

II-082 - APLICAÇÃO DE COAGULANTES E FLOCULANTES ORGÂNICOS ALTERNATIVOS NO PÓS-TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LATICÍNIO

Iuri Ribeiro⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Mestrando em Engenharia Química na Universidade Estadual do Oeste do Paraná.

Alessandra Algeri⁽²⁾

Engenheira Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná-UTFPR MD. Mestranda em Tecnologia de Bioprodutos Agroindustriais na Universidade Federal do Paraná- UFPR.

Elias Lira dos Santos Junior⁽³⁾

Mestre em Ciências da Engenharia pela Universidade Estadual do Norte Fluminense- UENF. Professor Adjunto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR MD

Ismael Laurindo Costa Junior⁽⁴⁾

Mestre em Engenharia Química pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná –UNIOESTE. Professor Adjunto da Universidade Tecnológica Federal do Paraná- UTFPR MD

Juliana Bortoli Rodrigues Mees⁽⁵⁾

Doutora em Engenharia Agrícola: Saneamento Ambiental pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Professor e Pesquisadora do Programa de Pós Graduação em Tecnologias Ambientais (PPGTAMB) da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR MD

Endereço⁽¹⁾: Avenida Assunção, 370 – Centro – Santa Tereza do Oeste – Paraná – CEP:85825-000 – Brasil – Tel: (45) 9995-8986 – e-mail: iuri.engenharia@outlook.com

RESUMO

A geração de efluentes tem se tornado um grande problema ambiental devido a contaminação e poluição, principalmente, dos corpos receptores e devido a esse fato vários tipos de tratamento de efluente tem sido empregados. Os diferentes tipos de tratamentos devem ser escolhidos de acordo com as características dos efluentes, e, dentre os tratamentos físico-químicos mais utilizados estão os processos de coagulação e floculação, utilizando substâncias coagulantes que agrupam as moléculas possibilitando a decantação. Essas substâncias são, geralmente, a base de ferro ou alumínio e acabam gerando lodos com grandes concentrações de íons metálicos (Al^{+3} e Fe^{+3}), tóxicos e de difícil disposição. Por isso, recentemente a utilização de substâncias coagulantes provenientes de fontes orgânicas tem ganhado atenção, uma vez que não ocorre a existência de metais residuais no efluente tratado proveniente do coagulante, os lodos gerados não são tóxicos e são biodegradáveis, passíveis de serem utilizados para adubação do solo, neste contexto o trabalho teve por objetivo avaliar a viabilidade técnica do uso de substâncias orgânicas para o pós-tratamento de efluente de um laticínio. Além da avaliação dos coagulantes o trabalho buscou otimizar a concentração utilizada das substâncias. A otimização ocorreu através da utilização do planejamento experimental, com ensaios iniciais que permitem observar o comportamento das respostas. Após os ensaios iniciais foram feitos os ensaios do planejamento tipo DCCR, que permite a obtenção de uma superfície de resposta, onde podem ser encontrados os valores ótimos. Com relação às respostas foram obtidos, para o efluente estudado, os valores de pH 8,25, turbidez 255 ± 25 NTU, DQO 2.188 ± 408 mg.L⁻¹, ST 3.148 ± 232 mg.L⁻¹ e Cor de 4.003 ± 380 Pt-Co. Com a utilização de moringa oleífera (MO), auxiliada pelas substâncias a base de maracujá e quiabo, foi obtido um valor de remoção de 35% de turbidez, com uma concentração de 2.045 ppm de MO, 2.393 ppm de Maracujá e 4 ppm de quiabo. Foi obtida também uma redução de 80% da DQO, com uma concentração de 1.375 ppm de MO, 1.500 ppm de Maracujá e 2,5 ppm de quiabo. Já, com o uso da solução coagulante a base de chia, também auxiliada por maracujá e quiabo, foram alcançados valores de 87% de remoção de turbidez com uma concentração de 110 ppm de chia, ausência de Maracujá e 2,5 ppm de quiabo. Para a DQO ocorreu uma remoção máxima de 65% utilizando 56 ppm para chia, 607 ppm para maracujá e 5 ppm para quiabo.

PALAVRAS-CHAVE: Moringa oleífera, Chia, Coagulação, Otimização, DCCR.

INTRODUÇÃO

A água, amplamente utilizada nos processos produtivos, depois de seu uso, incorpora diversos resíduos que modificam a qualidade da mesma, alterando suas características físicas, químicas e biológicas, ocorrendo assim a geração de efluentes líquidos industriais, esgotos domésticos ou sanitários, que são descartados, na maioria das vezes, em corpos hídricos. Quando o descarte de efluente ocorre de forma negligenciada ocorre a inserção de patógenos, o aumento da demanda química e bioquímica de oxigênio (DBO e DQO) e um grande aumento da presença de nutrientes como nitrogênio e fósforo no meio. A inserção dessas substâncias acarreta em casos de poluição e de contaminação nos corpos hídricos receptores, no solo e na atmosfera, influenciando negativamente a vida dos seres vivos.

Devido a esses casos ocorre a existência de uma legislação para o controle das atividades econômicas/sociais que impactam diretamente ou indiretamente no meio ambiente. O atendimento a essa legislação faz-se necessário, pois, uma vez não atendida incide a aplicação de penalidades, como multas, apreensões de equipamentos, embargos de obras e paralizações de operações industriais e até mesmo de instalações. A soma dos fatores explicitados acima torna necessário o tratamento dos efluentes antes de sua disposição final.

No Brasil, em 2014, foram gerados cerca de 35,17 bilhões de litros de leite, com uma geração estimada de efluente de cerca de 88 milhões de metros cúbicos. Somente no estado do Paraná houve uma geração de cerca de 11 milhões de metros cúbicos de efluente no ano de 2013. O efluente proveniente de laticínios possui alta carga poluidora, uma vez que apresenta grande concentração de DQO e DBO de óleos e graxas (OG) e de nutrientes.

Os principais sistemas utilizados para o tratamento desses efluentes são baseados em operações físicas e processos químicos, como: o gradeamento ou peneiramento, coagulação/floculação, sedimentação, flotação, entre outros e, processos biológicos, reatores aeróbios e anaeróbios, principalmente lagoas de estabilização. Para os processos de coagulação são utilizados vários agentes químicos, geralmente à base de ferro ou alumínio, que tem por finalidade desestabilizar as partículas coloidais possibilitando seu agrupamento e posterior sedimentação.

O lodo formado após a decantação com a utilização de substâncias coagulantes metálicas possui íons de ferro e/ou alumínio, são tóxicos e não biodegradáveis, tornando-se um problema para o seu tratamento e disposição, bem como para a saúde (LO MONACO et al., 2010; FERREIRA, 2012). Como alternativa tem-se utilizado uma grande variedade de coagulantes orgânicos, como a *Moringa oleifera*, a Quitosana, o quiabo (*Abelmoschus esculentus*), a pectina proveniente da casca do maracujá (ALVES et al., 2014) e o amido, tanto o amido natural de milho (MURAKAMI, 2011; MORUZZI; NAKADA, 2009) quanto o que pode ser obtido através da utilização de cascas de batata e mandioca (ALVES et al., 2014). Estes coagulantes apresentam baixa ou nenhuma toxicidade e menores custos de utilização, além disso, sabe-se que o lodo gerado pelo processo apresenta menores concentrações de íons metálicos, bem como menores volumes.

