₅ and turbidity a significant reduction of 38 %, 80 % e 90 % respectively. It was concluded that the usage of the electroflocculation technique allied to the usage of degreased *M. oleifera*'s seeds is a clean alternative and with big potencial for the treatment of vinasse effluents.

Key-words: Electroflocculation, biopolymers, *Moringa oleifera*, vinasse.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Cultivo de cana-de-açúcar na região centro sul do país.....	20
Figura 2: Reações eletroquímicas no processo eletrofloculação.....	22
Figura 3: Reator monopolar com eletrodos em paralelo	23
Figura 4: <i>M. oleifera</i> : (A) árvore, (B) folhas, (C) vagens, (D) flores e (E) sementes	27
Figura 5: Organograma geral utilizado para o desenvolvimento do trabalho experimental	30
Figura 6: Ponto de geração e coleta da amostra (A) Destilaria, (B) Lagoa de armazenamento de vinhaça.....	31
Figura 7: Eletrodo experimental em alumínio	32
Figura 8: Fonte utilizada no experimento.....	33
Figura 9: Sementes de <i>Moringa oleifera</i> (A) com cascas, (B) descascadas e (C) moídas.	35
Figura 10: Extração por <i>Soxhlet</i>	36
Figura 11: <i>Jar Test</i>	38
Figura 12: Superfície de resposta referente à variação da Red COT % em função da intensidade de corrente elétrica (A) e do tempo de eletrofloculação (min).	Erro!
Indicador não definido.	
Figura 13: Superfície de resposta referente à variação da Red DBO ₅ em função da intensidade de corrente elétrica (A) e do tempo de eletrofloculação (Min).	Erro! Indicador não definido.
Figura 14: Comparativo: (A) vinhaça <i>in natura</i> , (B) primeira etapa eletrofloculação e (C) Segunda etapa eletrofloculação.....	46
Figura 15: Pó das sementes de <i>Moringa oleifera</i> : (A) com óleo, (B) sem óleo e (C) óleo extraído por <i>Soxhlet</i>	47
Figura 16: Comparativo da concentração do COT com o pó da <i>Moringa</i> com e sem óleo	49
Figura 17: Comparativo da concentração de turbidez com o pó da semente de <i>Moringa</i> com e sem óleo.....	52
Figura 18: Comparativo da concentração de DBO ₅ com a adição do pó da semente de <i>Moringa</i> com e sem óleo	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Percentual de estimativa da produção de cana, Paraná-2015.	21
Tabela 2: Parâmetro cor e turbidez antes e após o tratamento com <i>Moringa oleifera</i>	29
Tabela 3: Remoção DQO, cor e turbidez com diferentes concentrações de <i>Moringa oleifera</i>	29
Tabela 4: Matriz de Planejamento Fatorial 3 ²	33
Tabela 5: Redução % do COT comparado com a Vinhaça <i>in natura</i> Erro! Indicador não definido.	
Tabela 6: Resultados da ANOVA referentes às análises de Redução COT%... Erro! Indicador não definido.	
Tabela 7: Comparativo sobre a redução do carbono orgânico total da vinhaça através da técnica de eletrofloculação. Erro! Indicador não definido.	
Tabela 8: Redução % da DBO ₅ comparado com a Vinhaça <i>in natura</i> Erro! Indicador não definido.	
Tabela 9: Resultados da ANOVA referentes às análises de Red DBO ₅ %. Erro! Indicador não definido.	
Tabela 10: Comparativo sobre a redução da DBO ₅ da vinhaça através da técnica de eletrofloculação. Erro! Indicador não definido.	
Tabela 11: Comparativo sobre a redução da turbidez da vinhaça através da técnica de eletrofloculação.	46
Tabela 12: Eficiência de redução de DBO ₅ , COT e turbidez entre a vinhaça <i>in natura</i> e a melhor condição determinada no processo (90 min. e 1 A).	47
Tabela 13: Comparativo da concentração do COT com o pó da <i>Moringa</i> com óleo e o pó da <i>Moringa</i> sem óleo.	48
Tabela 14: Percentual de acréscimo do COT turbidez com o incremento de diferentes concentrações de <i>M. oleifera</i> com e sem óleo.	50
Tabela 15: Comparativo da concentração de Turbidez com o pó da semente de <i>Moringa</i> com e sem óleo.	51

Tabela 16: Percentual de remoção e acréscimo da turbidez com o incremento de diferentes concentrações de <i>M. oleifera</i> com e sem óleo.....	52
Tabela 17: Comparativo da concentração de DBO ₅ com a adição do pó da semente de <i>Moringa</i> com e sem óleo.....	54
Tabela 18: Porcentagem de redução da DBO ₅ com o incremento de diferentes concentrações de <i>Moringa oleifera</i> com e sem óleo.....	56
Tabela 19: Melhor concentração do pó se sementes de <i>Moringa oleifera</i>	57
Tabela 20:Eficiência geral do sistema de eletrofloculação combinado com a utilização do biopolímero natural obtido através do pó das sementes de <i>Moringa oleifera</i>	58
Tabela 21: Comparação da redução do COT, DBO ₅ e turbidez com relatos da literatura	59

SUMÁRIO

1	Introdução.....	15
1.1	Objetivos.....	16
1.1.1	Geral.....	16
1.1.2	Específicos.....	17
2	Revisão de literatura.....	18
2.1	O setor sucroalcooleiro.....	18
2.1.1	Cana-de-açúcar na região Centro-Sul do País.....	19
2.2	Eletrofloculação.....	21
2.2.1	Reator eletrofloculação.....	23
2.2.2	Vantagens e desvantagens da aplicação da técnica de eletrofloculação.....	24
2.3	Processos de Eletrofloculação Aplicados ao Tratamento de Vinhaça.....	25
2.4	Utilização de biopolímeros no auxílio do tratamento de efluente.....	26
2.4.1	Características <i>M. oleifera</i>	26
2.4.2	Utilização da <i>Moringa oleifera</i> no tratamento de água.....	28
2.4.3	Utilização da <i>M. oleifera</i> no tratamento de efluentes.....	28
3	Metodologia.....	30
3.1	Reator experimental de eletrofloculação.....	31
3.2	Planejamento experimental.....	33
3.2.1	Ensaio de Eletrofloculação.....	34

3.3	Escolha da melhor condição para utilização dos biopolímeros.	34
3.3.1	Preparação do coagulante	35
3.3.2	Processo de extração do óleo.....	36
3.4	Ensaio de coagulação	37
4	Resultados e discussão	39
4.1	Redução do carbono orgânico total (COT) no processo de Eletrofloculação.....	39
4.2	Redução DBO ₅ no processo de Eletrofloculação.....	42
4.3	Redução da turbidez no processo de eletrofloculação	45
4.4	Análise do carbono orgânico total - COT com a adição de <i>Moringa oleifera</i>	48
4.5	Análise da turbidez com a adição de <i>Moringa oleifera</i>	51
4.6	Análise da DBO ₅ com a adição de <i>Moringa oleifera</i>	54
4.7	Melhor concentração do pó de sementes de <i>Moringa oleifera</i>	57
4.8	Eficiência geral do tratamento	58
5	Conclusão.....	59
6	Referências	62

1 INTRODUÇÃO

Com os avanços do setor industrial e o crescimento muitas vezes descontrolado das cidades é comum a disposição inadequada de efluentes líquidos, sejam eles de origem doméstica ou industrial. Tanner *et al.* (2012), A disposição de efluentes sem tratamento pode ocasionar a poluição de águas superficiais e subterrâneas e por vezes, prejudicar a saúde dos seres humanos e a qualidade ambiental. Sendo assim, a disposição inadequada de efluentes em ambientes naturais causam impactos negativos visto que estes possuem quantidades significativas de poluentes (TANNER, *et al* 2012).

Os impactos ambientais decorrentes do processo industrial de etanol e açúcar são significativos em virtude do grande consumo de água utilizada no processo e elevado volume de efluentes produzidos. Silva *et al.* (2006), classificam a vinhaça como o líquido residual do processo da produção de etanol e açúcar, rico em íons (principalmente sódio e potássio) os quais podem ser nocivos ao meio ambiente. Para cada litro de etanol produzido são gerados aproximadamente treze litros de vinhaça (Embrapa, 2016). Ramjeawon (2000), aponta o setor de alimentos como líder no consumo de água e geração de efluentes por unidade de produção.

A utilização da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes industriais tem se mostrando eficaz e promissora, resultados positivos têm sido alcançados na clarificação de biodiesel, remoção de corantes da indústria têxtil, remoção de metais pesados entre outros. Cerqueira *et al.* (2009), descrevem que a técnica de eletrofloculação pode contribuir para o tratamento de efluentes líquidos uma vez que esta remove materiais tóxicos e possibilita que o efluente tratado retorne ao meio ambiente dentro das especificações da legislação ambiental vigente.

Os biopolímeros são materiais biodegradáveis que tem apresentado resultados promissores na remoção de matéria orgânica natural de águas contaminadas. Além disso, consiste num material abundante e de fácil aplicação (Carvalho, 2006). Dentre os biopolímeros disponíveis comercialmente destacam-se a pectina, quitina, quitosana, celulose, goma arábica e outros. São materiais obtidos a partir de certas frutas, legumes, madeira, casca de crustáceos, casulo de bicho da seda, dentre outros. (HORN, 2008; HENNIG, 2009).

As sementes da *M. oleifera* apresentam em sua composição biopolímeros e têm sido empregadas no tratamento de água e efluentes. Os biopolímeros presentes nas sementes de *M. oleifera* possuem capacidade de coagular e flocular resíduos presentes em água, sendo assim muito utilizada no tratamento e clarificação de efluentes líquidos industriais (POZZOBON; KEMPKA, 2015).

Este trabalho consiste em tratar efluentes líquidos de lagoas de vinhaça por meio da técnica de eletrofloculação seguida de adições de sementes de *M. oleifera*. Por ser um efluente gerado em quantidade significativa no Noroeste do Estado do Paraná a vinhaça foi o efluente escolhido para ser tratado e analisado neste estudo.

As novas fontes de energias, tecnologias limpas e o consumo consciente, têm sido as principais ferramentas utilizadas na conciliação do desenvolvimento econômico e social aliadas com a preservação de recursos proveniente do meio ambiente (MELETI *et al.*, 2012).

A vinhaça é um efluente líquido que é disposto diretamente, quase que diariamente, no solo e causa uma série de impactos negativos ao meio ambiente (EMBRAPA, 2015). Diante disso, o desenvolvimento de técnicas ou “processo limpos” de tratamento de efluentes líquidos são atrativos e necessários dentro do atual cenário sócio-econômico-ambiental. A técnica de eletrofloculação aliada com a utilização de materiais ricos em biopolímeros (catiônicos e aniônicos) surge como uma técnica promissora e com alto potencial de aplicação se comparada aos processos convencionais de tratamentos de efluentes.

Considerando o alto volume da vinhaça produzida atualmente pelo setor sucroalcooleiro e o impacto ambiental causado por este efluente torna-se justificável este estudo o qual propõe o emprego de técnicas limpas visando melhorar a qualidade do efluente.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Geral

Desenvolver um processo de tratamento de efluentes líquidos gerados pelo setor sucroalcooleiro empregando técnicas de eletrofloculação e sementes de *M. oleifera*.

1.1.2 Específicos

- a) Realizar o tratamento da vinhaça proveniente de lagoa por eletrofloculação.
- b) Avaliar os percentuais de redução do COT e DBO₅ da vinhaça submetida às diferentes condições de eletrofloculação.
- c) Determinar a melhor condição (tempo e amperagem) do sistema para eletroflocular a vinhaça.
- d) Preparar as sementes de *M. oleífera* para utilizá-las no processo de tratamento.
- e) Usar diferentes quantidades a sementes de *M. oleífera* (desengordurada ou não) na vinhaça eletrofloculada e avaliar os percentuais de redução da DBO₅, COT e turbidez.
- f) Estimar as condições ótimas do processo, que consiste na melhor condição da etapa de eletrofloculação e na quantidade adequada de semente de *M. oleífera* para tratar a vinhaça.

2 REVISÃO DE LITERATURA

Com a finalidade de tornar claro alguns conceitos e auxiliar no entendimento do tema e interpretação dos resultados, na sequência apresentam-se conceitos e discussões relevantes sobre o estudo.

2.1 O SETOR SUCROALCOOLEIRO

No Brasil, o sistema agroindustrial da cana-de-açúcar é considerado um dos mais antigos, e sempre esteve ligado diretamente com os principais eventos históricos do país (FARINA, 1998).

Desde que foi introduzida no país no período colonial, a produção de cana-de-açúcar tornou-se uma das principais culturas da economia brasileira (MAPA, 2016). O país lidera o *ranking* mundial na produção e exportação de açúcar e etanol, tendo o menor custo de produção quando comparado com os principais competidores do mercado internacional (VIEIRA; LIMA; BRAGA, 2015).

Atualmente, o país é referência nos estudos sobre cana-de-açúcar, reflexo de anos de experiência que teve início nos anos 70 com a criação do PROÁLCOOL (Programa Nacional do Alcool). Durante a crise mundial do petróleo, especificamente em 1973, o Brasil importava cerca de 80 % do petróleo consumido no país, sendo assim, o governo iniciou uma série de ações como investimentos no setor sucroalcooleiro com intuito de reduzir a importação e consumo de diesel (VIEIRA; LIMA; BRAGA, 2015).

De acordo com o levantamento divulgado pela Companhia Nacional de Abastecimento (CONAB), a safra 2015/2016 de cana-de-açúcar ultrapassou os 655,2 milhões de toneladas, esse volume representa um aumento de 3,2% em relação à safra anterior, sendo que a maior parte do volume colhido, em torno de 66%, foi destinada à produção de etanol (CONAB, 2015).

Com o incentivo do programa Proálcool, notou-se que a quantidade de vinhaça gerada no setor sucroalcooleiro crescia no mesmo ritmo que a produção de etanol, desta forma, as consequências de sua deposição no meio ambiente começaram a se tornar mais aparentes,

neste sentido começaram a surgir possibilidades ambientalmente corretas para sua disposição (SILVA, 2011).

No final dos anos 70, o lançamento de vinhaça nos mananciais superficiais era realizado de acordo com a produção de etanol, causando assim impactos ambientais agudos e pontuais em virtude da sazonalidade da disposição. Desta forma, a opção encontrada na época foram as chamadas “áreas de sacrifício”, que consistem basicamente em grandes áreas onde era depositada a vinhaça, porém estas áreas tornavam-se inutilizadas com o passar do tempo (SILVA, 2011).

Atualmente a aplicação de vinhaça no solo ocorre através da fertirrigação, um processo que engloba desde sua geração passando pelo sistema de armazenamento, geralmente composto por lagoas, em seguida a vinhaça é distribuída por canais até o local da aplicação (PAREDES, 2015).

Para produção de 1 litro de etanol são gerados cerca de 13 litros de vinhaça, conhecida também como vinhodo, tiborna ou restilo (Gleriani, 2000). Uma das características mais marcantes da vinhaça está relacionada com seu alto poder poluente à fauna e flora, devido a sua quantidade significativa de matéria orgânica, baixo pH, elevada corrosividade e altos índices de demanda bioquímica de oxigênio (DBO) (FREIRE; CORTEZ, 2000).

Segundo Silva (2012), a ausência de fiscalização e controle sobre a fertirrigação dificulta o entendimento sobre a real capacidade da lavoura de cana-de-açúcar em absorver a maior parte dos sais minerais, deixando lacunas sobre o potencial de salinização do solo e contaminação do manancial subterrâneo causado pela vinhaça.

O Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA estabelece pela resolução N^o 430, de 13 de maio de 2011 as condições, parâmetros, padrões e diretrizes para o lançamento de efluentes em corpos de água receptores, contudo a legislação não estabelece os parâmetros para disposição de efluentes líquidos em solo. A resolução referida traz que o despejo em solo não poderá acarretar contaminação ou poluição aos mananciais superficiais e subterrâneos (BRASIL, 2011).

2.1.1 Cana-de-açúcar na região Centro-Sul do País

Atualmente, as lavouras de cana-de-açúcar ocupam grande parte do território brasileiro. O Estado de São Paulo lidera a produção nacional de etanol e açúcar com cerca de 60%, sendo que a região de Ribeirão Preto possui grandes áreas plantadas responsáveis por 45 % da produção no Estado (Antunes; Azania; Azania, 2012). Os Estados de Minas Gerais, Goiás, Mato Grosso do Sul, Mato Grosso e Paraná também são grandes produtores de cana-de-açúcar. Na Figura 1 tem-se uma noção do espaço geográfico coberto pelo cultivo de cana-de-açúcar na região centro-sul do país, onde os pontos esverdeados representam as áreas cultivadas.