Estes lodos podem ser utilizados na grande maioria dos casos para a adubação do solo, devido as suas características, tornando-se uma alternativa para a minimização dos problemas decorrentes da utilização de coagulantes metálicos e floculantes sintéticos. Deste modo o trabalho teve vários objetivos, entre eles: Avaliar a viabilidade técnica da utilização de coagulantes orgânicos alternativos derivados de *Moringa oleifera* (*Moringa oleifera* Lam) e de Chia (*Salvia hispanica*), e floculantes orgânicos alternativos derivados de Quiabo (*Abelmoschus esculentus*), e Maracujá (*Passiflora* sp), para o pós-tratamento físico-químico de efluente líquido de laticínio; Caracterizar e avaliar a eficiência do tratamento por coagulação/floculação e sedimentação pelos parâmetros físico-químicos pH, cor, turbidez, sólidos totais (ST) e matéria orgânica por meio da demanda química de oxigênio (DQO); Determinar a dosagem mínima e o pH ótimo de coagulação; Comparar o desempenho, com base nos parâmetros físico-químicos analisados, de cada planejamento de coagulação/floculação e determinar a concentração ótima dos coagulantes orgânicos e dos floculantes, utilizando a ferramenta estatística de planejamento experimental.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi feito em escala de bancada, no Laboratório de Águas, Efluentes e Emissões da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – UTFPR, câmpus Medianeira, onde foram realizados todos os processos e os itens referentes à caracterização dos efluentes, à avaliação do desempenho dos coagulantes, à determinação da dosagem mínima e do pH ótimo para coagulação, bem como a otimização do uso dos coagulantes e floculantes. Foram utilizados coagulantes orgânicos produzidos com sementes de *Moringa oleifera* e de chia (*Salvia hispanica*), já os auxiliares de floculação, também orgânicos, foram produzidos utilizando quiabo (*Abelmoschus esculentus*) e maracujá (*Passiflora incarnata*).

COLETA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

Os lotes de efluente foram provenientes de uma agroindústria de laticínios, localizada no oeste do estado do Paraná, na cidade de Matelândia, 25°14'08.25''S 53°57'42.17'' O. O efluente foi coletado na saída do tratamento secundário (lagoa aerada), por meio de coleta simples, levando em consideração as recomendações da Associação brasileira de normas técnicas (ABNT) Norma brasileira (NBR) 9898/1987. As análises foram feitas seguindo os métodos descritos no Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA; AWWA; WEF, 2012), sendo eles: Colorimétrico (DQO) protocolo 5220-D; Nefelométrico (turbidez) protocolo 2130-B; Potenciométrico (pH) protocolo 4500-H+-B; Colorimétrico (Cor) protocolo 21250-B; Gravimétrico (ST) protocolo 2540-B. Para a leitura da temperatura e do pH no local e data da coleta, foram utilizados equipamentos disponibilizados pela própria indústria (termômetro e pHmetro digital).

PREPARO DAS SOLUÇÕES

Todas as soluções foram preparadas no dia em que foram utilizadas visando padronizar o preparo e minimizar a interferência do tempo de vida da solução na coagulação e ou floculação. Exceto a solução coagulante a base de chia, pois para sua utilização é necessário repouso por 24 horas após o preparo. A tabela 1 proporciona um resumo do modo de preparo das soluções coagulantes e floculantes.

Tabela 1: Modo de preparo das soluções coagulantes e floculantes

Coagulante Floculante	Fonte	Massa Inicial	Modo de preparo	Concentração final estimada
Moringa Oleífera (SOLANA, 2014; LIED, 2012)	Sementes com casca	25 g	Descascamento e seleção (cor e estado físico); Maceração com pistilo; Solubilização em solução salina 0,9 mol.L ⁻¹ (10g/200mL); Agitação Magnética (30 minutos); Filtração a vácuo com uso de papel filtro.	50.000 ppm
Chia	Sementes com casca	10 g	Maceração com pistilo; Solubilização em solução HCl 0,001 mol.L ⁻¹ (pH=3,0) (5g/500mL); Agitação Magnética (1 hora); Repouso a temperatura ambiente (24 horas); Peneiramento em peneira de malha fina. Armazenada em refrigerada a 5°C	10.000 ppm
Maracujá (ALVES et al., 2014)	Cascas e Albedo	1 kg	Fervura em água e suco de limão (50 mL.L ⁻¹); Retirada do Albedo quando possuir aspecto transparente; Trituração em liquidificador; Solubilização em água destilada (10g/200mL); Agitação magnética por 30 minutos.	50.000 ppm
Quiabo (ASSIS et al., 2011)	Quiabos Verdes	50 g	Secagem a 180 °C por 4 horas, apresentando uma perda de 90% de umidade; Trituração com pistilo; Peneiramento do pó em peneira de 32mesh; Solubilização em água destilada (1g/100mL); Agitação magnética por 30 minutos; Diluição em dez vezes.	1.000 ppm

A Concentração da solução de Moringa oleífera (MO) antes da filtração (50.000 ppm) foi utilizada para o cálculo dos volumes utilizados nos ensaios, mesmo caso que ocorreu para chia sendo a concentração da solução de chia antes do peneiramento (10.000 ppm) utilizada para o cálculo dos volumes utilizados nos ensaios. O tempo máximo de estoque da solução de chia é de uma semana, porém para as análises a solução foi utilizada no dia posterior ao preparo.

ENSAIOS PRELIMINARES E FINAIS DE COAGULAÇÃO

Os ensaios preliminares de coagulação e ensaios finais de coagulação/floculação e sedimentação foram feitos em um equipamento Jar-Test, marca PoliControl, modelo FlocControl III. O teste de dosagem mínima tem como objetivo verificar a menor dosagem necessária de solução coagulante para que ocorra a formação de flocos, mesmo que ínfimos, deve-se salientar que o teste foi aplicado para todas as soluções, tanto coagulantes (MO e chia) como floculantes (maracujá e quiabo). O teste de dosagem mínima para as soluções floculantes não é necessário, porém foi feito para se ter a certeza de que elas formariam ou coágulos ou flocos. O teste ocorreu em béqueres de 600 mL, com 500 mL de efluente, sendo submetidos à agitação lenta de 30 rpm, em Jar-Test, até a visualização do desenvolvimento de flocos (SOLANA, 2014). Os ensaios são feitos para cada solução, coagulante ou floculante, em separado. Na tabela 2 pode-se observar as concentrações utilizadas em cada ensaio.

Tabela 2: Concentrações utilizadas para ensaios de dosagem mínima

Coagulantes e floculantes	Concentrações utilizadas nos ensaios (ppm)					
Ensaio	1	2	3	4	5	6
Moringa	100	150	200	250	300	350
Chia	10	20	40	60	80	100
Maracujá	50	300	600	1.000	1.500	2.000
Quiabo	5	10	20	30	40	50

Numa segunda etapa dos ensaios preliminares, após o ensaio de dosagem mínima, ocorreu o ensaio da determinação do pH ótimo de coagulação, onde foi utilizada a concentração mínima estabelecida, com diferentes valores de pH para o efluente, que variaram para cada ensaio, utilizando sempre a mesma concentração de cada coagulante. A faixa de valores de pH utilizada (tabela 3) é recomendada para cada coagulante, variando também em relação ao pH do efluente, que foi fixado para o primeiro ensaio. O teste também ocorreu em béqueres de 600 mL, com 500 mL de efluente, sendo submetidos às mesmas condições dos ensaios finais, 100 rpm por 20 segundos, 30 rpm por 15 minutos e sedimentação por 30 minutos, em Jar-Test (SOLANA, 2014). Os ensaios são feitos para cada solução, coagulante ou floculante, em separado. A partir desses testes foram avaliadas as faixas de pH que apresentaram a maior eficiência de coagulação com relação à redução de turbidez. Para a correção foi utilizado o pHmetro marca Hanna, modelo pH 21 pH/mV meter.

Tabela 3: Faixas de pH utilizadas na determinação do pH ótimo

Coagulantes e floculantes	pH utilizado nos ensaios					
Ensaio	1 ^(a)	2	3	4	5	6
Moringa	8,4	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Chia	8,4	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Maracujá	8,1	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0
Quiabo	8,4	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0

Observação:

^(a) Ensaio com os valores de pH do efluente Bruto, sem correção

Na etapa final, antes do planejamento de otimização, foram feitos ensaios iniciais que serviram para observar o comportamento das respostas dentro das faixas de estudo. Após os ensaios iniciais ocorreram os ensaios seguindo metodologia de um planejamento experimental do tipo DCCR (Delineamento Composto Central Rotacional). Neste planejamento foram experimentadas as variações dos níveis -1 para os níveis +1 de todos os fatores envolvidos, ou seja, são verificadas todas as combinações possíveis de fatores, com o objetivo de examinar o comportamento das respostas dentro das faixas de estudo. E, além desses ensaios são adicionados os pontos axiais (-1,68 e +1,68) proporcionando uma rotação dos pontos, que permite a visualização das faixas ótimas, dentro das superfícies de resposta e das equações de segundo grau formadas. Os ensaios finais seguiram as mesmas condições estabelecidas para os ensaios de pH ótimo.

Foram formados dois planejamentos, com três variáveis cada, sendo uma variável relacionada com a solução coagulante e duas com as soluções floculantes. No primeiro planejamento houve o uso da solução coagulante a base de MO e as soluções floculantes a base de maracujá e quiabo, no segundo caso a solução coagulante utilizada foi à base de chia, com os mesmos dois floculantes (maracujá e quiabo). Os planejamentos experimentais foram compostos, portanto, por planejamento fatorial completo 2³ (8 ensaios), com adição de 2*3 pontos axiais (6 ensaios) e 3 pontos centrais (3 ensaios) totalizando 17 ensaios. Foi utilizado o DCCR em busca da otimização dos valores de concentração para a melhor faixa de remoção de turbidez (%), além desta, a resposta para outros parâmetros também foi avaliada: Cor; ST e DQO. As concentrações das soluções coagulantes e floculantes que foram estudadas pelos DCCRs e os níveis de estudo estão discriminados na tabela 4, com os valores reais e codificados.

Tabela 4: Níveis Reais e Codificados das Variáveis Estudadas

Variáveis/Níveis	Coagulantes		Floculantes	
	MO (ppm)	Chia (ppm)	Maracujá (ppm)	Quiabo (ppm)
-1,68	250	20	0	0
-1	705	56	607	1
0	1.375	110	1.500	2,5
+1	2.045	164	2.393	4
+1,68	2.500	200	3.000	5

Os valores reais dos níveis inferiores (-1,68) para MO e para chia foram estabelecidos como os valores apresentados como o resultado do estudo preliminar de dosagem mínima de coagulante. Já os valores reais para os níveis inferiores para as soluções floculantes, de maracujá e quiabo, foram fixados em 0, pois se queria formar ensaios em que ocorresse a ausência de pelo menos um dos floculantes.

Os valores do nível superior (+1,68) para todas as soluções foram estabelecidos por ensaios ponto a ponto. Os outros níveis são calculados utilizando a ordem de escala. Os níveis 0 são os níveis centrais, onde estão apresentadas concentrações de 1.375 ppm para o coagulante a base de MO, de 110 ppm para coagulante a base de chia, 1.500 ppm para solução floculante a base de maracujá e 2,5 ppm para solução a base de quiabo.

A matriz do primeiro planejamento DCCR para os ensaios utilizando como solução coagulante a MO e soluções floculantes a base de maracujá e quiabo pode ser observada na tabela 5.

Tabela 5: Matriz do planejamento experimental DCCR para MO

Ensaio	Nível (Concentração ppm)					
	Coagulante		Floculantes			
	MO		Maracujá		Quiabo	
1	-1	705	-1	607	-1	1
2	1	2.045	-1	607	-1	1
3	-1	705	1	2.393	-1	1
4	1	2.045	1	2.393	-1	1
5	-1	705	-1	607	1	4
6	1	2.045	-1	607	1	4
7	-1	705	1	2.393	1	4
8	1	2.045	1	2.393	1	4
9	-1,68	250	0	1.500	0	2,5
10	1,68	2.500	0	1.500	0	2,5
11	0	1.375	-1,68	0	0	2,5
12	0	1.375	1,68	3.000	0	2,5
13	0	1.375	0	1.500	-1,68	0
14	0	1.375	0	1.500	1,68	5
15	0	1.375	0	1.500	0	2,5
16	0	1.375	0	1.500	0	2,5
17	0	1.375	0	1.500	0	2,5

Na tabela 6 está apresentada a matriz de planejamento experimental para o segundo planejamento, em que foi utilizado como coagulante a solução produzida com sementes de chia e floculantes a base de maracujá e de quiabo.

Tabela 6: Matriz do planejamento experimental DCCR para Chia

Ensaio	Nível - Concentração ppm					
	Coagulante		Floculantes			
	Chia		Maracujá		Quiabo	
1	-1	56	-1	607	-1	1
2	1	164	-1	607	-1	1
3	-1	56	1	2.393	-1	1
4	1	164	1	2.393	-1	1
5	-1	56	-1	607	1	4
6	1	164	-1	607	1	4
7	-1	56	1	2.393	1	4
8	1	164	1	2.393	1	4
9	-1,68	20	0	1.500	0	2,5
10	1,68	200	0	1.500	0	2,5
11	0	110	-1,68	0	0	2,5
12	0	110	1,68	3.000	0	2,5
13	0	110	0	1.500	-1,68	0
14	0	110	0	1.500	1,68	5
15	0	110	0	1.500	0	2,5
16	0	110	0	1.500	0	2,5
17	0	110	0	1.500	0	2,5

Nas análises estatísticas foram avaliados os efeitos e a significância de cada fator por meio de análises feitas no software Protimiza Experimental Design. Os modelos gerados tiveram em vista apenas os fatores significativos a um percentual de probabilidade (α) de 5%, sendo concluído por meio do teste “t” de Student. Após a geração dos modelos estes foram avaliados pelo teste de variância (ANOVA) e validado pelo teste F, onde é feita a relação entre Fcalculado (FCAL) e Ftabelado (FTAB).

RESULTADOS

CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

Na local da coleta foram medidos a temperatura e o pH do efluente, resultando em uma temperatura de 28°C, com temperatura ambiente de 24°C, e pH de 8,72. Os resultados das análises para a caracterização do efluente podem ser observados na tabela 7, bem como alguns valores descritos em legislações. Os valores estão expressos pela média das análises feitas, acrescidos com o valor de desvio das respostas.

Tabela 7 - Caracterização do efluente

Parâmetros	Unidade	Efluente ^(a)	CONAMA 430/2011	CEMA 070/2009
pH	-	8,25	5,0 – 9,0	NE
Turbidez	NTU	255 ± 25	NE	NE
DQO	mg.L ⁻¹	2.188 ± 408	NE	200
Cor	Unid. Pt-Co	4.003 ± 380	NE	NE
ST	mg.L ⁻¹	3.148 ± 232	NE	NE
Temperatura	°C	28	<40	NE

Observações:

^(a) Saída da lagoa aerada aeróbia

NE - Não especificado

Para os parâmetros relacionados acima a Resolução do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) n. 430/2011, trata apenas do pH, que deve estar na faixa de 5 a 9, e da temperatura, que deve estar abaixo dos 40 °C e não pode ocorrer a variação de temperatura do corpo receptor acima dos 3°C no limite da zona de mistura e. Já a CEMA 070/2009, traz, desses parâmetros, apenas a DQO, que para indústrias de laticínios é permitido um máximo de 200 mg.L⁻¹.

Estes valores são padrões de lançamento de efluentes líquidos em corpos receptores, e não servem como parâmetros para o despejo de efluentes no solo. A indústria, portanto, não está sujeita aos parâmetros e padrões de lançamento dispostos nas leis referidas, empregando a disposição final no solo, pelo processo de fertirrigação. Deve-se apenas atentar ao fato de que o processo de fertirrigação não pode causar poluição ou contaminação das águas superficiais e subterrâneas. Neste caso um estudo mais detalhado deveria ser feito se a indústria tivesse o interesse de lançar o efluente logo após o tratamento secundário.