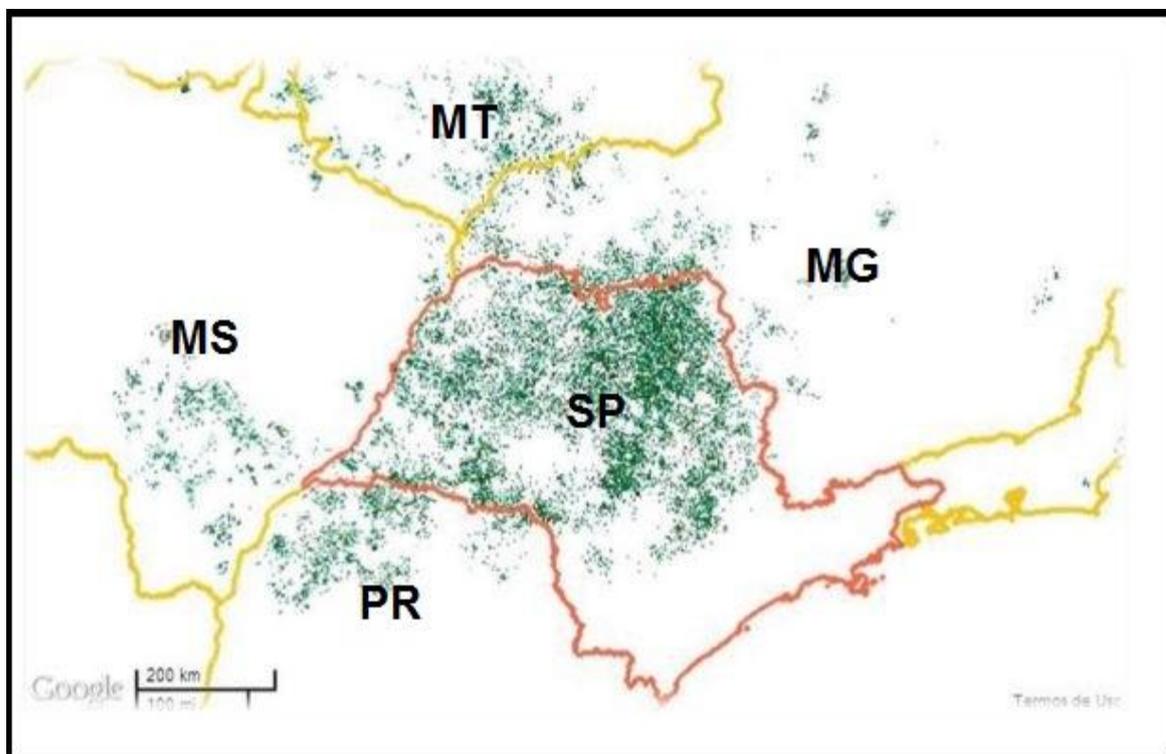


Figura 1: Cultivo de cana-de-açúcar na região centro sul do país.
Fonte: Adaptado de (SILVA, 2012).

Percebe-se que o plantio de cana-de-açúcar está presente nos Estados: Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Minas Gerais, São Paulo e Paraná, demonstrando assim a dimensão geográfica da área ocupada pelo cultivo de cana-de-açúcar na região centro-sul do país.

O Estado do Paraná ocupa a 5^a colocação no *ranking* nacional de área cultivada e produção de etanol e a 3^a colocação na produção de açúcar, ficando atrás dos Estados de São Paulo e Minas Gerais (SEAB-PR, 2015). Distribuídos entre 149 municípios do Estado do

Paraná divididos em nove regiões (ZAMPIERI, 2015) conforme aponta a Tabela 1.

Tabela 1: Percentual de estimativa da produção de cana, Paraná-2015.

Região	Participação (%)
Umuarama	28,8
Paranavaí	19,1
Maringá	17,9
Londrina	10,1
Jacarezinho	10,5
Ivaiporã	1,8
Cornélio Procópio	5,3
Campo Mourão	3,0
Apucarana	2,7
Total (9 regiões)	92,2
Total Paraná	100,0

Fonte: Adaptado Zampieri (2015).

Nota-se, na Tabela 1, que a região noroeste do Estado do Paraná composta pelas cidades de: Campo Mourão, Maringá, Paranavaí e Umuarama destacam-se na produção de cana-de-açúcar, respondendo por 66% da produção estadual.

2.2 ELETROFLOCULAÇÃO.

O processo conhecido como eletrofloculação engloba a geração de coagulantes que são formados através da aplicação de uma corrente elétrica em eletrodos geralmente formados por ferro ou alumínio. Desta forma, ocorre a dissolução dos metais, e íons metálicos são gerados no polo negativo conhecido como anodo e gás hidrogênio no polo positivo denominado cátodo (Cerqueira, 2009). Na Figura 2, tem-se um esquema das reações eletroquímicas que ocorrem quando uma voltagem é aplicada em eletrodos de alumínio submersos em um dado poluente.

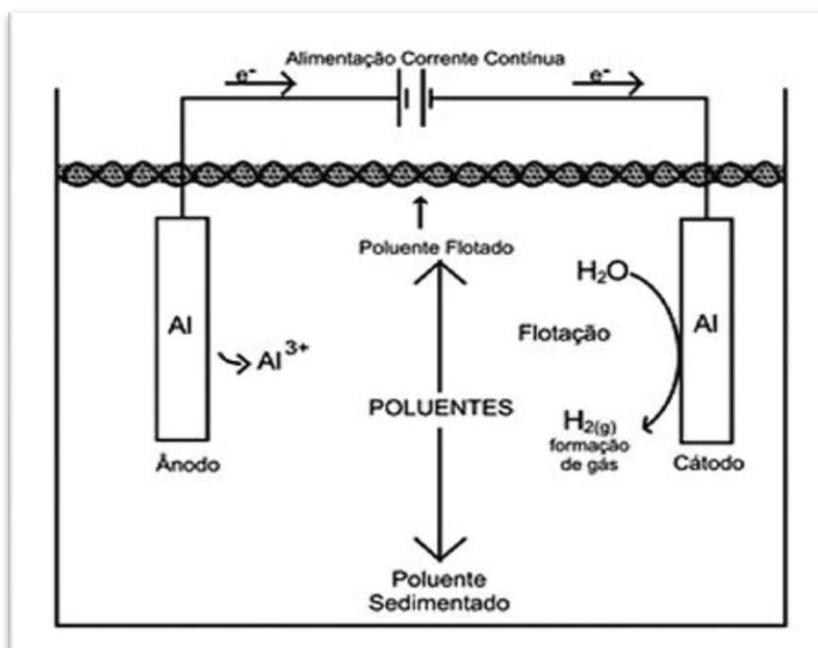


Figura 2: Reações eletroquímicas no processo eletrofloculação.

Fonte: Adaptado de Brito e Silva (2012).

A técnica de eletrofloculação é capaz de remover grande parte dos sólidos suspensos como: algas, bactérias, corantes, detergentes, óleos, gorduras graxas e metais pesados nos mais diversos tipos de efluentes, evidenciando a eficiência do processo (CARMONA *et al.*, 2006). Os coloides são responsáveis pelo agrupamento desde moléculas grandes à partículas pequenas que interagem dentro do sistema (CERQUEIRA, 2006).

Quando a energia que atrai duas partículas é maior do que a energia que as repelem ocorre então a interação entre estas partículas. Desta forma, caso ocorra um aumento da concentração iônica do meio, a energia referente à repulsão é superada fazendo com que as partículas coloidais entrem em contato e agreguem-se umas às outras causando o fenômeno de coagulação (Crespilho; Rezende, 2004).

Cerqueira (2009) define esta etapa do processo de coagulação como crescimento do tamanho da partícula, visto que, uma vez formada as partículas aumentam de tamanho. Crespilho; Rezende (2004), apontam que as bolhas de hidrogênio geradas no processo de eletrofloculação envolvem os coágulos ou flocos e “os carregam” para a superfície, onde podem ser removidos.

2.2.1 Reator eletrofloculação

As combinações dos eletrodos podem assumir diversas formas e combinações: monopolar, bipolar em série ou paralelo. Contudo, o modelo mais utilizado é o reator monopolar (MOLLAH *et al.*, 2001). Segundo Cerqueira (2006), o reator monopolar com eletrodos em paralelo são mais utilizados para o tratamento de efluentes industriais visto que, a corrente elétrica é dividida entre todos os eletrodos do arranjo, conforme apresentado na Figura 3.

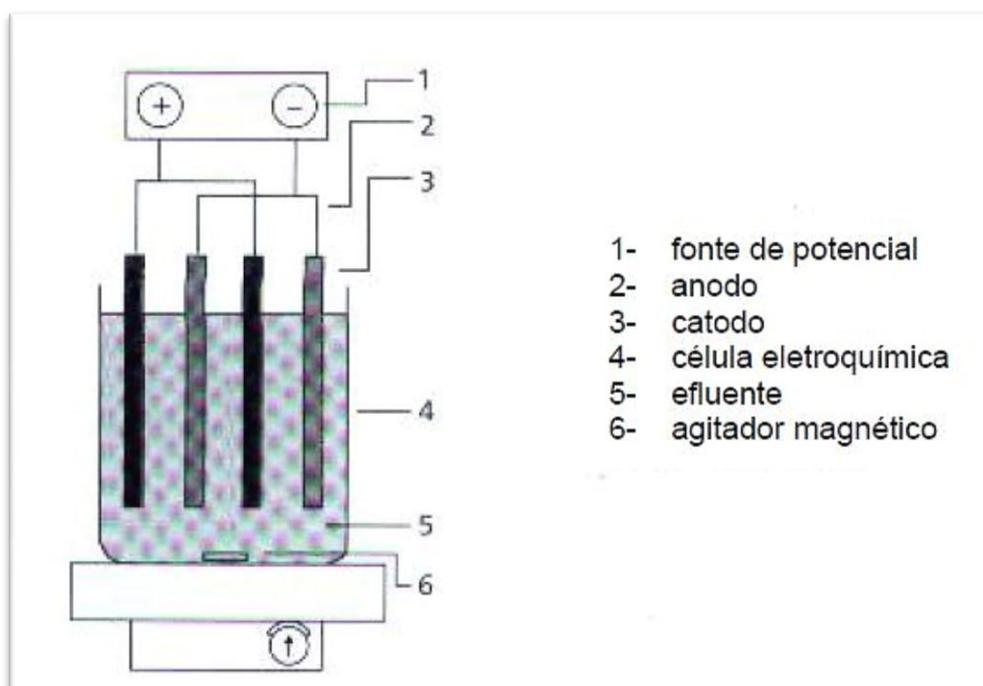


Figura 3: Reator monopolar com eletrodos em paralelo

Fonte: (Crespilho; Rezende,2004).

Basicamente um reator monopolar de eletrofloculação é composto por pelo menos dois eletrodos, um anodo e outro catodo, conectados a uma fonte de alimentação. O anodo, em razão da oxidação, sofre a corrosão, enquanto o catodo sofre as reações de redução. Inúmeros fatores influenciam o desempenho dos reatores de eletrofloculação, os principais parâmetros

são: potência do reator, condutividade, pH, distância dos eletrodos, passivação dos elétrons, inversão de polaridade, temperatura, entre outros (CERQUEIRA, 2006).

2.2.2 Vantagens e desvantagens da aplicação da técnica de eletrofloculação

O processo de tratamento de efluentes através da técnica de eletrofloculação vem ganhando destaque nos últimos anos em virtude da sua simplicidade de operação e aplicação nos mais diversos efluentes. No Brasil, muito tem-se estudado sobre as aplicações da técnica de eletrofloculação dentre elas pode-se citar: tratamento de efluentes de laticínio (Geraldino, 2014), tratamento de água de purificação do biodiesel (Ramalho, 2012), tratamento de efluentes de curtume (Fornari, 2007), tratamento de efluentes têxteis (Cerqueira, 2009; Fleck *et al.*, 2013), dentre outras. Mollah *et al.* (2001), demonstram em seus estudos que no processo de eletrofloculação existem vantagens e desvantagens e algumas delas são citadas abaixo.

Vantagens:

- O sistema de eletrofloculação é de simples e fácil operação e o efluente depois de tratado apresenta características límpida e inodora.
- Os flocos formados são mais estáveis e contem menos água quando comparado com o sistema de floculação tradicional.
- Remove partículas coloidais pequenas, mais rápido e facilita assim a coagulação das partículas.
- Evita utilização de produtos químicos.
- As bolhas de ar produzidas na eletrólise transportam os flocos para a superfície.
- Requer menos manutenção, visto que, as células de eletrofloculação não possuem partes móveis.
- A técnica de eletrofloculação pode ser implantada em áreas sem energia através de placas solares, pois são compactas e consomem pouca energia elétrica.

Desvantagens:

- Os eletrodos necessitam de limpeza e substituição periódica em virtude da oxidação.
- O consumo de energia elétrica pode ser um empecilho para o desempenho do sistema.
- A formação de película na superfície do eletrodo pode ocasionar redução na eficiência do sistema.
- O efluente necessita ter boa capacidade de condutividade elétrica.

2.3 PROCESSOS DE ELETROFLOCULAÇÃO APLICADOS AO TRATAMENTO DE VINHAÇA

Morales *et al.* (2007), classificam a vinhaça como resíduo líquido gerado através dos processos de destilação de etanol. Altamente nocivo ao meio ambiente, com coloração escura, denso, elevada carga orgânica, pH ácido, com índices de DQO entre 70000 e 120000 mg·L⁻¹ e DBO₅ com variação de 25000 e 45000 mg·L⁻¹

Para Yavuz (2006), a produção industrial de etanol gera grandes quantidades de vinhaça, sendo que este efluente possui elevada carga orgânica. Com valores de DQO variando entre 50000 e 100000 mg·L⁻¹ e DBO₅ ente 45000 e 65000 mg·L⁻¹. Yavuz (2006) abordou a viabilidade do processo de eletrofloculação aplicado a vinhaça produzida em uma destilaria de etanol. Variando parâmetros como intensidade da corrente elétrica, pH, distância entre os eletrodos, tempo e a adição de diferentes concentrações de H₂O₂ (peróxido de oxigênio) foi possível uma redução de 92,6% na DQO e de 88,7% no COT do efluente.

Marrianga *et al.* (2011), utilizaram no tratamento da vinhaça uma metodologia que avalia o desempenho do sistema através de quatro variáveis sendo elas: pH, densidade de corrente, concentração de H₂O₂ (Peróxido de hidrogênio) e metais dos eletrodos. O índice de remoção foi de 50% para sólidos totais, redução de 89% em turbidez e 61% na DBO₅. Os autores enfatizam que a utilização da técnica de eletrofloculação em efluentes como a vinhaça é uma alternativa eficiente na redução da DQO, DBO₅ sólidos totais e turbidez.

2.4 UTILIZAÇÃO DE BIOPOLÍMEROS NO AUXÍLIO DO TRATAMENTO DE EFLUENTE

O uso de biopolímeros vem crescendo nos últimos anos devido a sua origem natural e grande empregabilidade, nas indústrias têxtil, alimentícia, cosmético, porém é no tratamento de efluentes que os biopolímeros vêm ganhando destaque em virtude da abundância de matéria prima e fácil aplicação (CARVALHO, 2006).

Biopolímeros como a pectina, obtida através de cascas de limão, laranja, banana, maracujá (Souza, 2015), quitina encontrada nas cascas de crustáceos e nos casulos do bicho da seda (HENNIG, 2009), quitosana obtida através da quitina (HORN, 2008) e a semente de *M. oleifera* que possui capacidade floculante e coagulante vem sendo bastante empregados na clarificação de efluentes (POZZOBON E KEMPKA, 2015).

Vaz *et al.* (2010), avaliaram diversos agentes de coagulação/floculação (quitosana, sementes de *Moringa*, Tanfloc SG, Acquapol CL, cloreto férrico e sulfato de alumínio) em efluentes gerados nos processos de galvanoplastia.

Vaz *et al.* (2010) demonstraram que dos coagulantes testados com exceção do cloreto férrico todos os outros apresentaram-se eficazes na remoção de cor e turbidez com índices de redução superior a 90% , principalmente o biopolímero quitosana que obteve uma redução de 98 % nos índices de remoção de cor e turbidez, o biopolímero *Moringa* também mostrou-se promissora no tratamento de efluente de galvanoplastia onde apresentou uma remoção de 90 % no parâmetro cor e 92 % no parâmetro turbidez.

2.4.1 Características *M. oleifera*

A *M. oleifera* é uma espécie perene pertencente à família *Moringaceae*, nativa e amplamente distribuída em países tropicais como: Índia, Egito, Filipinas, Malásia, Jamaica e Nigéria (Bezzerra *et al.*,2004). A família *Moringaceae* contém apenas um único gênero (*Moringa*) e 13 espécies conhecidas dentre elas a *M. oleifera* (RANGEL, 1999).

O cultivo em larga escala de *M. oleifera* é limitado a certas regiões Asiáticas devido as suas características nutricionais. De maneira geral sua disseminação pode ser realizada através

de sementes, mudas ou estacas (STRÖHER et al.,2012). No plantio de Moringa as sementes não necessitam de nenhum tratamento prévio antes da germinação, podendo ser plantadas diretamente no solo ou replantadas após um período de aproximadamente 3 meses. No plantio em estacas a planta forma raízes em poucos meses, podendo atingir um crescimento de 3 a 4 metros por ano e gerar uma produção de aproximadamente 50 kg de sementes (RANGEL, 1999).

A *M. oleifera* é uma árvore que varia de 5 a 12 metros de altura, possui caule grosso e sua copa aberta em forma de guarda chuva. Suas folhas possuem coloração verde claro, cujo comprimento é de até 3 cm. As flores possuem coloração branca ou creme, são perfumadas e medem em torno de 2,5 cm. As vagens são marrons, levemente achatadas e variam entre 30 cm e 120 cm de comprimento e 2 cm de diâmetro, contendo cada vagem cerca de 20 sementes (RANGEL, 1999; PATERNIANI, 2012). Conforme apresentado na Figura 4.

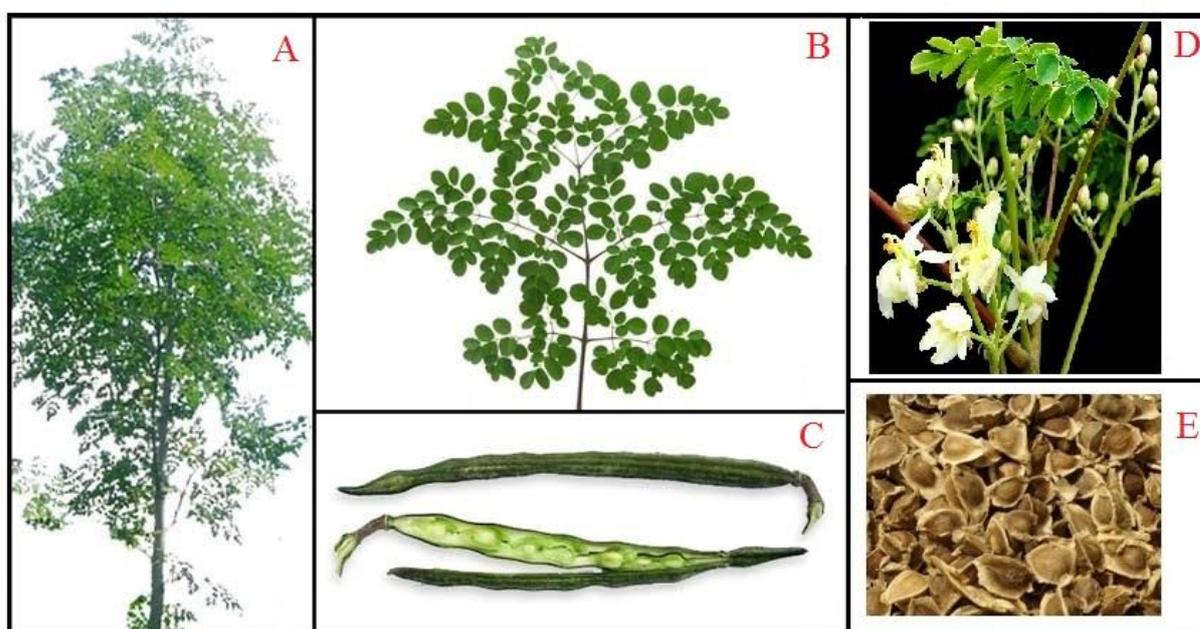


Figura 4: *M. oleifera*: (A) árvore, (B) folhas, (C) vagens, (D) flores e (E) sementes

Fonte: (Desenvolvido pelo autor).

2.4.2 Utilização da *Moringa oleifera* no tratamento de água

Paterniani *et al.*, (2009), em seus estudos avaliaram a remoção da turbidez e cor aparente com a relação entre diferentes tempos de sedimentação($t_{0 \text{ min}}$, $t_{10 \text{ min}}$, $t_{30 \text{ min}}$) e concentrações (75, 150 e 300 mg L⁻¹) de sementes de *M. oleifera* no tratamento de águas superficiais. No tratamento de água realizado por Paterniani *et al.* (2009), a redução de turbidez e cor aparentes apresentaram melhores resultados com a concentração de 150 mg L⁻¹ e tempo de 30 min, atingindo uma remoção de 80 % e 79% respectivamente.

Iwamura (2016), avaliou o tratamento de água utilizando a combinação de *M. oleifera*, sulfato de alumínio e o processo de eletrocoagulação na redução dos parâmetros físico-químicos: turbidez, cor aparente, condutividade e sólidos totais.

Em seu estudo o autor apresentou que o processo de eletrocoagulação associado à *M. oleifera* obteve os melhores resultados em relação aos outros processos na remoção de turbidez, cor aparente e condutividade elétrica. Demonstrando assim que a utilização de *M. oleifera* torna-se viável e eficiente no tratamento de água.

2.4.3 Utilização da *M. oleifera* no tratamento de efluentes

Ströher *et al.* (2012), analisaram em *Jar Test* o percentual de remoção de cor e turbidez em um efluente proveniente de processo de lavagem de jeans, no estudo os autores avaliaram diferentes concentrações de *M. oleifera* (1400 mg.L⁻¹, 1600 mg.L⁻¹, 1800 mg.L⁻¹, 2000 mg.L⁻¹, 2200 mg.L⁻¹, 2400 mg.L⁻¹, 2600 mg.L⁻¹) e a influência do tempo de mistura rápida (95 rpm em 2 e 5 minutos), lenta (35 rpm em 20 e 30 minutos) e tempo de sedimentação (20 e 30 minutos).

No estudo realizado por Ströher *et al.* (2012), chegou-se a conclusão que a melhor condição de operação para remoção de cor e turbidez foi de: 2 minutos de mistura rápida, 30 minutos de mistura lenta, 20 minutos de sedimentação com uma concentração de *M. oleifera* de 1400 mg.L⁻¹. Conforme exemplifica a Tabela 2.

Tabela 2: Parâmetro cor e turbidez antes e após o tratamento com *Moringa oleifera*.

Parâmetro	Efluente Bruto	Efluente Tratado	Percentual de remoção.
Cor. (Units Pt Co)	1017	200	80,33%
Turbidez (Fau)	449	40	91,10 %

Fonte: Adaptado de Ströher *et al.* (2012) .

Ströher *et al.* (2012), desenvolveram um estudo sobre o tratamento de vinhaça *in natura*, com a utilização de *M. oleifera* como coagulante natural na remoção de DQO, cor e turbidez. Nesse estudo os autores utilizaram três dosagens (150 mL/L⁻¹, 200 mL/L⁻¹ e 250 mL/L⁻¹) de uma solução preparada a partir das sementes de *M. oleifera* por volume de vinhaça. Os resultados obtidos são apresentados através da Tabela 3.

Tabela 3: Remoção DQO, cor e turbidez com diferentes concentrações de *Moringa oleifera*.

Quantidade de coagulante mL/L ⁻¹	Remoção DQO	Remoção Cor	Remoção Turbidez
150	14%	24%	37%
200	21%	49%	61%
250	28%	78%	90%

Fonte: Ströher *et al.* (2012).

Santos *et al.* (2009) apresentaram em seus estudos que as sementes de *M. oleifera* contém compostos bioativos com ação coagulante, esse efeito está relacionado aos diferentes tipos de proteínas presentes nas sementes. Sendo assim a utilização de *M. oleifera* vem se mostrando eficiente na remoção de cor e turbidez no tratamento de água e determinados efluentes.

3 METODOLOGIA

Nesta sessão serão apresentados os materiais e metodologias experimentais que foram utilizados neste trabalho. A Figura 5 apresenta as etapas do processo de eletrofloculação seguida pela aplicação da utilização dos biopolímeros obtidos através das sementes de *M. oleifera*, para facilitar a compreensão da sequência dos processos estudados.

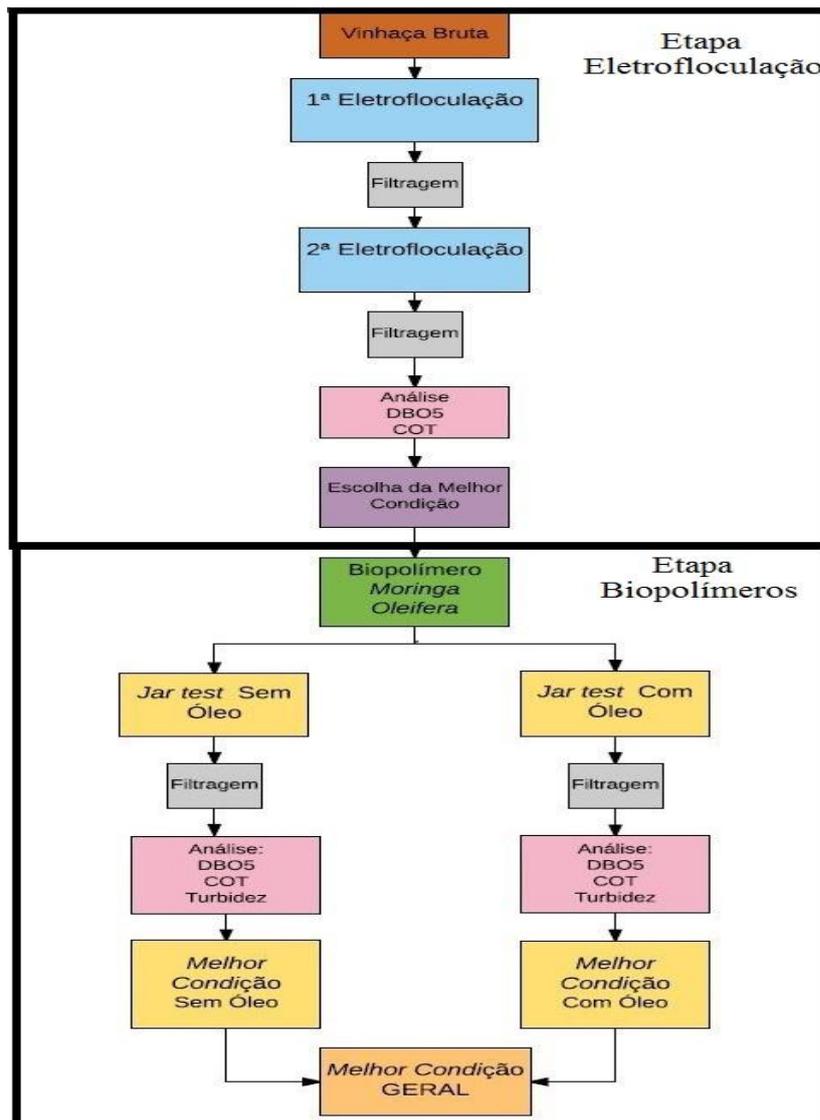


Figura 5: Organograma geral utilizado para o desenvolvimento do trabalho experimental

Neste trabalho o efluente estudado foi coletado no ponto de saída de uma lagoa de tratamento de vinhaça em uma unidade de produção sucroalcooleira, localizada na cidade de

Maringá – PR. Todo o efluente líquido gerado durante o processo de produção de etanol e açúcar nesta unidade é bombeado para uma lagoa de tratamento que fica a aproximadamente 2 km de distância da destilaria, onde permanece até que seja realizada a fertirrigação da lavoura (Figura 6).

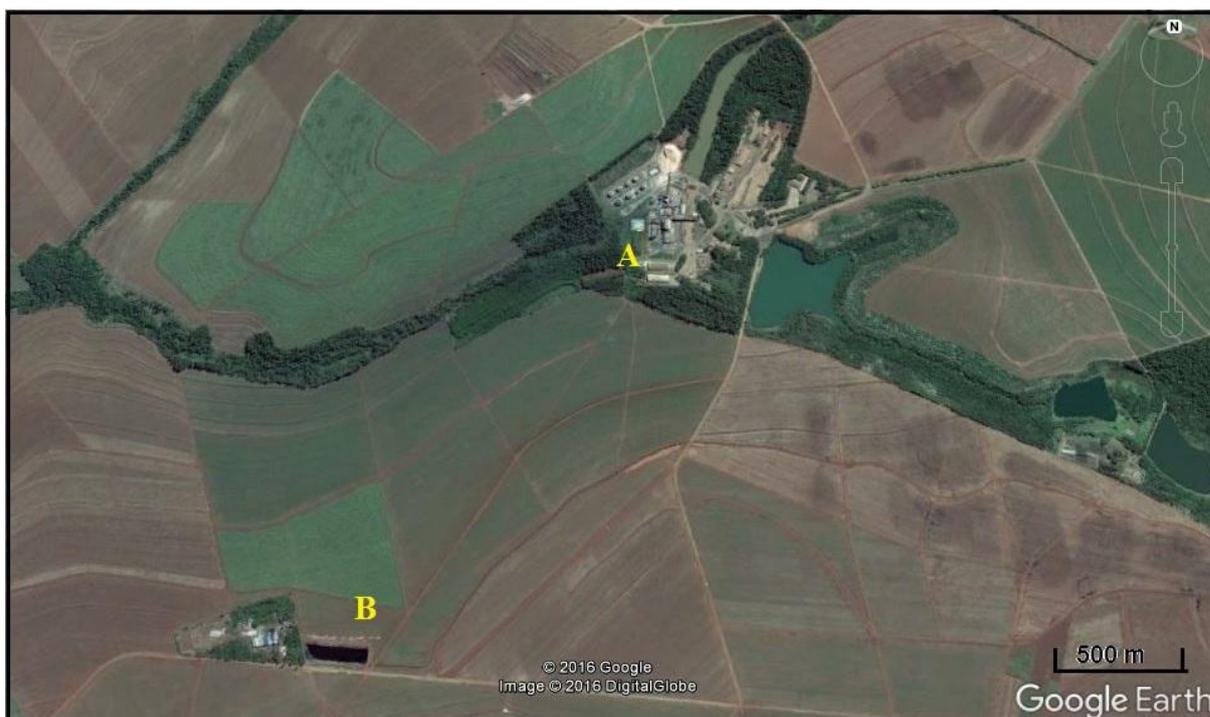


Figura 6: Ponto de geração e coleta da amostra (A) Destilaria, (B) Lagoa de armazenamento de vinhaça.

Fonte: Google Earth, (2016).

O efluente de vinhaça *in natura* foi coletado em quatro recipientes de polietileno com capacidade de 20 litros cada. O efluente coletado foi conservado em geladeira a uma temperatura de aproximadamente 10°C para não afetar as características físico-químicas e biológicas do mesmo.

3.1 REATOR EXPERIMENTAL DE ELETROFLOCULAÇÃO

A eletrofloculação foi realizada em ensaios de batelada no laboratório de Engenharia Ambiental e Sanitária da Unicesumar. O reator utilizado foi um béquer de vidro com capacidade máxima de 1l, no qual foi inserido o sistema de eletrodos. O conjunto de eletrodos foi construído com seis placas de alumínio cada uma medindo 10 cm de altura, 7 cm de

largura e 0,3 cm de espessura, agrupadas paralelamente com uma distancia de 0,5 cm entre si e presas por um parafuso passante medindo 8 cm de comprimento e 0,4 cm de diâmetro com arruelas de borracha medindo 0,5 cm de espessura com a função de isolar as placas. Conforme apresentado na Figura 7.

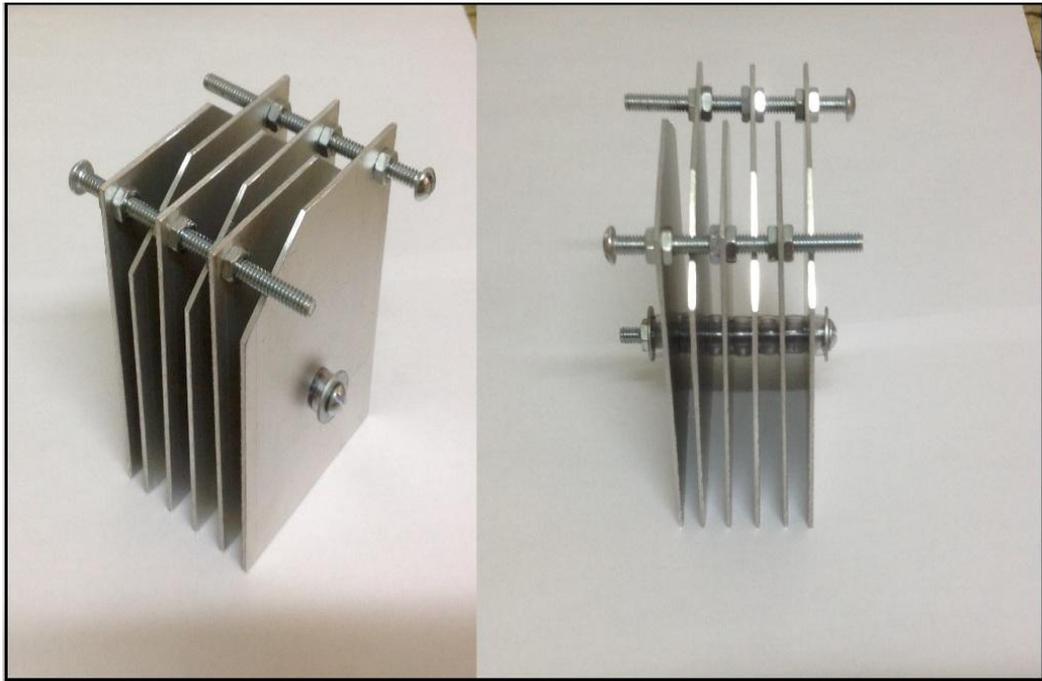


Figura 7: Eletrodo experimental em alumínio
Fonte: (Desenvolvido pelo autor).

A Figura 8 apresenta a fonte utilizada no experimento, modelo PHYWE *Power Supply Universal* com variação de voltagem (0 e 15 V) e amperagem (0 e 6A).



Figura 8: Fonte utilizada no experimento
Fonte: (Desenvolvido pelo autor).