ENSAIOS PRELIMINARES

Os ensaios preliminares de concentração mínima e pH ótimo foram feitos para todas as substâncias, uma vez que era necessária a comprovação do efeito coagulante/floculante das mesmas. Os resultados para a concentração mínima de solução estão apresentados na tabela 8, sendo expressos em ppm.

Tabela 8: Concentração mínima de solução coagulante/floculante

Coagulante	Concentração mínima (ppm)
MO	250
Chia	20
Maracujá	300
Quiabo	20

A concentração de 250ppm para a MO foi mais alta que a apresentada por Solana (2014) que necessitou de 150ppm para visualizar a formação de flocos, para as mesmas condições, em 30 rpm e 500mL de efluente. O que pode ser explicado pela diferença do efluente, que no caso do trabalho referenciado foi oriundo de um abatedouro e frigorífico, com valores muito menores de turbidez e DQO. Para o caso da chia, com um valor de concentração mínima de 20ppm, e do maracujá, que apresentou um valor de 300ppm, ocorre a dificuldade de comparação de resultados devido à carência de bibliografia, pois ainda existem poucos estudos aprofundados na área. O quiabo apresentou um valor alto (20 ppm) se comparado com bibliografia, 1 ppm para Lima (2007), tal ocorrido é explicado pelo fato de que na maioria das vezes (e no trabalho apresentado por Lima, 2007) o quiabo é utilizado apenas como auxiliar de floculação e não coagulante, sendo utilizado em conjunto com outra substância coagulante.

Para resultado do ensaio do pH ótimo de coagulação foi escolhido o parâmetro turbidez, devido a rapidez e facilidade da análise. Os resultados para cada pH da eficiência na remoção de turbidez utilizando a concentração estabelecida no ensaio de dosagem mínima podem ser observados na tabela 9.

Tabela 9: Eficiência da remoção de turbidez utilizando concentração de dosagem mínima para cada pH

pH do ensaio	MO	Chia	Quiabo	Maracujá
8,4	15%	7%	7%	7%
6,0	-13%	1%	-1%	-1%
7,0	10%	7%	6%	8%
8,0	11%	3%	10%	11%
9,0	15%	6%	10%	13%
10,0	10%	7%	10%	9%

Através da análise da tabela 9 pode-se concluir que não existe grande diferença com a alteração do pH na eficiência da remoção de turbidez para a solução a base de MO, porém deve-se atentar para a sua utilização em

valores de pH que sejam maiores que 6,0, neutros ou alcalinos, o fato de que não há a necessidade da alteração do pH do efluente para o uso da MO já havia sido observado por Solana (2014) e comentado por Rangel (2009). A chia também não apresentou grandes diferenças, podendo, contudo, ser utilizada em pH igual a 6,0 apesar da baixa eficiência frente aos outros ensaios. A solução a base de quiabo apresentou eficiências semelhantes em quase todos os testes, tendo uma maior eficiência em valores na faixa entre 7,0 e 10,0, apresentando eficiência negativa com um valor de pH de 6,0. A solução a base de maracujá apresentou oscilações e teve sua eficiência prejudicada no pH 6,0, com uma crescente remoção com a elevação do pH até a faixa de pH de 10,0 onde apresentou um pequeno decréscimo com relação ao ensaio anterior.

ENSAIOS DE COAGULAÇÃO/FLOCULAÇÃO

Para os ensaios iniciais não foi feito planejamento fatorial, foram feitos apenas ensaios ponto a ponto, apenas para verificar a questão das faixas de estudo utilizadas posteriormente e como dito anteriormente foi escolhido para a metodologia dos ensaios de coagulação o planejamento DCCR, onde ocorre além dos ensaios fatoriais a adição de pontos axiais possibilitando a geração de equações de segundo grau e a observação das faixas ótimas.

PLANEJAMENTO 1 (MO AUXILIADA POR MARACUJÁ E QUIABO)

As respostas dos ensaios para o planejamento 1 que utilizou como solução coagulante a MO e auxiliares de floculação de maracujá e quiabo, estão descritas na tabela 10, onde estão apresentados os níveis de cada fator e as respostas para as variáveis em cada ensaio.

Tabela 10: Matriz de respostas para o planejamento 1

Ensaio	Valores codificados			Respostas (remoção %)		
	MO	Maracujá	Quiabo	Turbidez	Cor	DQO
1	-1	-1	-1	12	16	51
2	1	-1	-1	16	24	34
3	-1	1	-1	23	29	37
4	1	1	-1	27	18	34
5	-1	-1	1	22	7	50
6	1	-1	1	12	16	34
7	-1	1	1	24	21	69
8	1	1	1	35	35	4
9	-1,68	0	0	32	29	60
10	1,68	0	0	17	26	52
11	0	-1,68	0	15	40	66
12	0	1,68	0	35	47	15
13	0	0	-1,68	20	22	32
14	0	0	1,68	22	30	46
15	0	0	0	24	29	70
16	0	0	0	22	27	80
17	0	0	0	23	26	77

Com relação à remoção de turbidez após análise da tabela 10 pode-se perceber que as maiores respostas ocorrem nos ensaios 8 e 12, apresentando um máximo de 35% de remoção. Para o ensaio número 8 todas as variáveis estão fixadas no nível +1 (2.045 ppm para MO, 2.393 ppm para o maracujá e 4 ppm para o quiabo), já, no ensaio número 12 as variáveis MO e quiabo estão fixadas nos pontos centrais (1.375 ppm e 2,5 ppm respectivamente) e a variável maracujá está fixada no ponto axial superior, ou seja, 3.000 ppm. Já, as menores respostas (12% de remoção) são apresentadas nos ensaios 1 e 6, estando fixadas no primeiro ensaio no nível -1 para todas as variáveis (705 ppm para MO, 607 ppm para o maracujá e 1 ppm para o quiabo), no sexto ensaio as variáveis MO e quiabo estão fixadas no nível superior, enquanto que o maracujá está fixado no nível inferior. (607 ppm).

Para o caso da cor a maior remoção ocorreu no ensaio 12 (47%), bem como no caso anterior, já, o ensaio com pior desempenho foi o ensaio 5, onde MO e maracujá estão fixadas no nível inferior e o quiabo no nível superior, que chegou a apenas 7% de remoção de cor. Para a DQO o caso não se repete, uma vez que as maiores remoções (80, 77 e 70%) ficaram nos pontos 15, 16 e 17, onde os fatores estão fixados nos seus pontos centrais (1.375 ppm para MO, 1.500 ppm para maracujá, 2,5 ppm para quiabo). A pior eficiência pode ser observada no ensaio número 8 (4%). O aspecto visual do efluente após o tratamento do planejamento 1 pode ser observado na figura 1 A, B e C.