3.2 PLANEJAMENTO EXPERIMENTAL

Com o intuito de otimizar o número de ensaios foi realizado um planejamento fatorial que tem a finalidade de obter as melhores condições operacionais do sistema (BRASIL *et al.*, 2007). Button (2016), afirma que a metodologia de planejamento experimental torna-se essencial no aprimoramento e desenvolvimento de processos, pois reduz o tempo de pesquisa, os custos envolvidos no processo e a variabilidade dos resultados. Na Tabela 4 tem-se a matriz do planejamento fatorial do tipo 3^2 com os três níveis e dois fatores.

Tabela 4: Matriz de Planejamento Fatorial 3^2 .

Ensaio	Intensidade da Corrente Elétrica (Ampère, A)	Tempo de reação (min)
1	1	30
2	1	60
3	1	90
4	3	30
5	3	60
6	3	90
7	5	30
8	5	60

Os fatores envolvidos no processo foram: intensidade de corrente elétrica (níveis 1, 3 e 5A) e o tempo de reação (30, 60 e 90 minutos).

3.2.1 Ensaios de Eletrofloculação

Os ensaios de eletrofloculação foram realizados com a vinhaça *in natura*, primeiramente as amostras foram separadas em 9 béqueres com 800 mL cada, em seguida foram realizados os ensaios seguindo as condições preestabelecidas no planejamento fatorial 3^2 . Na realização de cada ensaio foi mantida a temperatura ambiente e agitação constante com o auxílio de um agitador magnético.

Após a realização de cada experimento as amostras foram filtradas em papel qualitativo e a polaridade do sistema invertida a fim de evitar o desgaste excessivo das placas e a formação de filmes de passivação que pudessem influenciar o desempenho do sistema.

Após um período de 24 horas repetia-se o processo de eletrofloculação e filtragem com a intenção de aumentar a eficiência desta etapa. Em seguida as amostras eram armazenadas em geladeira até que fossem encaminhadas para análise.

3.3 ESCOLHA DA MELHOR CONDIÇÃO PARA UTILIZAÇÃO DOS BIOPOLÍMEROS.

As amostras foram encaminhadas para o laboratório QMC Laboratório de análises onde foram analisadas as concentrações de carbono orgânico total (COT) seguindo a metodologia (Strickland and Parsons, 1972) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO⁵) através da metodologia (Standard Method 5210 B) de cada amostra após o tratamento e comparadas com a vinhaça *in natura*. Com os dados obtidos construiu-se as superfícies de respostas para os parâmetros Amperagem e tempo de reação com o auxílio do programa

Statistica^R 6.0. Desta forma escolheu-se a melhor condição de operação do sistema de eletrofloculação para então iniciar a etapa de utilização dos biopolímeros da *M. oleifera*.

3.3.1 Preparação do coagulante

As sementes de *M. oleifera* foram obtidas em uma propriedade rural localizada no Município de Mandaguaçu - PR. Foi avaliada a eficiência de coagulação da *M. oleifera* com e sem óleo como tratamento secundário ao processo de eletrofloculação do efluente de vinhaça.

Para o preparo do coagulante em pó as sementes foram descascadas e secas em estufa (De Leo 665) durante 6 horas à 65°C. Concluída a secagem as sementes foram colocadas em um dessecador a vácuo (LABORCHEMIKER PHX-300) por um período de duas horas. Finalizada essa etapa as sementes foram trituradas em um moinho de facas (Modelo SP-31 – SPLABOR) até formar um pó fino onde foi utilizado um conjunto de peneiras para obtenção de grânulos com diâmetro inferior a 0,5mm.

Na Figura 9, tem-se da esquerda para direita as sementes de *M. oleifera* com cascas, descascadas e moídas.

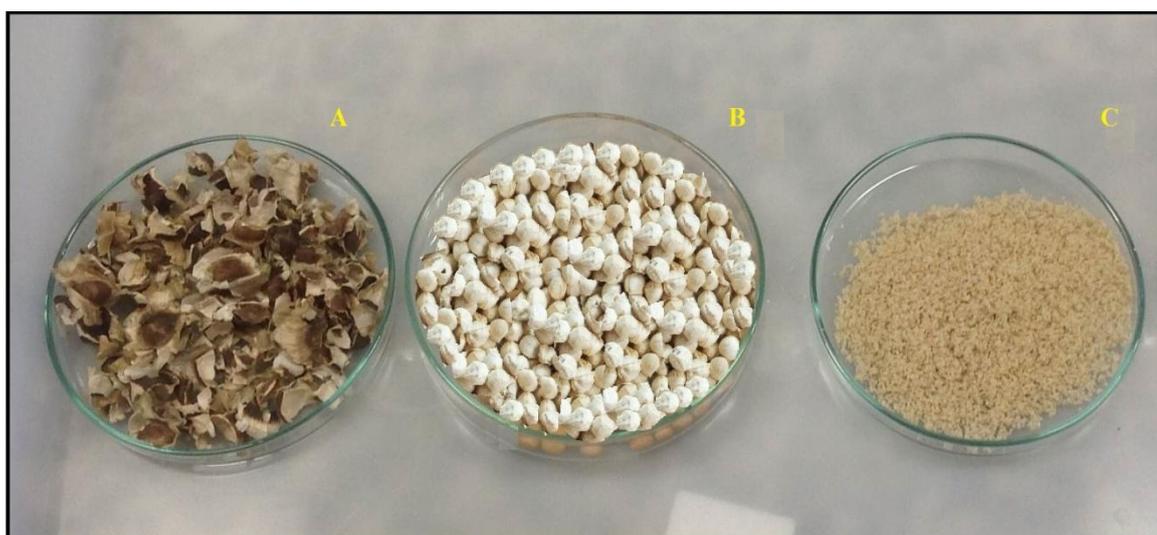


Figura 9: Sementes de *Moringa oleifera* (A) com cascas, (B) descascadas e (C) moídas.

Fonte: (Desenvolvido pelo autor).

Para o estudo foi estabelecido que seriam analisados os efeitos coagulantes do pó das sementes de *M. oleifera in natura* sob as concentrações ($0,5 \text{ g.L}^{-1}$, 1 g.L^{-1} , 2 g.L^{-1} , 4 g.L^{-1} , 8 g.L^{-1}). E, também, os efeitos coagulantes do pó das sementes após a extração do óleo presente nas mesmas, respeitando as mesmas concentrações ($0,5 \text{ g.L}^{-1}$, 1 g.L^{-1} , 2 g.L^{-1} , 4 g.L^{-1} , 8 g.L^{-1}).

3.3.2 Processo de extração do óleo

A Figura 10 apresenta o equipamento utilizado na extração do óleo presente nas sementes de *M. oleifera*. A técnica utilizada foi a extração por *Soxhlet* que é comumente empregada na determinação de óleos, graxas e gorduras.

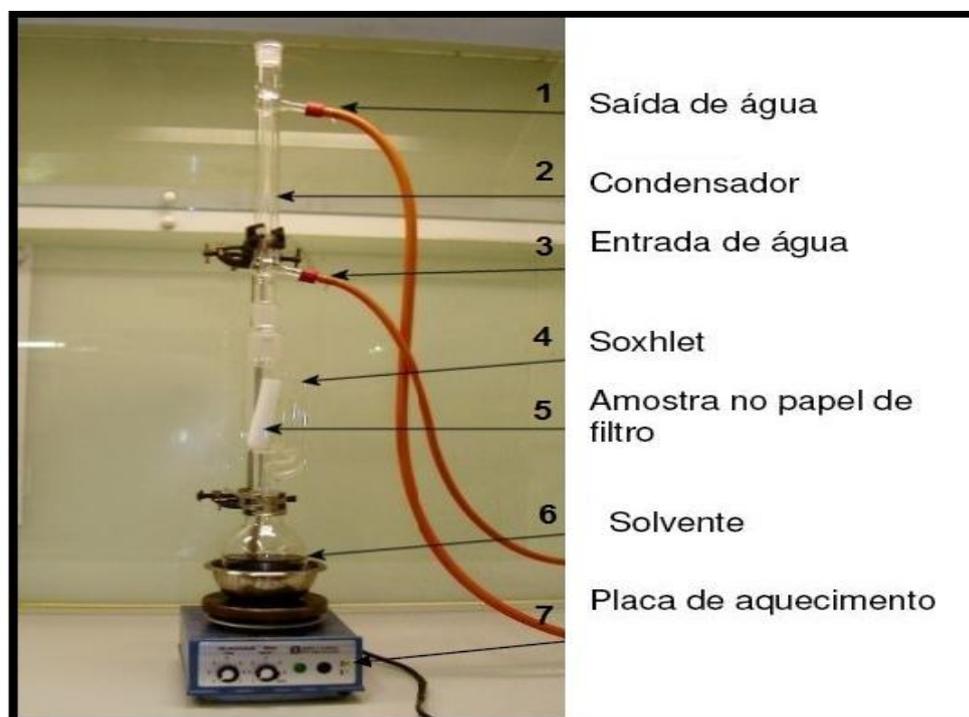


Figura 10: Extração por *Soxhlet*
Fonte: (Desenvolvido pelo autor).

Primeiramente colocou-se um cartucho de papel filtro no extrator, preencheu-o com a semente de *Moringa* moída. No balão de destilação adicionou-se 250 mL de hexano, montou-se o sistema e o manteve em temperatura constante durante seis horas. Em seguida retirou do equipamento o cartucho contendo o pó da semente de *Moringa* e levou para a estufa (De Leo 665) durante um período de 6 horas à 65°C. No final desta etapa obteve-se o pó da *Moringa* sem o óleo.

3.4 ENSAIOS DE COAGULAÇÃO

Após o preparo do pó da *Moringa* e a separação das amostras (com e sem óleo), ocorreram os ensaios de coagulação, utilizando o equipamento *Jar Test* modelo (QUIMIS Q305F). Apresentado na Figura 11.

Para os ensaios utilizou-se 10 béquers contendo cada um 900 mL de efluente, foram adicionadas as quantidades preestabelecidas do coagulante *M. oleifera*.

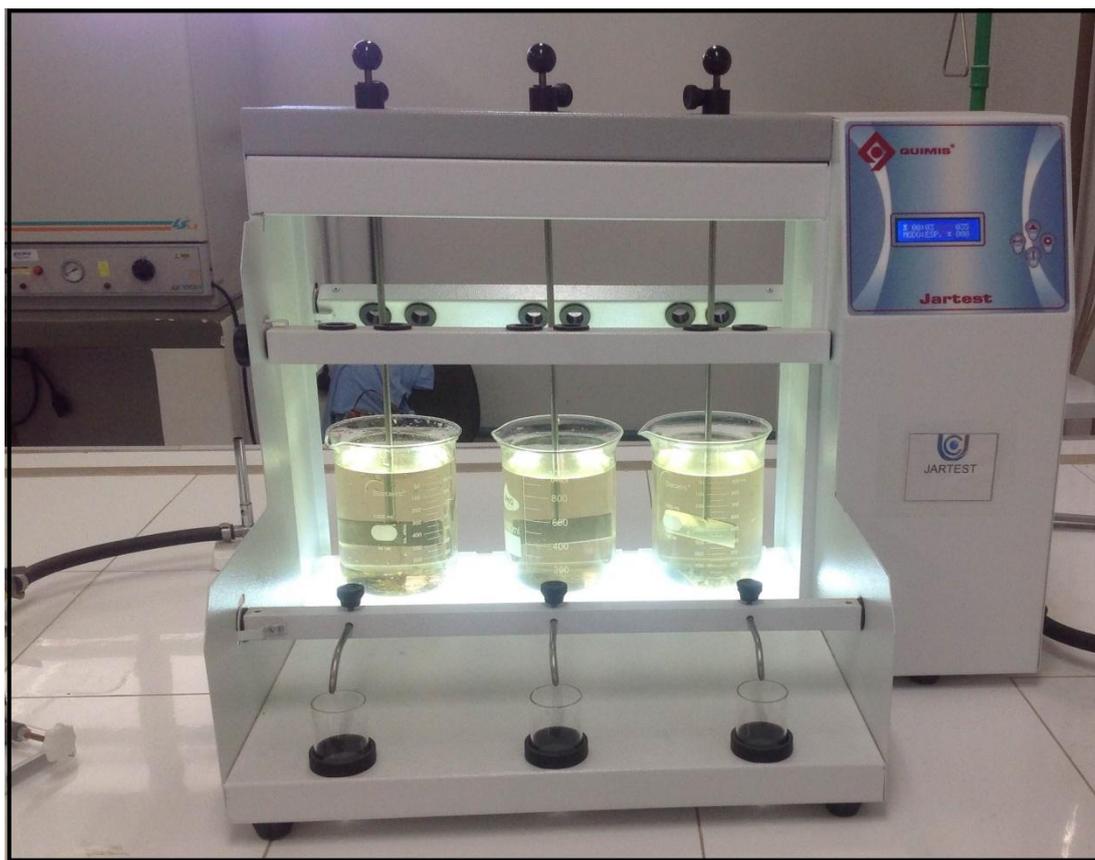


Figura 11: *Jar Test*

Fonte: (Desenvolvido pelo autor).

A velocidade utilizada no *Jar Test* tanto para mistura rápida quanto para mistura lenta foram fixados em respectivamente: 95 rpm e 35 rpm. Em relação aos valores do tempo de mistura rápida, mistura lenta e de sedimentação foram baseados no estudo desenvolvido por Ströher *et al.* (2012), onde padronizaram os tempos de mistura rápida, mistura lenta e sedimentação em 3, 30 e 20 minutos

Ao final de cada ensaio as amostras foram filtradas em papel qualitativo a fim de retirar o material coagulado e em seguida armazenadas em geladeira. Quando finalizou-se os experimentos com as dez amostras as mesmas foram encaminhadas para os laboratórios QMS Laboratório de análises para realização das análises de carbono orgânico total (COT), demanda bioquímica de oxigênio (DBO⁵) e turbidez a fim de avaliar a eficiência do tratamento com a utilização de *M. oleifera*.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nesta etapa serão apresentados e discutidos os resultados obtidos, seguindo a metodologia proposta neste trabalho. Primeiramente, serão apresentados os resultados referentes às características do processo de eletrofloculação. Em seguida, serão apresentados e discutidos os resultados relativos à utilização das sementes de *M. oleifera*. Por fim será discutida a eficiência global do processo.

4.1 REDUÇÃO DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL (COT) NO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO

Foram avaliados os fatores intensidade de corrente elétrica (níveis 1, 3 e 5A) e o tempo de eletrofloculação (30, 60 e 90 min) na redução do COT e da DBO₅. Na Tabela 5 tem-se a matriz planejamento do planejamento fatorial 3² e os resultados obtidos relativos à redução do COT obtido da vinhaça *in natura*.

Tabela 5: Matriz do planejamento fatorial 3² e os percentuais de redução do COT obtidos da vinhaça *in natura*.

Análises	Fatores		Respostas
	Tempo (min)	Amperes (A)	Red COT %
01	30	1	58,82
02	30	3	61,76
03	30	5	65,69
04	60	1	62,75
05	60	3	64,71
06	60	5	59,80
07	90	1	71,57
08	90	3	70,60
09	90	5	69,61

Foram realizadas análises estatísticas para avaliar as influências variáveis independentes tempo de eletrofloculação (Min) e intensidade de corrente elétrica (A) na redução do COT%. Admitiu-se um nível de significância de 5%, sendo significativos os fatores e suas interações cuja o p-valor < 0,05. Na Tabela 6 tem-se os dados da análise de variância (ANOVA). Ficou evidente, com base no p-valor, que o tempo de eletrofloculação é o parâmetro mais significativo para a redução do COT% da vinhaça. Já a amperagem aplicada foi significância somente quando associada ao tempo de eletrofloculação.

Tabela 6: Resultados da ANOVA referentes às análises de Redução COT%. Os termos **t** e **A** referem-se aos fatores tempo de eletrofloculação e amperagem no eletrodo imerso na vinhaça *in natura*.

Parâmetros	SQ	GL	MQ	Valor de F	Valor de P
T	108,3445	1	108,3445	122,8396	0,0015
t²	30,7295	1	30,7295	34,8407	0,0097
t x A	19,4970	1	19,4970	22,1055	0,0182
t² x A	9,7068	1	9,7068	11,0054	0,0451
t² x A²	6,0154	1	6,0154	6,8202	0,0795
Erro puro	2,6460	3	0,8820		
Totais	176,9394	8			

O ajuste da superfície aos dados experimentais foi enfatizado pelos valores dos coeficientes de determinação R^2 e determinação ajustada R^2_{adj} cujos valores foram de 0,9850 e 0,9601 respectivamente. Na Figura 12 observou-se uma redução significativa no COT% da vinhaça nos maiores tempos de eletrofloculação. Reduções do COT próximos à 70% foram alcançadas nas eletrofloculações de 90min.

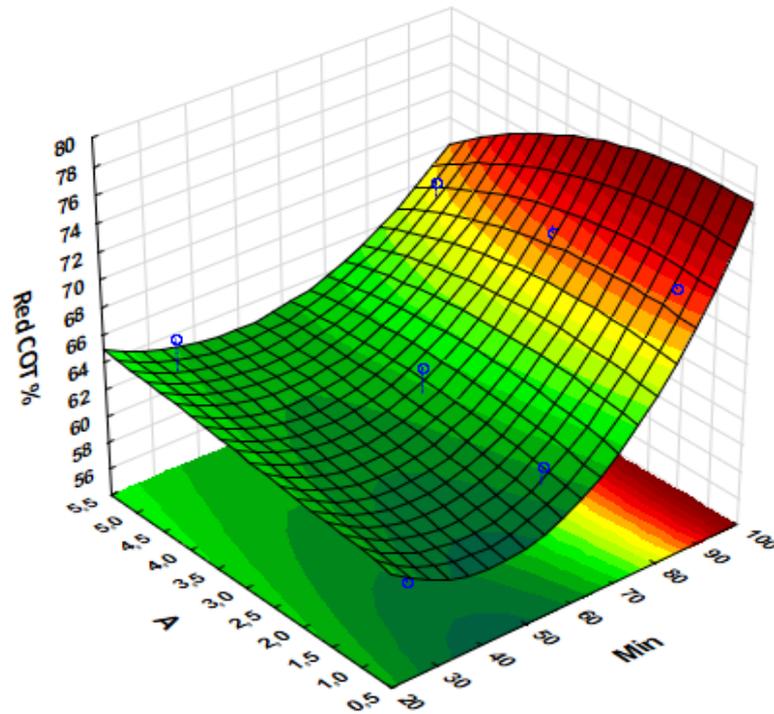


Figura 12: Superfície de resposta referente à variação da Red COT % em função da intensidade de corrente elétrica (A) e do tempo de eletrofloculação (min).

A Equação 01 refere-se o modelo matemático gerado a partir do planejamento fatorial 3^2 sendo este capaz de estimar (com $R^2_{adj} = 96,01\%$) a redução do COT% para a vinhaça.

$$Red\ COT\% = 69,6 - 0,4901t + 0,0056t^2 + 0,0363tA - 0,00029t^2A - 0,000037t^2A^2 \quad (01)$$

Pode-se observar a partir da Tabela 6 e Figura 12 no Ensaio 07 (1A e 90 min) a maior eficiência na redução de COT atingindo 71,57%. Na Tabela 7 comparativos da redução COT% da vinhaça deste estudo e de estudos desenvolvidos pelos autores DAVILA *et al.* (2011), YAVUZ (2006) e CADORNA *et al.* (2013).

Tabela 7: Comparativo sobre a redução do COT% da vinhaça através da técnica de eletrofloculação desenvolvidas por diferentes pesquisadores.

Autores	Tratamento	Distância entre eletrodos (mm)	Redução COT (%)
Presente Trabalho (1 A. e 90 Minutos)	Vinhaça	5 mm	71,9%
Davila <i>et al.</i> (2011)	Vinhaça	10 mm	25%
Yavuz (2006)	Vinhaça	3mm	88,7%
Cadorna <i>et al.</i> (2013)	Vinhaça	3mm	88%

Na Tabela 7 os resultados de Yavuz (2006) e Cadorna *et al.* (2013) foram próximos dos apresentados neste trabalho. Porém, o resultado de Davila *et al.* (2011) encontrou-se distante dos demais e esta discrepância de valor teve relação com a distância dos eletrodos empregado durante a eletrofloculação. De acordo com Crespilho e Rezende (2004) em seus estudos, a distância entre os eletrodos influencia no desempenho do sistema, quanto maior a distância entre os eletrodos maior a carga necessária para eficiência do processo.

4.2 REDUÇÃO DBO₅ NO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO

Na Tabela 8 tem-se os dados referentes à redução da DBO₅, através dos ensaios realizados a partir do planejamento fatorial 3².

Tabela 8: Matriz do planejamento fatorial 3^2 e os percentuais de redução DBO_5 obtidos a partir da vinhaça *in natura*.

Análises	Fatores		Respostas
	Tempo (min)	Amperes (A)	Red $DBO_5\%$
01	30	1	30,30
02	30	3	27,38
03	30	5	30,92
04	60	1	30,93
05	60	3	24,48
06	60	5	28,20
07	90	1	35,40
08	90	3	27,76
09	90	5	36,69

Foram realizadas as análises estatísticas relativos aos valores da redução da DBO_5 com um nível de significância de 5%, sendo significativos os fatores e as interações cuja o p-valor $< 0,05$. Os dados da análise de variância (ANOVA) foram expressos na Tabela 9.

Tabela 9: Resultados da ANOVA relativos às análises de Red $DBO_5\%$. Os termos **t** e **A** referem-se aos fatores tempo de eletrofloculação e amperagem no eletrodo imerso na vinhaça *in natura*

Parâmetros	SQ	GL	MQ	Valor de F	Valor de P
T	21,0678	1	21,0678	147,9864	0,0012
t²	24,9970	1	24,9970	175,5858	0,0009
A²	61,1621	1	61,1621	429,6196	0,0002
t x A²	8,5241	1	8,5241	59,8760	0,0044
t² x A	4,5427	1	4,5427	31,9095	0,0109
Erro puro	0,4270	3	0,1423		
Totais	120,7210	8			

O ajuste da superfície aos dados experimentais foi enfatizado por meio dos valores dos coeficientes de determinação R^2 e determinação ajustada R^2_{adj} cuja os valores foram de 0,9964 e 0,9905 respectivamente. Verificou-se por base p-valor que os parâmetros **t**, **t²** e **A²** foram os termos mais significativos para a redução da DBO_5 . Na Figura 13 as maiores reduções da DBO_5 ocorreram com eletrofloculação de 90 min e nas amperagens de 1A e 5A.

Neste caso, os ensaios 07 e 09 apresentaram os melhores resultados com 35,3 % e 36,6 % de remoção de DBO₅ respectivamente.

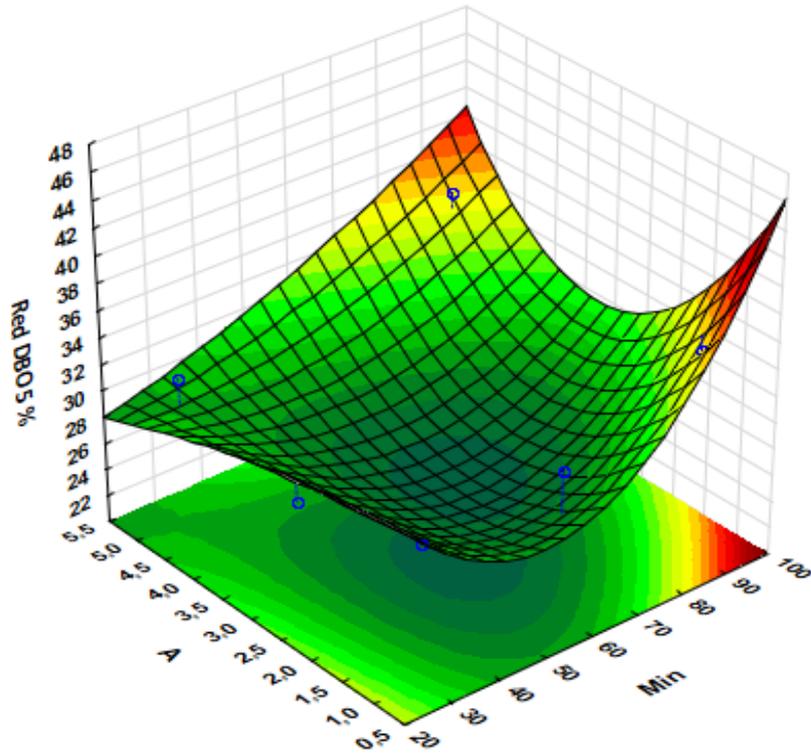


Figura 13: Superfície de resposta referente à variação da Red DBO₅ em função da intensidade de corrente elétrica (A) e do tempo de eletrofloculação (Min).

Considerou-se o Ensaio 07 o mais eficiente visto que este envolve um menor consumo energético uma vez que operou com uma amperagem menor do que o Ensaio 09.

A Equação 02 refere-se o modelo matemático gerado a partir do planejamento fatorial 3² sendo este capaz de estimar (com R²_{adj} = 99,05%) a redução do DBO₅ % para a vinhaça.

$$Red\ DBO5\% = 45,64 - 0,7021t + 0,0076t^2 - 0,632A^2 + 0,02519tA^2 - 0,001240t^2A \quad (02)$$

Na Tabela 10 tem-se os resultados dos percentuais de redução da DBO₅ deste estudo e os relatados por Paz-Pino *et al.* (2014) e Guerreiro *et al.* (2016) para o tratamento de vinhaça via eletrofloculação.

Tabela 10: Comparativo relativo à redução da DBO₅ da vinhaça pela técnica de eletrofloculação.

Autores	Tratamento	Redução DBO₅ (%)
Presente Trabalho (1 A. e 90 Minutos)	Vinhaça	35
Paz-Pino <i>et al.</i> (2014)	Vinhaça	16
Guerreiro <i>et al.</i> (2016)	Vinhaça	27,9

Os valores de redução de DBO₅% não foram muito expressivos, contudo como afirmam Paz-Pino *et al.* (2014) e Guerreiro *et al.* (2016), o tratamento por eletrofloculação quando combinado com outras formas de tratamento tendem a aumentar significativamente a eficiência de remoção. Paz-Pino *et al.* (2014) descrevem que o efluente de vinhaça após a etapa de eletrofloculação, se submetido a um processo de digestão anaeróbica a aumentar significativamente a redução de DBO₅. Verificaram que a redução de 16 % (tratamento de eletrofloculação) passou para 83 % com a digestão anaeróbica. Guerreiro *et al.* (2016) também apontam que o tratamento de eletrofloculação por si só não alcança grandes resultados na redução da DBO₅, contudo, quando a eletrofloculação foi combinada com a técnica de oxidação *Fenton* ocorreu uma elevação na redução da DBO₅ de 16 % para 45,7%.

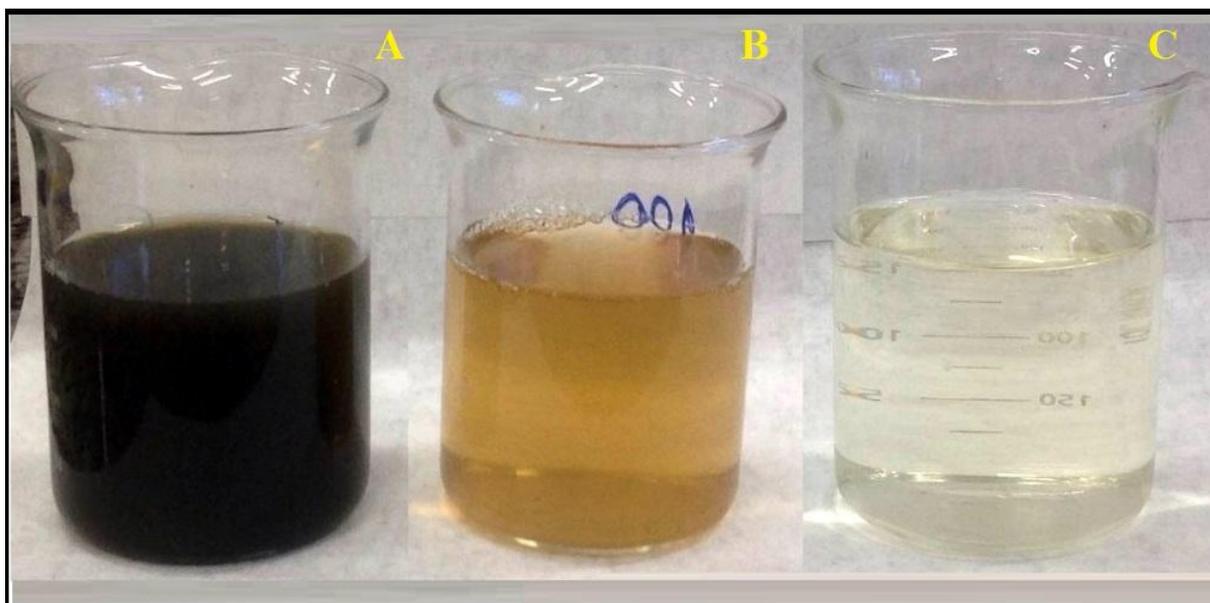
4.3 REDUÇÃO DA TURBIDEZ NO PROCESSO DE ELETROFLOCULAÇÃO

Após a escolha da melhor condição de operação do sistema de eletrofloculação (1 A. e 90 Min.), foi analisado a eficiência da redução de turbidez. A tabela 11 demonstra esses valores, juntamente com os resultados relatados pelos autores Paz-Pino *et al.* (2014); Davila *et al.* (2016); Zayas *et al.* (2007).

Tabela 11: Comparativo sobre a redução da turbidez da vinhaça através da técnica de eletrofloculação.

Autores	Tratamento	Redução Turbidez (%)
Presente Trabalho (1 A. e 90 Minutos)	Vinhaça	92,6
Paz-Pino <i>et al</i> (2014)	Vinhaça	99
Davila <i>et al.</i> (2016)	Vinhaça	89
Zayas <i>et al.</i> (2007)	Vinhaça	100

Verifica-se na Tabela 11 que os valores de redução de turbidez encontram-se todos acima de 89% de redução, isso indica que o processo de eletrofloculação da vinhaça é extremamente eficiente em relação ao parâmetro turbidez. A Figura 14 apresenta um comparativo visual entre a vinhaça *in natura* e a submetida a melhor condição de operação do sistema de eletrofloculação (90 min. e 1 A). Onde apresentou uma redução de turbidez de 92,6%.

**Figura 14:** Comparativo: (A) vinhaça *in natura*, (B) primeira etapa eletrofloculação e (C) Segunda etapa eletrofloculação.

A Tabela 12 indica o percentual de redução de DBO₅, COT e turbidez através da técnica de eletrofloculação. Comparando a vinhaça *in natura* e a melhor condição de operação (90 min. e 1 A) determinadas com base nas superfícies de respostas.

Tabela 12: Eficiência de redução de DBO₅, COT e turbidez entre a vinhaça *in natura* e a melhor condição determinada no processo (90 min. e 1 A).

Parâmetro Avaliado	Vinhaça <i>in natura</i>	Melhor Condição (90 min. e 1 A)	Redução %
DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	6.428 mg.L ⁻¹	4.187 mg.L ⁻¹	35%
COT (mg.L ⁻¹)	248,78 mg.L ⁻¹	70,73 mg.L ⁻¹	72%
Turbidez (NTU)	35,6 NTU	2,63NTU	92,6%

Como se pode observar na Tabela 12, na etapa de eletrofloculação com a escolha da melhor condição de operação do sistema (90 min. e 1 A) a redução de DBO₅, COT e turbidez alcançaram respectivamente 35%, 72% e 92,6%.

Sendo assim foram padronizadas as variáveis da eletrofloculação para dar início a segunda etapa do trabalho, a utilização dos biopolímeros obtidos através das sementes de *M. oleifera* como coagulante natural do efluente de vinhaça.

A Figura 15 ilustra o pó das sementes de *M. oleifera* (com e sem óleo) utilizado nos ensaios de coagulação do efluente de vinhaça, a figura também traz a título de informação o óleo extraído das sementes pelo método de *Soxhlet*.

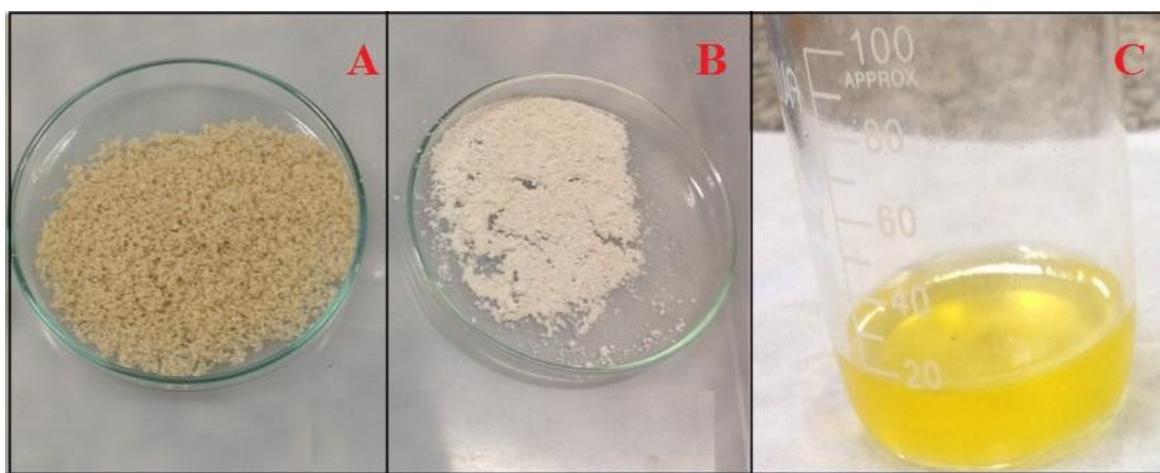


Figura 15: Pó das sementes de *Moringa oleifera*: (A) com óleo, (B) sem óleo e (C) óleo extraído por *Soxhlet*

Na Figura 15 nota-se que a coloração do pó das sementes de *M. oleifera* são bem distintas, o pó das sementes com óleo tem uma tonalidade amarelada, enquanto o pó das sementes sem óleo possuem uma tonalidade esbranquiçada, devido ao fato de que a coloração amarelada está ligada ao alto teor de óleo presente nas sementes de *Moringa*.