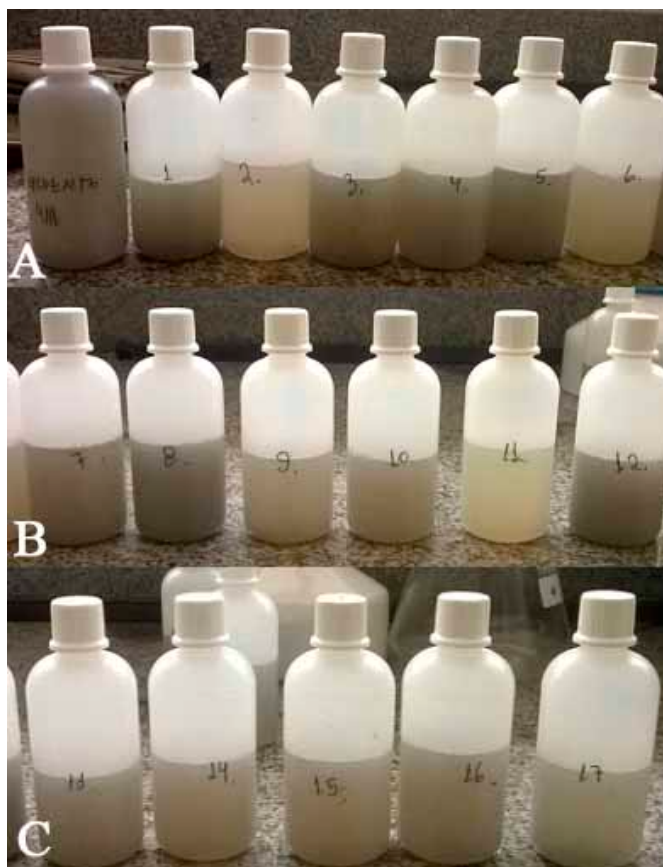


Figura 1: Aspecto visual do efluente após ensaios do primeiro planejamento (A: Efluente inicial e ensaios de 1 a 6) (B: Ensaios de 7 a 12) (C: Ensaios de 13 a 17)

Para o planejamento 1 foi gerada apenas a equação de remoção de turbidez não havendo geração de equação para a redução de Cor e DQO, uma vez que para o caso da cor nenhuma das variáveis apresentou-se significativas, e para o caso da DQO, apesar de apresentar duas variáveis significativas o modelo gerado possuiu um R^2 muito baixo.

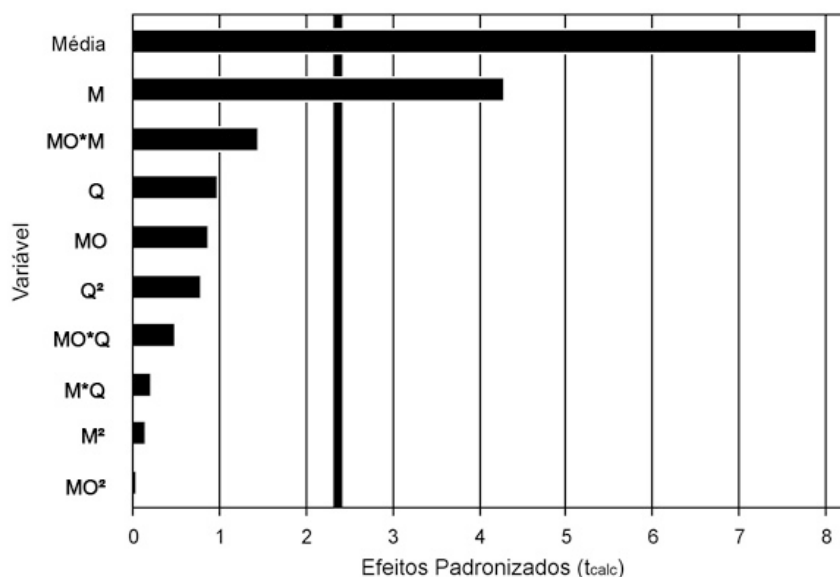


Figura 2: Gráfico de Pareto, efeito padronizado mínimo para significância (planejamento 1)

Após análise estatística foi gerada a figura 2, que apresenta a significância dos valores, onde são apresentados os efeitos padronizados para cada variável, sendo a linha vertical escura o efeito padronizado mínimo para que o valor seja considerado significativo. Neste caso apenas a variável concentração codificada de maracujá apresentou maior efeito que o mínimo. Onde MO é a concentração codificada de moringa oleífera, M é a concentração codificada de maracujá, Q é a concentração codificada de quiabo.

Os efeitos das variáveis do planejamento 1 com relação à turbidez podem ser observados na tabela 11, neste caso foi apresentado apenas o efeito significativo a um α de 5%, os outros efeitos foram automaticamente enviados para os resíduos.

Tabela 11: Efeitos significativos das variáveis do planejamento 1

Nome	Efeito	Erro Padrão	t-calculado	p-valor
Média	22,41	1,10	20,39	0,0000
M	5,90	1,23	4,82	0,0002

Os efeitos lineares de MO e de quiabo (Q), além dos efeitos de interação e de todos os efeitos quadráticos não apresentaram significância dentro do intervalo de confiança estudado (α de 5%). O efeito linear de Maracujá (M) apresentou significância e foi positivo, indicando que maiores valores de concentração de maracujá auxiliam para o aumento da remoção de turbidez. O modelo matemático gerado é descrito pela equação 1.

$$ET (\%) = 22,41 + 5,90 \cdot M \quad \text{equação (1)}$$

Onde ET é o valor da eficiência de remoção de turbidez, em percentual, e M é o valor codificado da concentração de maracujá, que varia entre -1,68 até 1,68. A validação do modelo é dada pela ANOVA (tabela 12).

Tabela 12: ANOVA do modelo de redução de turbidez para o planejamento 1

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	F _{CAL}	p-valor	F _{TAB}
Regressão	476,1	1	476,1	23,2	0,00023	3,1
Resíduos	308,0	15	20,5			
Total	784,1	16				

Ao verificar a tabela 12, conclui-se que o modelo é válido e seus valores são estatisticamente significativos e preditivos, pois apresenta um FCAL cerca de 7,48 vezes maior que FTAB, sabendo que se FCAL/FTAB for superior a 4, os valores encontrados são estatisticamente significativos e preditivos. O modelo apresentou também um R^2 de 60,72%.

PLANEJAMENTO 2 (CHIA AUXILIADA POR MARACUJÁ E QUIABO)

As respostas dos ensaios para o planejamento 2 que utilizou como solução coagulante a chia e auxiliares de floculação de maracujá e quiabo podem ser observadas na tabela 13, onde estão apresentados os níveis de cada fator e as respostas para as variáveis em cada ensaio.

Tabela 13: Matriz de respostas para o planejamento 2

Ensaio	Valores codificados			Respostas (remoção %)			
	Chia	Maracujá	Quiabo	Turbidez	Cor	DQO	ST
1	-1	-1	-1	62	28	37	7
2	1	-1	-1	31	29	34	8
3	-1	1	-1	44	29	39	6
4	1	1	-1	72	35	46	21
5	-1	-1	1	55	27	65	18
6	1	-1	1	47	35	63	4
7	-1	1	1	39	29	53	12
8	1	1	1	46	34	64	17
9	-1,68	0	0	44	27	58	12
10	1,68	0	0	40	29	62	10
11	0	-1,68	0	87	34	56	11
12	0	1,68	0	45	33	59	19
13	0	0	-1,68	57	35	60	29
14	0	0	1,68	41	31	60	17
15	0	0	0	77	28	61	28
16	0	0	0	75	32	58	22
17	0	0	0	72	28	50	20

Com relação à remoção de turbidez após análise da tabela 13 pode-se concluir que a maior resposta ocorreu no ensaio 11, apresentando um máximo de 87% de remoção. Para tal ensaio as variáveis chia e quiabo estão fixadas no ponto central (110 ppm para chia, 2,5 ppm para o quiabo), e o maracujá está fixado no nível axial inferior onde ocorre uma concentração nula de solução. Já, a menor resposta (31% de remoção) foi apresentada no ensaio 2, estando fixadas no nível -1 as variáveis quiabo e maracujá (1 ppm para o quiabo, 607 ppm para o maracujá), e no nível +1 a solução coagulante a base de chia (164 ppm).

Para o caso da cor a maior remoção ocorreu nos ensaios 4, 6 e 13 (35% de remoção) a menor remoção (27%) foi apresentada no ensaio 5 e 9. Para a cor pode-se perceber também que não existe muita diferença entre os ensaios. Para a DQO a maior remoção (65%) ocorreu no ensaio 5, onde os fatores, chia e maracujá, estão fixados nos seus níveis inferiores (56 ppm para chia, 607 ppm para maracujá) e o fator quiabo está fixado no nível superior (5 ppm). A pior eficiência pode ser observada no ensaio número 2 (34%), ensaio em que o coagulante está no nível superior (200 ppm) e os auxiliares estão no nível inferior (607 ppm para maracujá e 1 ppm para o quiabo).