Almeida (2012), em seu estudo sobre a extração de óleo de sementes de *M. oleifera* aponta que através do processo de extração por *Soxhlet* é possível extrair até 47% de óleo das sementes.

4.4 ANÁLISE DO CARBONO ORGÂNICO TOTAL - COT COM A ADIÇÃO DE *MORINGA OLEIFERA*

A Tabela 13 apresenta a quantidade de COT presente na vinhaça *in natura*, na vinhaça submetida a melhor condição de eletrofloculação (90 min e 1 A) e na vinhaça após receber as diferentes concentrações de *M. oleifera* com e sem óleo.

Tabela 13: Comparativo da concentração do COT com o pó da *Moringa* com óleo e o pó da *Moringa* sem óleo

AMOSTRA	Concentração COT (mg.L ⁻¹)	
Vinhaça <i>in natura</i>	248,78	
Tratamento E.F (90 min e 1 A)	74,73	
Adição de:	COM ÓLEO (mg.L ⁻¹)	SEM ÓLEO (mg.L ⁻¹)
0,5 g.L ⁻¹	112,2	153,66
1 g.L ⁻¹	129,3	170,73
2 g.L ⁻¹	187,8	229,30
4 g.L ⁻¹	229,3	278,80
8 mg.L ⁻¹	278,1	580,48

A Figura 16 exemplifica melhor a concentração do carbono orgânico total com a adição de diferentes concentrações de *M. oleifera*.

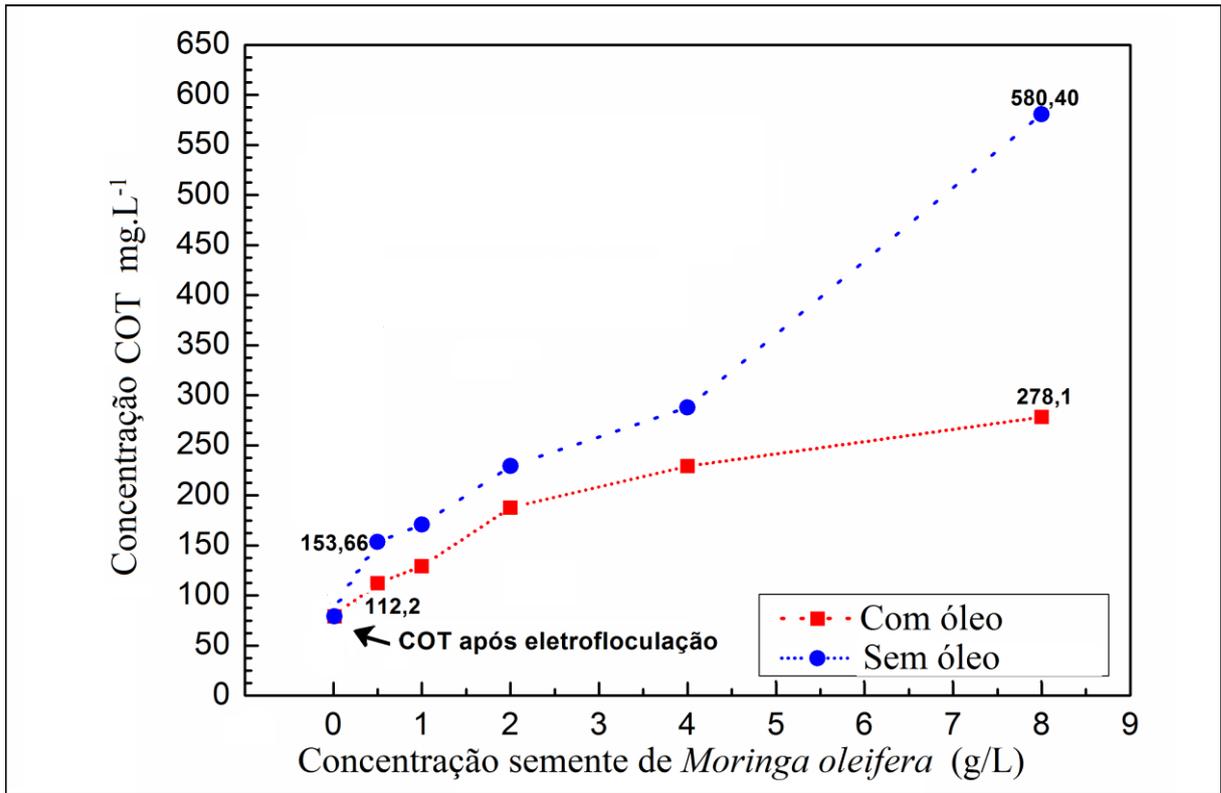


Figura 16:Comparativo da concentração do COT com o pó da Moringa com e sem óleo

Ao analisar a Tabela 13 e a Figura 16 nota-se que a quantidade de COT sofre uma redução com o processo de eletrofloculação, partindo de 248,78 mg.L⁻¹ com a *vinhaça in natura* e atingindo 70,73 mg.L⁻¹ com o processo de eletrofloculação. No entanto percebe-se que a quantidade de COT aumenta com a adição do pó de *M. oleifera*, este aumento acompanha o incremento das diferentes concentrações do pó das sementes.

A Tabela 14 demonstra o percentual de acréscimo do COT com o incremento das diferentes concentrações de *Moringa* com e sem óleo.

Tabela 14: Percentual de acréscimo do COT turbidez com o incremento de diferentes concentrações de *M. oleifera* com e sem óleo.

Amostras	Concentração de sementes <i>M. oleifera</i> (g.L ⁻¹)	Concentração COT (mg.L ⁻¹)	Acréscimo COT (%)
Efluente (90 min 1 A).	—	70,73	-----
Amostra. 01 ^(A)	0,5	112,2	+ 58,5%
Amostra. 02 ^(A)	1	129,3	+84%
Amostra. 03 ^(A)	2	187,8	+165,5%
Amostra. 04 ^(A)	4	229,3	+ 224 %
Amostra. 05 ^(A)	8	278,1	+293%
Amostra. 06 ^(B)	0,5	153,66	+112%
Amostra. 07 ^(B)	1	170,73	+140%
Amostra. 08 ^(B)	2	229,30	+224%
Amostra. 09 ^(B)	4	287,80	+305%
Amostra. 10 ^(B)	8	580,48	+720%

(A) Sementes de *M. oleifera* com óleo (B) Sementes de *M. oleifera* sem óleo

Nota-se ao avaliar a Tabela 14 que houve um aumento na concentração de COT em todas as amostras, este aumento na concentração de COT está intimamente ligado ao fato de que a *M. oleifera* é um coagulante natural e possui em sua composição elevadas concentrações de lipídios, proteínas, açúcares dentre outros elementos orgânicos que proporcionam uma maior concentração do carbono orgânico total (GALLÃO *et al.* , 2006).

Desta forma, possivelmente se ocorresse uma nova etapa de eletrofloculação do efluente após a etapa de coagulação com *Moringa* o carbono orgânico total presente no efluente poderia ser retirado. Como o ocorrido na etapa de eletrofloculação onde os percentuais de remoção do COT atingiram 70% de eficiência.

4.5 ANÁLISE DA TURBIDEZ COM A ADIÇÃO DE *MORINGA OLEIFERA*

Na Tabela 15 tem-se os valores referentes a redução da turbidez avaliando a vinhaça *in natura*, após passar pela etapa de eletrofloculação e depois de receber as diferentes concentrações do pó da semente de *M. oleifera*.

Tabela 15: Comparativo da concentração de Turbidez com o pó da semente de *Moringa* com e sem óleo

AMOSTRA	Concentração	Turbidez UNT
Vinhaça <i>in natura</i>	35,6	UNT
Tratamento E.F (90 min e 1 A)	2,63	UNT
Adição de:	COM ÓLEO (UNT)	SEM ÓLEO (UNT)
0,5 g.L ⁻¹	0,72	0,48
1 g.L ⁻¹	1,89	3,97
2 g.L ⁻¹	8,58	12,8
4 g.L ⁻¹	9,43	28,9
8 g.L ⁻¹	27,4	42,2

A Figura 17 apresenta um comparativo visual sobre a influência da adição de diferentes concentrações de *M. oleifera* sobre o efluente, comparado com os valores iniciais e após a etapa de eletrofloculação.

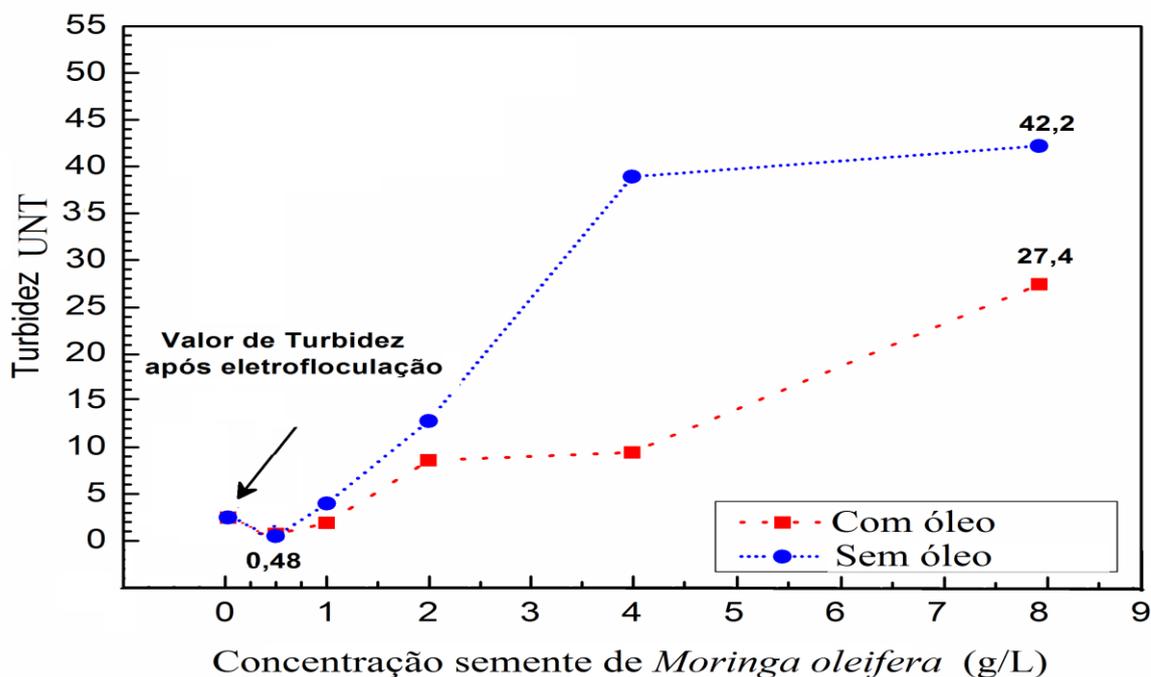


Figura 17: Comparativo da concentração de turbidez com o pó da semente de *Moringa* com e sem óleo

Analisando a Tabela 15 e a Figura 17 vê-se que os valores referentes à turbidez sofrem uma ligeira queda com a adição de $0,5 \text{ g}\cdot\text{L}^{-1}$ do pó das sementes com e sem óleo. Contudo com a adição das demais concentrações do pó das sementes de *M. oleifera* a concentração de turbidez se eleva gradativamente. A Tabela 16 demonstra o percentual de remoção e acréscimo da turbidez com o incremento das diferentes concentrações de *Moringa* com e sem óleo.

Tabela 16: Percentual de remoção e acréscimo da turbidez com o incremento de diferentes concentrações de *M. oleifera* com e sem óleo.

Amostras	Concentração de sementes <i>M. oleifera</i> ($\text{g}\cdot\text{L}^{-1}$)	Concentração Turbidez (NTU)	Acréscimo ou redução de Turbidez (%)
Efluente (90 min 1 A).	—	2,63	-----
Amostra. 01 ^(A)	0,5	0,72	-72,5
Amostra. 02 ^(A)	1	1,89	-28
Amostra. 03 ^(A)	2	8,58	+226

Amostra. 04 ^(A)	4	9,43	+ 299
Amostra. 05 ^(A)	8	27,4	+1061
Amostra. 06 ^(B)	0,5	0,48	-81
Amostra. 07 ^(B)	1	3,97	+50
Amostra. 08 ^(B)	2	12,8	+381
Amostra. 09 ^(B)	4	38,9	+1380
Amostra. 10 ^(B)	8	42,2	+1500

(A) Sementes de *M. oleifera* com óleo (B) Sementes de *M. oleifera* sem óleo

Analisando as informações da Tabela 15, com a Figura 17 e comparando com a Tabela 16 tem-se uma noção de que apenas as amostras 01, 02 e 06 tiveram efeito na redução da turbidez, sendo que somente as amostras 01 e 06 reduziram a turbidez de maneira significativa com respectivamente 72,5 % e 81 % de redução.

O aumento na turbidez está ligado ao fato de ter sido adicionado uma grande quantidade de material orgânico (Pó da semente de *Moringa*) no tratamento da vinhaça. Von Sperling (2014) afirma que a presença de material sólido em suspensão em efluentes leva ao aumento da turbidez diminuindo a passagem da luz.

Os resultados obtidos na redução de turbidez de efluentes de vinhaça com a utilização de *M. oleifera* são semelhantes aos desenvolvidos por Ströher *et al.* (2012) onde os autores estudaram os efeitos da aplicação de *M. oleifera* na redução de turbidez de efluentes de lavagem de jeans, os autores conseguiram uma eficiência de remoção de 91,1%. Rico *et al.* (2010) conseguiram atingir uma eficiência de remoção de 97 % com a aplicação de sementes de *Moringa* em efluentes de curtume.

Santiago *et al.* (2009) em seus estudos avaliaram diferentes coagulantes naturais, dentre eles a *M. oleifera*. Os autores obtiveram uma eficiência 90% na remoção da turbidez presente no efluente de vinhaça.

Desta forma a aplicação do pó da semente de *M. oleifera* no tratamento de vinhaça mostrou-se uma alternativa eficiente na remoção de turbidez. Nota-se também que a amostra 01 com concentração de 0,5 g.L⁻¹ de *Moringa* com óleo e a amostra 06 com concentração de 0,5 g.L⁻¹ de *Moringa* sem óleo apresentaram índices elevados na redução de turbidez 72% e 81 %, respectivamente.

Sendo assim a utilização do pó das sementes de *Moringa* após o processo de extração do óleo é uma alternativa viável no tratamento de efluentes de vinhaça.

4.6 ANÁLISE DA DBO₅ COM A ADIÇÃO DE *MORINGA OLEIFERA*

A Tabela 17 retrata a quantidade de DBO₅ presente na vinhaça *in natura*, na vinhaça submetida a melhor condição de eletrofloculação (90 min e 1 A) e na vinhaça após receber as diferentes concentrações de *M. oleifera* com e sem óleo.

Como era esperado o pó das sementes de *M. oleifera* influenciou positivamente na redução da DBO₅ na maioria das amostras, tanto nas concentrações com óleo quanto nas concentrações de *Moringa* sem óleo.

Tabela 17: Comparativo da concentração de DBO₅ com a adição do pó da semente de *Moringa* com e sem óleo

AMOSTRA	Concentração DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	
Vinhaça <i>in natura</i>	6428	
Tratamento E.F (90 min e 1 A)	4187	
	COM ÓLEO	SEM ÓLEO
0,5 g.L ⁻¹	4293	1245
1 g.L ⁻¹	1197	1394
2 g.L ⁻¹	2432	2458
4 g.L ⁻¹	2457	4046
8 g.L ⁻¹	4145	3845

A Figura 18 demonstra de maneira mais clara a redução da DBO₅ partindo da vinhaça *in natura*, sendo submetida a melhor condição de eletrofloculação e, posteriormente, com a utilização do pó de *M. oleifera* com e sem óleo.