Com relação aos sólidos totais a maior remoção (29%) ocorreu na ausência do auxiliar de quiabo, ensaio 13, quando os outros dois agentes estavam fixados nos seus pontos centrais (110 ppm para chia e 1.500 ppm para o maracujá), já a menor ocorreu no ensaio 6 (4% de remoção) onde a chia e o quiabo estão fixados no nível

superior (164 ppm para chia e 4 ppm para o quiabo) e o maracujá está no nível inferior (607 ppm). O aspecto visual do efluente após o tratamento do planejamento 2 pode ser observado na figura 3 A, B e C.

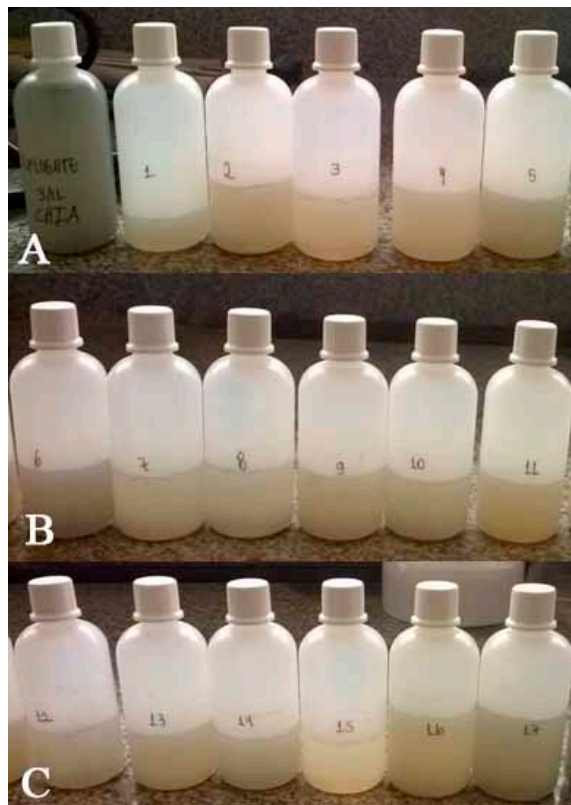


Figura 3: Aspecto visual do efluente após ensaios do segundo planejamento (A– Efluente inicial e ensaios de 1 a 5) (B– Ensaios de 6 a 11) (C– Ensaios de 12 a 17)

Para o planejamento 2 foi gerada apenas equações de remoção de turbidez, não havendo geração de equação para a redução de Cor e DQO e nem ST, uma vez que para os dois primeiros casos apenas uma das variáveis apresentou-se significativa, gerando equações com R^2 muito baixo.

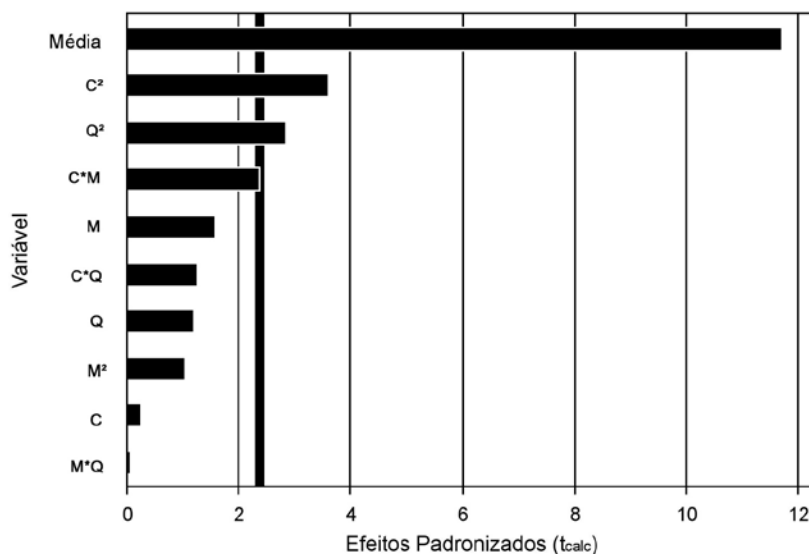


Figura 4: Gráfico de Pareto, efeito padronizado mínimo para significância (planejamento 2)

Após análise estatística para redução de turbidez foi gerada a figura 4, que apresenta a significância dos valores, onde são apresentados os efeitos padronizados para cada variável, sendo a linha vertical escura o efeito padronizado mínimo para que o valor seja considerado significativo. Neste caso apenas as variáveis concentração codificada ao quadrado de chia, concentração codificada ao quadrado de quiabo e a interação entre chia e maracujá apresentaram maior efeito que o mínimo. Onde C é o valor codificado da concentração de chia, M é a concentração codificada de maracujá, Q é a concentração codificada de quiabo.

Os efeitos das variáveis do planejamento 2 com relação à turbidez podem ser observados na tabela 14, neste caso foram apresentados apenas os efeitos significativos, os outros efeitos foram automaticamente enviados para os resíduos.

Tabela 14: Efeitos significativos das variáveis do planejamento 2

Nome	Efeito	Erro Padrão	t-calculado	p-valor
Média	70,43	4,91	14,33	0,0000
C ²	-10,88	3,23	-3,37	0,0051
Q ²	-8,40	3,23	-2,60	0,0220
C*M	9,25	4,02	2,30	0,0384

Os efeitos lineares de C, M e Q, além dos efeitos de interação entre C*Q e Q*M e o efeito quadrático M² não apresentaram significância dentro do intervalo de confiança estudado (α de 5%). Os efeitos quadráticos de C² e Q² apresentaram significância e foram negativos, indicando que maiores valores de concentração de chia e quiabo acarretam em uma diminuição da remoção de turbidez. O efeito de interação entre C*M apresenta-se significativo e positivo, levando a crer que a interação entre chia e o maracujá tende a aumentar a remoção da turbidez. O modelo matemático gerado é descrito pela equação 2.

$$ET (\%) = 70,43 - 10,88 \cdot C^2 - 8,40 \cdot Q^2 + 9,25 \cdot C \cdot M \quad \text{equação (2)}$$

Onde: C é o valor codificado da concentração de chia, C² é o valor codificado ao quadrado da mesma variável, M é o valor codificado da concentração de maracujá e Q² é o valor codificado ao quadrado da concentração de quiabo. ET corresponde a eficiência de remoção de turbidez, expressa em percentual. A validação do modelo está apontada na tabela 15.

Tabela 15: ANOVA do modelo para o planejamento 2

Fonte de variação	Soma dos quadrados	Graus de liberdade	Quadrados médios	FCAL	p-valor	FTAB
Regressão	2602,1	3,0	867,4	6,7	0,00560	2,56
Resíduos	1676,9	13,0	129,0			
Total	4278,9	16,0				

O modelo foi validado através do teste da ANOVA (tabela 15), pois FCAL é 2,62 vezes maior que FTAB. Porém, sabendo que se FCAL/FTAB é superior a 1 e menor que 4, os valores encontrados para a equação são apenas estatisticamente significativos e não preditivos. O modelo apresentou também um R² de 60,81%.

Os gráficos de superfície gerados pelo modelo do planejamento 2, para redução de turbidez, podem ser visualizados nas figuras 5, 6 e 7 abaixo.

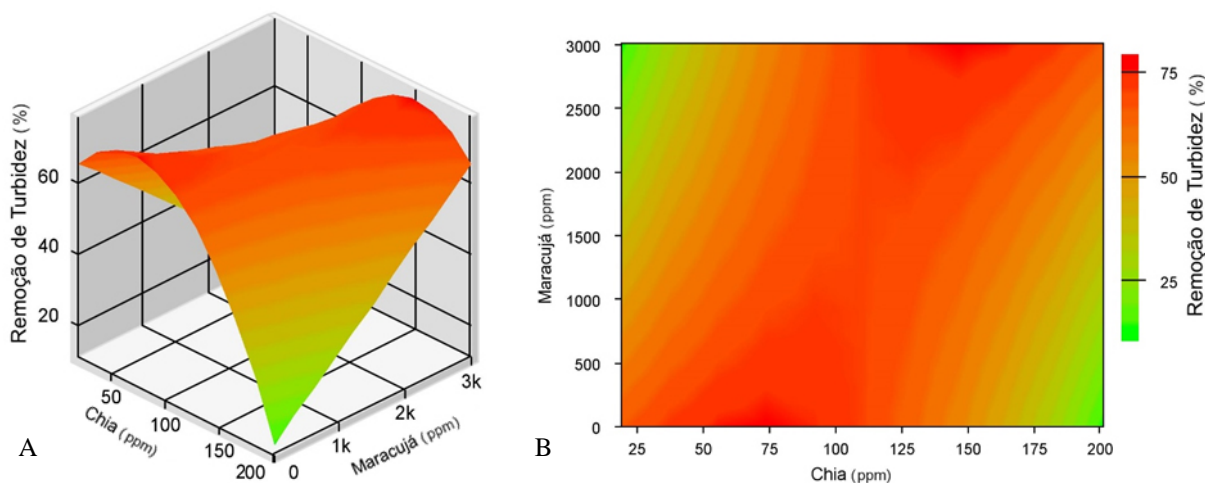


Figura 5: A: Gráfico de superfície - B: Curvas de contorno para chia e maracujá para remoção de turbidez

Através da análise da figura 5– A e B conclui-se que a interação entre o coagulante a base de chia e o auxiliar de floculação a base de maracujá ocorre de fato, mostrando que em valores muito altos de chia, maiores de 175 ppm, e baixos de maracujá, menores de 500 ppm, a eficiência da remoção de turbidez é baixa, menor que 25%, bem como em valores da extremidade oposta, altos valores de maracujá, maiores de 2.500 ppm, com baixos valores de chia, 25 ppm. Pode-se perceber também que nos valores próximos aos pontos centrais ocorre uma alta eficiência (110 ppm para chia e 1.500 ppm para maracujá), cerca de 75% de remoção de turbidez. Lembrando que esses fatores levam em consideração a utilização do auxiliar de floculação a base de quiabo no ponto central (2,5 ppm).

Pode-se observar na figura 6– A e B que a maior eficiência, maior que 60% de remoção de turbidez, ocorre nos pontos centrais (110 ppm para chia e 2,5 ppm para o quiabo). Pode-se perceber também que a eficiência diminui claramente perto das extremidades do gráfico. Lembrando que esses fatores levam em consideração a utilização do auxiliar de floculação a base de maracujá no ponto central (1.500 ppm).

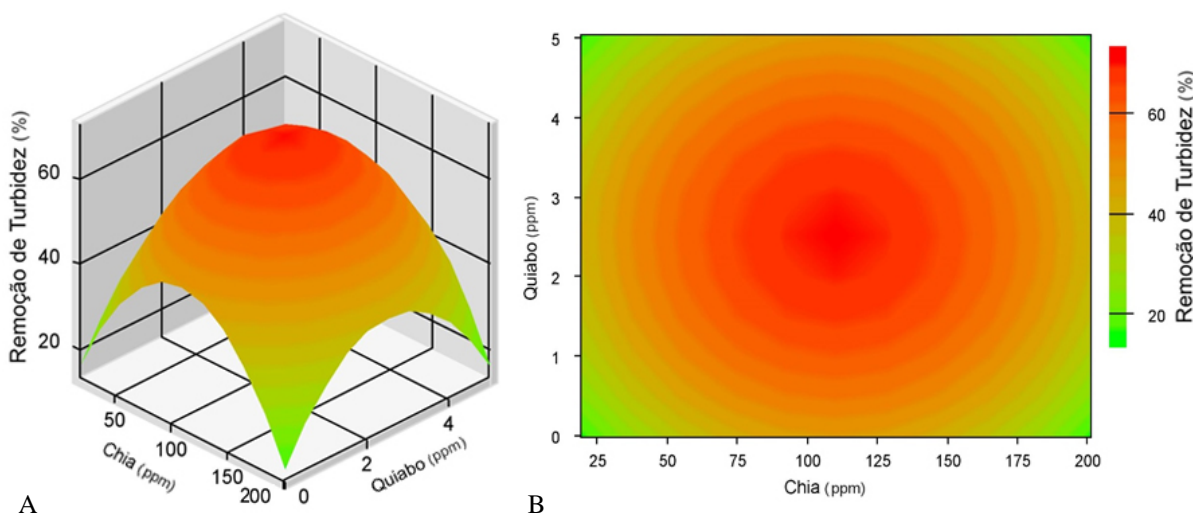


Figura 6: A: Gráfico de superfície - B: Curvas de contorno para chia e quiabo para remoção de turbidez

Pela leitura da figura 7– A e B percebe-se que o efeito é causado somente pela mudança da concentração da solução de quiabo, uma vez que o efeito de interação entre eles, quiabo e maracujá, foi não significativo, e o efeito linear e quadrático do maracujá também não. Pela leitura do gráfico pode-se chegar a uma eficiência maior de 70% de remoção de turbidez, quando ocorre o uso do quiabo nos pontos centrais (2,5 ppm). Deve-se lembrar que estes casos ainda levam em consideração o uso da chia no ponto central (110 ppm).

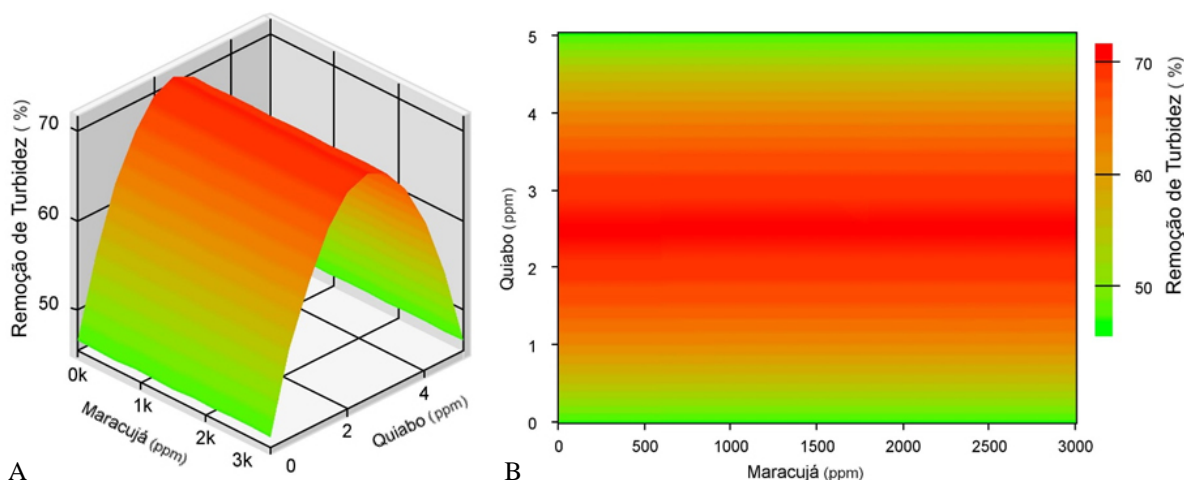


Figura 7: A: Gráfico de superfície - B: Curvas de contorno para maracujá e quiabo para remoção de turbidez

O formato de sela se deve ao fato de que nem o fator linear nem o fator quadrático da variável concentração de maracujá apresentaram significância, estando estas duas excluídas do modelo de geração da curva. Em resumo pode-se afirmar que a concentração da solução de maracujá não exerce influência significativa para com a resposta de remoção de turbidez (%) quando a concentração de quiabo varia de 0 a 5 e fixa-se a concentração da solução coagulante de chia em um valor de 110 ppm.