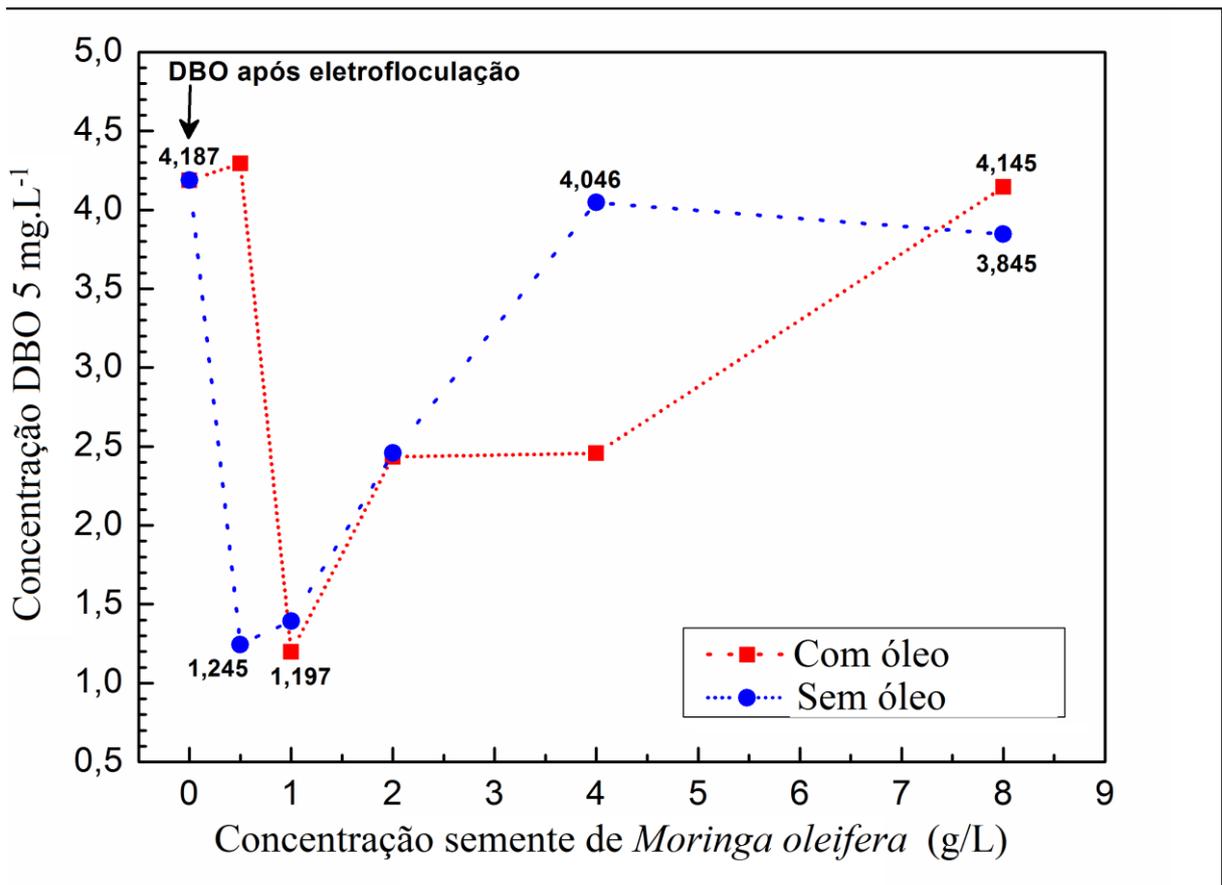


Figura 18: Comparativo da concentração de DBO₅ com a adição do pó da semente de *Moringa* com e sem óleo.

Analisando a Tabela 17 e a Figura 18 nota-se que a concentração de DBO₅ presente no efluente de vinhaça *in natura* reduz de 6428 mg.L⁻¹ para 4187 mg.L⁻¹ através do emprego da técnica de eletrofloculação. No entanto, foi com a utilização do pó das sementes de *M. oleifera* que a redução demonstrou-se eficiente.

Percebe-se que a utilização de sementes de *M. oleifera* na redução da DBO₅ obtiveram resultados significativos, exceto para a amostra 01 que apresentou uma DBO₅ de 4293 mg.L⁻¹ após a adição de 0,5 g.L⁻¹ de *Moringa* com óleo, valor esse superior ao inicial. Contudo as demais amostras reduziram a concentração de DBO₅ com a adição do pó das sementes de *M.oleifera*.

A Tabela 18 exemplifica a porcentagem de redução da DBO₅ após a adição do pó das sementes de *Moringa* com e sem óleo comparadas com o efluente de vinhaça após passar pelo processo de eletrofloculação (90 Min. 1 A).

Tabela 18: Porcentagem de redução da DBO₅ com o incremento de diferentes concentrações de *Moringa oleifera* com e sem óleo.

Amostras	Concentração de sementes <i>M. oleifera</i> (g.L ⁻¹)	Concentração DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	Acréscimo ou redução da DBO ₅ (%)
Efluente (90 min 1 A).	—	4187	-----
Amostra. 01 ^(A)	0,5	4293	+2,5
Amostra. 02 ^(A)	1	1197	-71,5
Amostra. 03 ^(A)	2	2432	-42
Amostra. 04 ^(A)	4	2457	- 41,5
Amostra. 05 ^(A)	8	4145	-1
Amostra. 06 ^(B)	0,5	1245	-70
Amostra. 07 ^(B)	1	1394	-66,7
Amostra. 08 ^(B)	2	2458	-41
Amostra. 09 ^(B)	4	4046	-3,4
Amostra. 10 ^(B)	8	3845	-8

(A) Sementes de *M. oleifera* com óleo. (B) Sementes de *M. oleifera* sem óleo.

Nota-se na Tabela 18 que a amostra 01 foi a única que aumentou a concentração de DBO₅ atingindo 4293 mg.L⁻¹ um acréscimo de 3,5 %, já as amostras que atingiram melhores resultados de remoção foram as amostras: 02, 06 e 07 todas com índices de remoção acima dos 60 %.

Gimenes et al. (2009) utilizaram sementes de *M. oleifera* no tratamento de vinhaça in natura e obtiveram uma redução de 28 % na DQO sob uma concentração de 250 ml de coagulante por litro de vinhaça.

Nogueira (2012) em seus estudos com efluentes sanitários apontou que com a utilização de 7000 mg.L⁻¹ de sementes de *M. oleifera* aliado a 500 mg.L⁻¹ de um composto a base de pó de quiabo foi possível reduzir em 84,5 % a DBO₅ do efluente.

As amostras 02 e 06 foram as que produziram os melhores resultados, contudo na amostra 02 foi utilizado uma concentração de 1 g.L⁻¹ de pó de *Moringa* com óleo, já a amostra 06 foi utilizado 0,5 g.L⁻¹ de *Moringa* sem óleo.

Desta forma a amostra 06 foi a que apresentou melhor condição de operação, dado que se utilizou uma menor concentração de *M. oleifera* 0,5 g.L⁻¹ e o óleo já havia sido extraído anteriormente. Desta maneira, torna-se viável após a extração do óleo para produção de biodiesel a utilização das sementes de *M. oleifera* (sem óleo) no tratamento de efluente de vinhaça.

Para Rangel (2009) o óleo extraído das sementes de *M. oleifera* pode ser utilizado na fabricação de cosméticos, preparo de alimentos, alimentação animal e preparo de biodiesel. Almeida (2012) aponta que através do método *Soxhlet* é possível extrair 42% de óleo das sementes de *M. oleifera*, desta forma o autor afirma que o óleo extraído das sementes possui características propícias para produção de biodiesel.

4.7 MELHOR CONCENTRAÇÃO DO PÓ DE SEMENTES DE *MORINGA OLEIFERA*

A Tabela 19 apresenta a uma comparação da remoção de COT, DBO₅ e Turbidez entre as 10 amostras distribuídas nas diferentes concentrações do pó das sementes de *M. oleifera* com e sem óleo comparada com a amostra de efluente após a etapa de eletro floculação.

Tabela 19: Melhor concentração do pó se sementes de *Moringa oleifera*.

Amostra	Concentração de <i>M. oleifera</i>	Redução ou Acréscimo COT (%)	Redução ou Acréscimo DBO ₅ (%)	Redução ou Acréscimo Turbidez (%)
Am.01	0,5 ^(A)	+ 58,5%	+2,5%	-72,5%
Am.02	1 ^(A)	+84%	-71,5%	-28%
Am.03	2 ^(A)	+165,5%	-42%	+226%
Am.04	4 ^(A)	+ 224 %	- 41,5 %	+ 299 %
Am.05	8 ^(A)	+293%	-1%	+1061%
Am.06	0,5 ^(B)	+116%	-70%	-81%
Am.07	1 ^(B)	+140%	-66,7%	+50%
Am.08	2 ^(B)	+224%	-41%	+381%
Am.09	4 ^(B)	+305%	-3,4%	+1380%
Am.10	8 ^(B)	+720%	-8%	+1500%

(A) Sementes de *M. oleifera* com óleo. (B) Sementes de *M. oleifera* sem óleo.

Na Tabela 19 é possível traçar a eficiência conjunta das amostras com base nos parâmetros COT, DBO₅ e turbidez. Nota-se que a amostra 06 apresentou a melhor eficiência, mesmo com um acréscimo nos valores de COT de 116 %, houve uma redução significativa na DBO₅ e Turbidez 70% e 81 % respectivamente.

4.8 EFICIÊNCIA GERAL DO TRATAMENTO

Foram estabelecidas as melhores condições de operação do sistema de tratamento do efluente vinhaça sendo elas:

- Etapa de eletrofloculação: Tempo 90 Min. e Intensidade de corrente elétrica 1 A.
- Etapa do biopolímero de semente de *M. oleifera*: 0,5 g.L⁻¹ de semente sem óleo.

Desta forma a Tabela 20 apresenta eficiência geral do sistema de eletrofloculação combinado com a utilização do biopolímero natural obtido através do pó das sementes de *M. oleifera*.

Tabela 20: Eficiência geral do sistema de eletrofloculação combinado com a utilização do biopolímero natural obtido através do pó das sementes de *Moringa oleifera*.

Efluente de vinhaça	COT (mg.L ⁻¹)	DBO ₅ (mg.L ⁻¹)	Turbidez (UNT)
Vinhaça <i>in natura</i>	248,78	6.428	35,6
Sistema de tratamento (E.F + M.O)*	153,66	1.245	0,48
Redução	38,23%	80,6%	98,5%

* (E.F+ M.O) =Melhor condição etapa eletrofloculação + melhor condição biopolímero *M. oleifera*.

A Tabela 21 apresenta uma comparação entre a redução de COT, DBO₅ e turbidez obtidos neste trabalho comparados aos relatados na literatura por: Paz-Pino *et al.* (2014),

Yavuz (2006), Cadorna *et al.* (2013), Davila *et al.* (2011) e Santiago (2009) no tratamento de vinhaça.

Tabela 21: Comparação da redução do COT, DBO₅ e turbidez com relatos da literatura

Análises	Paz-Pino <i>et al.</i> (2014),	Yavuz (2006)	Cadorna <i>et al.</i> (2013)	Davila <i>et al.</i> (2011)	Santiago (2009)	Presente trabalho
DBO₅	93%	----	----	----	----	80,6%
COT	----	88,7%	88%	25%	----	38,23%
Turbidez	99%	----	----	89%	90%	98%
Método utilizado	EDF. DA.	EF. EC.	EDF. FQ.	EF. EC.	M.O.	EF. MO.

(EDF). Eletrodissolução de ferro, (EF) Eletrofloculação, (EC) Eletrocoagulação, (FQ) Floculação Química (MO) *M.oleifera*, (DA) Digestão Anaeróbica.

Os resultados obtidos em relação à redução do COT, DBO₅ e turbidez do presente trabalho são semelhantes com os relatados na literatura. Com exceção do COT que devido ao a adição do biopolímero de *M. oleifera* aumentou a concentração de matéria orgânica no efluente, desta forma seria interessante submeter o efluente após a adição do biopolímero uma nova etapa de eletrofloculação a fim de reduzir a concentração de COT.

5 CONCLUSÃO

A partir dos ensaios realizados e dos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- Quanto ao processo de eletrofloculação:

Na etapa de eletrofloculação do efluente de vinhaça foi escolhido como condição padrão de operação o tempo de 90 minutos e a intensidade de corrente elétrica em 1 A, uma vez que esses valores apresentaram melhor eficiência na redução dos parâmetros: carbono orgânico total – COT, demanda bioquímica de oxigênio DBO₅ e turbidez respectivamente

72%, 35%, 92%, respectivamente.

- Quanto ao processo do biopolímero *M. oleifera*:

A utilização do pó das sementes de *M. oleifera* com e sem óleo no tratamento de vinhaça apresentaram resultados significativos na redução dos parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio DBO_5 e turbidez, sob as concentrações de 1 g.L^{-1} com óleo e $0,5 \text{ g.L}^{-1}$ sem óleo.

Contudo foi estabelecido como concentração ideal o emprego de $0,5 \text{ g.L}^{-1}$ do pó da semente de *M. oleifera* sem óleo, uma vez que o óleo das sementes pode ser utilizado na produção de uma série de produtos, dentre eles a produção de biodiesel. Sendo assim a utilização das sementes após o processo de extração do óleo torna-se uma alternativa viável na utilização de *M. oleifera* no tratamento de efluentes de vinhaça.

A utilização do pó das sementes de *M. oleifera* na concentração de $0,5 \text{ g.L}^{-1}$ sem óleo apresentou-se eficiente na redução de DBO_5 e Turbidez apresentando uma redução de 70% e 81 % , respectivamente. O parâmetro COT não apresentou redução, pelo contrário todas as amostras apresentaram um aumento na concentração de COT durante a etapa de adição do biopolímero de *M. oleifera*. Este aumento está ligado à adição do pó das sementes de *M. oleifera*, que consequentemente aumenta a concentração de matéria orgânica no efluente.

- Quanto a eficiência geral do processo (eletrofloculação e biopolímero de *M. oleifera*):

Analisando a eficiência geral do processo de tratamento de efluentes de vinhaça através da técnica de eletrofloculação aliada com a utilização dos biopolímeros naturais obtidos através do pó das sementes de *M. oleifera* tem-se uma redução global de 38 % do COT, 80 % da DBO_5 e 98,5 % da turbidez.

Sendo assim a técnica de eletrofloculação aliada aos biopolímeros das sementes de *M. oleifera* no tratamento de vinhaça mostrou-se eficiente e viável frente às tecnologias e processos utilizados atualmente no tratamento de efluentes de vinhaça.

- Sugestões para trabalhos futuros:

Através dos resultados obtidos na realização deste trabalho, assim como o conhecimento adquirido no desenvolvimento do estudo, sugere-se os seguintes trabalhos a serem desenvolvidos:

- Avaliar a eficiência de redução dos parâmetros analisados utilizando outros biopolímeros naturais existentes.
- Realizar um estudo com outras variáveis que não foram analisadas como: temperatura, distância e material de confecção dos eletrodos.
- Inverter a ordem do processo de eletrofloculação e biopolímeros a fim de verificar se existe aumento ou redução na eficiência.

6 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, F.N.C. **Estudo do processo de extração do óleo da semente de *Moringa oleifera lam.* Visando a produção de biodiesel.** Dissertação de Mestrado submetida à Universidade Estadual de Maringá UEM, 2012.

ANTUNES, João Francisco Gonçalves; AZANIA, Carlos Alberto Mathias; AZANIA, Andréa A. Padua Mathias. **Impactos ambientais das queimadas de cana-de-açúcar.** *Cultivar*. Jan. 2012. Disponível em: <<http://www.grupocultivar.com.br/noticias/artigo-impactos-ambientais-das-queimadas-de-cana-de-acucar>>. Acesso em: 18 Out. 2015.

BRAILE, Pedro Marcio; CAVALCANTI, Jose Eduardo W. A. **Manual de tratamento de águas residuárias industriais.** São Paulo: CETESB, 1993. 764 p.

BRASIL, Jorge L.; VAGHETTI, Júlio C. P.; ROYER, Betina; SANTOS JR., Araci A. dos; SIMON, Nathalia M.; PAVAN, Flávio A.; DIAS, Silvio L. P.; LIMA, Eder C. **Planejamento estatístico de experimentos como uma ferramenta para otimização das condições de biossorção de Cu (II) em batelada utilizando-se casca de nozes pecã como biossorvente.** *Quim. Nova*. 2007;30(3):548-53. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000300008>. Acesso em: 11 Mar 2016.

BRASIL-Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 430 de 13 de maio de 2011.** Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, 2011.

BRITO, Juliana Ferreira de et al . **Treatment for purification water of biodiesel using electroflocculation.** *Quím. Nova*, São Paulo , v. 35, n. 4, p. 728-732, 2012 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S010040422012000400014&lng=en&nrm=iso>. Acesso em : 17 Jan 2016

BUTTON, Sergio Tonini. **Metodologia Para Planejamento Experimental E Análise De Resultados.** Campinas 2016. Programa De Pós-Graduação Em Engenharia Mecânica. Disponível em: <<http://www.fem.unicamp.br/~sergio1/pos-graduacao/IM317/apostila.pdf>>. Acesso em: 17 Mar 2016.

CARDONA, Charles; MACHUCA-MARTINEZ, Fiderman; MARRIAGA-CABRALES, Nilson. **Treatment of vinasse by using electro-dissolution and chemical flocculation.** *Cali* , v. 15, n. 2, p. 191-200, Dec. 2013 . Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-30332013000200018&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 10 Nov. 2016.

CARMONA, Manuel; KHEMIS, Mohamed; LECLERC, Jean-Pierre; LAPICQUE, François. **A simple model to predict the removal of oil suspensions from water using the electrocoagulation technique.** *ELSEVIER Chemical Engineering Science* 2006. . Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/223342851_A_simple_model_to_predict_the_removal_of_oil_suspensions_from_water_using_the_electrocoagulation_technique>. Acesso em: 11 Mar 2016.

CARVALHO BONGIOVAN, Milene; CARDOSO VALVERDE, Karina; BERGAMASCO, Rosângela. **Utilização Do Processo Combinado Coagulação/Floculação/Uf Como Processo Alternativo Ao Tratamento Convencional Utilizando Como Coagulante A *Moringa oleifera Lam.*** *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental da Alta Paulista*, [S.l.], v. 9, n. 11, nov. 2013. ISSN

1980-0827. Disponível em: <http://amigosdanatureza.org.br/publicacoes/index.php/forum_ambiental/article/view/559/584>. Acesso em: 06 Mar. 2016.

CARVALHO, Teciá Vieira. **Biomateriais à base de quitosana de camarão e bactérias para remoção de metais traço e petróleo.** 2006. 117f. Dissertação (Mestrado em Ciências Marinhas Tropicais) – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza. Disponível em:<www.repositorio.ufc.br/bitstream/riufc/1574/1/2006_dis_tvcarvalho.pdf>. Acesso em: 23. Fev. 2016.

CERQUEIRA, Alexandre Andrade. Aplicação da técnica de eletrofloculação no tratamento de efluentes têxteis. Dissertação para obtenção do título de mestre em engenharia química da universidade do estado do Rio de Janeiro 2006 Disponível em:<https://www.academia.edu/3450110/Aplicacao_da_tecnica_de_eletrofloculacao_no_tratamento_de_efluentes_texteis>. Acesso em: 17 Out. 2015.

CERQUEIRA, Alexandre Andrade. ANDRADE, Thais Alves Gallo. MARQUES, Monica Regina Da Costa. RUSSO, Carlos. **Gestão Das Águas De Produção: Histórico, Políticas Ambientais E Alternativa. Tecnológica.** REVISTA UNIARA, v. 12, n.2, dez. 2009. Disponível em:<http://www.uniara.com.br/legado/veristauniara/pdf/23/denilson_02.pdf>. Acesso em: 13 Out. 2015.

CONAB - Companhia Nacional de Abastecimento. **Safra 2015/2016 de cana-de-açúcar.** 2015 Disponível em:<<http://www.brasil.gov.br/economia-e-emprego/2015/08/safra-2015-2016-de-cana-de-acucar-deve-crescer-3-2>>. Acesso em: 14. Nov. 2016.

CRISPILHO, Frank Nelson; REZENDE, Maria Olimpia Oliveira. 2004, M. O. O.; **Eletroflotação: Princípios e Aplicações.** RIMA Editora: São Carlos, 2004.

DÁVILA, J., MACHUCA, F., & MARRIAGA, N. (2011). **Treatment of vinasses by electrocoagulation- electroflotation using the Taguchi method.** *Electrochimica Acta* , 56, 7433-7436. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468611010267>>. Acesso em 10 Nov. 2016.

EMBRAPA **Cana-de-Açúcar Adubação - resíduos alternativos.** 2015 Disponível em:<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_39_711200516717.html>. Acesso em: 20. Fev. 2016.

FARINA, ELIZABETH MARIA MERCIER QUERIDO. Competitividade Do Sistema Agroindustrial Da Cana-De-Açúcar. 1998 Disponível em:<https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Vol_V_CANAparte1_000fxg2yfra02wyiv80soht9hnddhjbd.pdf>. Acesso em: 24. Nov. 2016.

FERNANDES, Carlos; OLIVEIRA Rui. **Estudo E Determinação Do "pH".** Notas de aula do curso Análise de Água e de Esgotos. Disponível em: <<http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/PH.html>>. Acesso em: 11 Mar 2016.

FERREIRA, P. M. P. et al . **Moringa oleifera: bioactive compounds and nutritional potential.** *Rev. Nutr.*, Campinas , v. 21, n. 4, p. 431-437, Aug. 2008 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1415-52732008000400007&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 29 Out. 2016.

FLECK, Leandro; TAVARES, Maria Hermínia Fereira; Eduardo EYNG, Eduardo. **Utilização da técnica de eletrofloculação para o tratamento de efluentes têxteis: uma revisão.** *Revista EIXO, Brasília - DF*, v.2 n.2, Julho – Dezembro de 2013. Disponível em: <<http://revistaeixo.ifb.edu.br/index.php/RevistaEixo/article/view/107/93>>. Acesso em: 21 Mar 2016.

FORNARI, Marilda Menchon Tavares. **Aplicação da técnica de eletro floculação no tratamento de efluentes de cortume.** Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia

Química, Universidade Estadual Do Oeste Do Paraná – Unioeste. 2007. Disponível em: < http://www.unioeste.br/eq/peq/dissertacoes/marilda_menchon_tavares_fornari.pdf>. Acesso em: 11 Set 2015.

FREIRE, W. J.; CORTEZ, L. A. B. **Vinhaça de cana-de-açúcar**. Guaíba: Agropecuária, 2000. 203p. Disponível em:< <http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v18n1/v1988n1a0096.pdf>>. Acesso em: 14. Nov. 2016.

Gallão, M. I.; Damasceno, L. F.; Brito, E. S. Avaliação química e estrutural da semente de Moringa. Revista Ciência Agronômica, v.37, p.106-109, 2006. Disponível em: < <http://www.ccarevista.ufc.br/seer/index.php/ccarevista/article/viewFile/224/219> >. Acesso em 13 Set. 2016.

GERALDINO, Henrique Cesar Lopes. **Eletrofloculação Aplicada Ao Tratamento De Efluente Da Indústria De Laticínio**. Itapetinga, Bahia 2014. Dissertação apresentada à Universidade Estadual do Sudoeste da Bahia - UESB, Campus de Itapetinga, para obtenção do título de Mestre em Ciências Ambientais. Disponível em: < <http://www.uesb.br/ppgca/dissertacoes/2014/Geraldino.pdf> >. Acesso em: 11 Out 2015.

GLERIANI, Marinaldo José. **Concordância da Aptidão Agrícola das Terras do Estado de São Paulo Elaborada nos Anos Setenta com os Dados do Censo Agropecuário do IBGE Ano 95/96**. Disponível em:< <http://www.dpi.inpe.br/cursos/ser300/Trabalhos/marinaldo.pdf>>. Acesso em: 14. Nov. 2016.

GOBBI, Lorena Cristina Abrahão. **Tratamento De Água Oleosa Por Eletrofloculação**.2013. Dissertação (Mestrado em Energias) Universidade Federal Do Espírito Santo,Programa De Pós-Graduação Em Energia, São Mateus. Disponível em:< http://portais4.ufes.br/posgrad/teses/tese_6753_LorenaGobbi.pdf>. Acesso em: 23. Nov. 2016.

GUERREIRO, L.F; RODRIGUES, C.S; DUDA, R.M; OLIVEIRA, R.A; BOAVENTURA. R.A; MADEIRA L.M.**Treatment of sugarcane vinasse by combination of coagulation/flocculation and Fenton's oxidation**. US National Library of Medicine National Institutes of Health. Disponível em: < <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/27353374>>. Acesso em 10 Nov. 2016.

HENNIG,E.L. **Utilização De Quitosana Obtida De Resíduos De Camarão Para Avaliar A Capacidade De Adsorção De Íons Fe³⁺**. Rio Grande- RS, 2009.

HORN, M.M. **Obtenção e caracterização de hidrogéis de quitosana, xantana e colágeno aniônico**. São Carlos ,2008.

IWAMURA, Vinicius Cavani. **Associação da Moringa oleifera e do sulfato de alumínio com o processo de eletrocoagulação para a redução dos parâmetros físico-químicos da água**. 2016. 72 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina, 2016.

JANEGITZ, Bruno Campos; LOURENCAO, Bruna Cláudia; LUPETTI, Karina Omuro and FATIBELLO-FILHO, Orlando.**Desenvolvimento de um método empregando quitosana para remoção de íons metálicos de águas residuárias**. Quím. Nova[online]. 2007, vol.30, n.4. Disponível em:< www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-40422007000400022&lng=en&nrm=iso >. Acesso em: 13 Out. 2015.

MAPA-Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. **Competitividade Do Sistema Agroindustrial Da Cana-De-Açúcar**.2016 Disponível em:< https://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Vol_V_CANAParte1_000fxg2yfra02wyiv80soht9hnddhjbd.pdf>. Acesso em: 24. Nov. 2016.

MARRIANGA, Fiderman Machucab, Nilson; DAVILA, Javier A. **Treatment of vinasses by electrocoagulation–electroflotation using the Taguchi method.** . *Electrochimica Acta* Volume 56, Issue 22, 1 September. Pages 7433–7436 2011, Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0013468611010267>> . Acesso em: 11 Mar 2016.

MATHUR, B. *Moringa book.* 2005. Disponível em: <http://www.treesforlife.org/sites/default/files/documents/English%20Moringa_book_view>. Acesso em: 09 Nov. 2016.

MELETI, M, V; FADEL, B; SMITH, M. **Perspectiva Sistêmica Da Sustentabilidade Nas Organizações Sob A Ótica Da Cultura Organizacional E Sua Repercussão No Desenvolvimento Regional.** *Revista Gestão & Conhecimento* ISSN 1808-6594 EDIÇÃO ESPECIAL – Nov/2012. Disponível em: <https://www.pucpcaldas.br/graduacao/administracao/revista/artigos/esp1_8cbs/15.pdf>. Acesso em: 19 Jan 2016.

MOLLAH, Yousuf; SCHENNACH, Robert; PARGA, Jose R.; COCKE, David L. **Electrocoagulation (EC)—science and applications.** *ELSEVIER Journal of Hazardous Materials* (2001) Disponível em: < <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0304389401001765>>. Acesso em: 11 Mar 2016.

MORALES, Ulises; MERAZ, Mónica; ZAYAS, Teresa ;RÓMERO, Viviana; SALGADO, Leonardo. **Applicability of coagulation/flocculation and electrochemical processes to the purification of biologically treated vinasse effluent.** 2007 *ELSEVIER Chemical Engineering Science* 2006. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/223342851_A_simple_model_to_predict_the_removal_of_oil_suspensions_from_water_using_the_electrocoagulation_technique>. Acesso em: 11 Mar 2016.

NOGUEIRA, F. C.B. **Sementes de Moringa e pó de Quiabo no Tratamento de Efluente Sanitário.** 2012. 76 f. Dissertação (Mestrado em Zootecnia e Recursos Pesqueiros) - Universidade Jose do Rosario Vellano, Alfenas, 2012. Fabiola Cristina Barros Nogueira-dissertacao.

PAREDES, Debora Silva. **Gases De Efeito Estufa Da Vinhaça Derivada Da Produção De Alcool De Cana-De-Açúcar: Emissões Por Armazenamento, Distribuição E Fertirrigação.** Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Planejamento Energético, COPPE, da Universidade Federal do Rio de Janeiro 2015.

PATERNIANI, J. E. S; MANTOVANI, M.C; SANT'ANNA M.R. **Uso de sementes de Moringa oleifera para tratamento de águas superficiais.** . *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental* v.13, n.6, p.765–771, 2009 Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v13n6/v13n6a15.pdf>> . Acesso em: 19 Out. 2016.

PAZ-PINO, Olga Lucía; BARBA-HO, Luz Edith; MARRIAGA-CABRALES, Nilson. **Vinasse treatment by coupling of electro-dissolution, hetero-coagulation and anaerobic digestion.** *Medellín* , v. 81, n. 187, p. 102-107, Disponível em: <http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0012-73532014000500013&lng=en&nrm=iso>. Acesso em 10 Nov. 2016.

POZZOBON, Luciane; KEMPKA, Anieli Pinto. **Sementes De Moringa oleifera Na Clarificação De Efluente De Indústria De Ingredientes Para Alimentação Animal: Comparação Com O Coagulante Convencional E Estudo Das Condições Operacionais.** *ENGEVISTA*, V. 17, n. 2, p. 196-206, Junho 2015. Disponível em: < <http://www.uff.br/engevista/seer/index.php/engevista/index> >. Acesso em: 23. Fev. 2016.

RAMJEAWON, T. **Cleaner production in Mauritian cane-sugar factories.** Journal of Cleaner Production, Volume 8, Issue 6, December 2000, Pages 503-510. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0959652600000202>>. Acesso em: 25 Jan. 2016.

RANGEL, M. S. A. Moringa oleifera: uma planta de uso múltiplo. Edição: 1999 Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros, 1999. 41 p. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/busca-de-publicacoes/-/publicacao/371079/Moringa-oleifera-uma-planta-de-uso-multiplo>>. Acesso em: 10 Out.2016.

RICO, T. E. F.; et al. Tratamento de água residuária de curtume com utilização de sementes de Moringa (Moringa oleifera L.). Revista Agro@mbiente On-line, Boa Vista, v. 4, n. 2, p. 96 -101, 2010.

ROMERO, J.A. P. **Eletroflotação aplicada ao tratamento de esgoto sanitário.** 2009. Tese (Doutorado em Química Analítica) - Instituto de Química de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009. doi:10.11606/T.75.2009.tde-05072010-105011. Acesso em: 2016-11-29.

SABESP. **Parâmetros qualidade da água.** Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaoId=40>>. Acesso em: 14 Nov 2015.

SANTOS, A. F; LUZ, L. A; ARGOLO, A. C; TEIXEIRA, J. A; PAIVA, P. M; COELHO, L. C. **Isolation of a seed coagulant Moringa oleifera lectin.** Revista: Process Biochemistry Volume 44, Issue 4, April 2009, Pages 504–508 Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1359511309000270>>. Acesso em: 19 Out.2016.

SANTIAGO, RAFAEL M.; GIRARDI, FRANCIÉLLE; GIMENES, MARCELINO L. **Tratamento de Vinhaça Com os Coagulantes Naturais: Quitosana, Tanino E Moringa.** In: Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. 8. 2009, Uberlândia.

SILVA, Gaspar Antônio da. **Avaliação das tecnologias de disposição de vinhaça de cana de açúcar quanto ao aspecto de desenvolvimento ambiental e econômico.** 2012. Tese (Doutorado em Térmica e Fluidos) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18147/tde-21052012-174023/>>. Acesso em: 14 Fev 2016.

SILVA, Mellissa A. S. da; GRIEBELER, Nori P. and BORGES, Lino C. **Uso de vinhaça e impactos nas propriedades do solo e lençol freático.** Rev. bras. eng. agríc. ambient.[online]. 2006, vol.11. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbeaa/v11n1/v11n1a14>>. Acesso em: 20. Fev. 2016.

SOUZA, Carolina Gondin. **Extração De Compostos Bioativos E Pectina Da Casca De Maracujá Utilizando Sistema Pressurizado E Ultrassom.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, da Universidade Federal do Ceará. Fortaleza 2015. Disponível em: <http://www.repositorio.ufc.br/ri/bitstream/riufc/12368/1/2015_dis_cgsoouza.pdf>. Acesso em: 11 Mar 2016.

STRÖHER, A.P; JUNIOR, O.M.C; MENEZES, M.L; BERGAMASCO, R; PEREIRA, N.C. **Aplicação de Moringa oleifera lam no tratamento de efluente proveniente da lavagem de jeans Moringa oleifera lam application in the treatment of effluent from the wash jeans.** Revista e-xacta, Belo Horizonte, v. 5, n. 1, p. 61-66. (2012). Editora UniBH. Disponível em: <<http://www.unibh.br/revistas/exacta/>>. Acesso em: 19 Out.2016.

TANNER, C.C.; SUKIAS, J.P.S.; HEADLEY, T.R.; YATES, C.R.; STOTT, R. **Constructed wetlands and denitrifying bioreactors for on-site and decentralized wastewater treatment: Comparison of five alternative configurations.** ELSEVIER Ecological Engineering Volume 42, Maio 2012, Páginas 112–123. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0925857412000444>>. Acesso em: 20 Jan. 2016.

TEIXEIRA, E.M.B. **Caracterização Química E Nutricional Da Folha De Moringa (Moringa Oleifera Lam.)** Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e

Nutrição da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Araraquara - SP 2012.

TEIXEIRA, E.M.B. **Caracterização Química E Nutricional Da Folha De Moringa (Moringa Oleifera Lam.)** Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-graduação em Alimentos e Nutrição da Faculdade de Ciências Farmacêuticas da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho, Araraquara - SP 2012.

VAZ, Luiz Gustavo de Lima et al . **Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia.** Eclet. Quím., São Paulo , v. 35, n. 4, p. 45-54, 2010 . Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0100-46702010000400006&lng=en&nrm=iso>. Acesso em: 06 Mar. 2016

VIEIRA, Maria Célia Azeredo; LIMA, Jaldir Freire; BRAGA, Natália Mesquita. **Setor sucroalcooleiro brasileiro: evolução e perspectivas.** Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/bndes_pt/Institucional/Publicacoes/Consulta_Expressa/Tipo/Livro/200706_11.html>. Acesso em: 14 Out. 2015.

VIEIRA, Maria Célia Azeredo; LIMA, Jaldir Freire; BRAGA, Natália Mesquita. **Setor sucroalcooleiro brasileiro: evolução e perspectivas.** Disponível em: <http://www.bndes.gov.br/SiteBNDES/expo rt/sites/default/bndes_pt/Galerias/Arquivos/conhecimento/liv_perspectivas/07.pdf >. Acesso em: 10 Out. 2015.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e tratamento de esgotos:** volume - 1. 4. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014. 472 p. (Princípios do tratamento biológico de águas residuárias). ISBN 978-85-423-0053-6.

YAVUZ, Yusuf. **EC and EF processes for the treatment of alcohol distillery wastewater.** ELSEVIER Chemical Engineering Science 2006 . Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1383586606002668> >. Acesso em: 11 Mar 2016.

Zampieri, Disonei. **Tendência Ao Setor Sucroalcooleiro Em 2015.** SEAB – Secretaria de Estado da Agricultura e do Abastecimento DERAL- Departamento de Economia Rural. 2015. Disponível em: <http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/cana_2015_16.pdf >. Acesso em: 18 Nov 2015.