O deslocamento da faixa de utilização do maracujá poderia elevar a significância do fator para com a equação, suprimindo o resultado não esperado. Gerando uma equação que levaria em consideração também o fator concentração de maracujá, quadrático ou não.

COMPARAÇÃO DO DESEMPENHO DOS PLANEJAMENTOS

A comparação do desempenho dos planejamentos (tabela 16) será feita de uma maneira geral e não ensaio a ensaio por que o que interessa na realidade é a eficiência de remoção dos poluentes do melhor ensaio, que pode ser utilizado em instalações industriais.

Tabela 16: Comparação entre a eficiência de remoção de poluentes (%)

Ensaio	Planejamento 1			Planejamento 2		
	Turbidez	Cor	DQO	Turbidez	Cor	DQO
1	12	16	51	62	28	37
2	16	24	34	31	29	34
3	23	29	37	44	29	39
4	27	18	34	72	35	46
5	22	7	50	55	27	65
6	12	16	34	47	35	63
7	24	21	69	39	29	53
8	35	35	4	46	34	64
9	32	29	60	44	27	58
10	17	26	52	40	29	62
11	15	40	66	87	34	56
12	35	47	15	45	33	59
13	20	22	32	57	35	60
14	22	30	46	41	31	60
15	24	29	70	77	28	61
16	22	27	80	75	32	58
17	23	26	77	72	28	50

Através da comparação pode-se perceber que o segundo planejamento, que utilizou uma substância coagulante a base de chia, apresentou melhores eficiências de remoção de turbidez (87% no ensaio 11), porém a remoção da DQO foi maior para ensaios que utilizaram o extrato de MO como solução coagulante (80% para o ensaio 16) e remoção da cor (47%, ensaio 12).

Na tabela 17 tem-se alguns resultados de bibliografia, após a tabela os estudos e seus pormenores estão mais explorados.

Tabela 17 - Resumo das obras estudadas, autor, tipo de efluente, coagulantes e parâmetros

Autor (ano)	Tipo de efluente	Coagulante utilizado	Parâmetros estudados	Eficiência de remoção (%)
Vaz et al. (2010)	Galvanoplastia	MO	Cor Turbidez	90,3 92,9
Valverde et al. 2013	Água bruta	MO	Cor	85
Schmitt (2011)	Laticínio	MO	Cor aparente DQO	99,9 98,5
Lo Monaco et al. (2010)	Água de abastecimento público	MO	Turbidez	98
	Suinocultura	MO	Turbidez	NC ^(a)
Souza e Lima (1995)	Água bruta	Coagulante auxiliado por Quiabo	Turbidez	60
Santos et al. (2009)	Efluente sintético	Sulfato de alumínio	Turbidez	98
			DQO	64,8
			OG	95,2

Observação:

^(a)NC – Não contribuiu

Os resultados dos ensaios com MO apresentaram-se bem abaixo do que expostos por Vaz et al. (2010) que demonstrou resultados de remoção de cor e turbidez de 90,30% e 92,90% respectivamente, utilizando como coagulante solução de MO, com concentração de 200 ppm e tempo de sedimentação de 20 min, para efluente de galvanoplastia que apresentou bruto uma média de 1.537 de cor (PtCo.L⁻¹) e cerca de 248 de turbidez.

Valverde et al. (2013) apresentou remoções de cerca de 85% de cor em água bruta utilizando moringa oleífera como substância coagulantes, porém para tal estudo foi utilizada solução 1% integral (salina). Utilizando para tal 400 mL de água bruta, com velocidades de rotação de 100 rpm por 3 min 15 rpm por 15 minutos e 60 minutos de decantação. Para tal estudos também foram utilizadas soluções 1% desengordurada (salina) e pó integral.

Para efluentes provenientes de indústria de laticínios Schmitt (2011) apresentou remoção de 99,9% de cor aparente e 98,5% de DQO utilizando solução coagulante a base de MO. Para tal foram combinadas as técnicas de coagulação/floculação/sedimentação de 60 min com 1.500 ppm de coagulante de MO extraído com solução KCl 1,0 Molar, combinada com a técnica de ultrafiltração com pressão de 2 bar.

Lo Monaco et al. (2010) apresentaram, utilizando extratos de MO, uma remoção de 98% de turbidez para água de abastecimento público com um tempo de sedimentação de duas horas, com uma concentração de 0,4 g.L⁻¹. No mesmo estudo foi concluído que a utilização de sementes de MO não contribuiu para a remoção de turbidez para o efluente de suinocultura.

Nogueira et al. (2010) estudou a remoção da turbidez em água residuária bruta proveniente de efluente doméstico e industrial e constatou que a utilização da MO como coagulante e do quiabo como auxiliar de

floculação apresentou melhores resultados do que quando utilizada sem o auxiliar. Tal qual não pode ser afirmado no estudo.

Estudos de Souza e Lima (1995) apresentaram a possibilidade de redução de 32% de coagulante primário com a utilização de quiabo para a remoção de turbidez de água bruta, chegando a uma remoção de 60% de turbidez da água decantada. Bem como pôde ser verificado no trabalho, a utilização de quiabo como auxiliar de flocculação para a solução coagulante a base de chia proporcionou remoções de turbidez mais altas em valores de concentração de solução coagulante menor do que percentuais sem a utilização do quiabo nestes mesmos valores, com valores ótimos na faixa de 2,5 ppm.

Silva e Moraes (2013) utilizaram soluções de quiabo preparadas a partir da secagem e trituração do quiabo e dissolução de 1 grama para 100 ml, concluindo que, em primeira análise, o quiabo pode ser utilizado como solução coagulante, obtendo bons resultados para clarificação de água bruta.

Lima (2007) conclui que a utilização de quiabo como auxiliar de flocculação, para tratamento de água, melhorou significativamente a qualidade das águas decantadas.

Santos et al. (2009) chegaram a reduções de 98% de turbidez, 64,8% de DQO e 95,2% de óleos e graxas utilizando para tanto uma solução coagulante de sulfato de alumínio em um efluente sintético preparado com adição de leite em pó em água (0,1% m/v). Com um tempo de sedimentação de uma hora. Eficiência bem mais alta que a apresentada no estudo para a redução de turbidez, porém com menor eficiência para a redução de DQO, quando comparada com o planejamento número 1 (que utilizou MO como coagulante), que chegou a 80%. Deve-se levar em consideração o tempo de sedimentação que foi o dobro do estudo neste trabalho.

CONCLUSÕES

Através deste estudo pode-se concluir que existe a viabilidade técnica para a utilização dos coagulantes e dos auxiliares de flocculação testados, devendo o operador escolher os coagulantes e as faixas de concentração que mais se adaptam a necessidade do utilizador, ou, se necessário, utilizar as equações estabelecidas no estudo para os cálculos de remoção.

Para o efluente em questão os percentuais de remoção são atrativos, uma vez que não existe a necessidade do atendimento de padrões de legislação, pois o efluente é disposto no solo. Estudos mais aprofundados devem ser feitos na área em que o efluente será despejado, pois o mesmo não deve degradar as características físico-químicas e biológicas do ambiente em questão.

O efluente foi caracterizado com altos valores de DQO (2.561 mg.L⁻¹) Cor (4.100 Unid. Pt-Co) e ST (3.312 mg.L⁻¹), com pH de 8,2 e turbidez de 239 NTU, estando dentro dos valores pré-estabelecidos em bibliografia. Estes valores poderiam ser abrandados se antes do pós-tratamento houvesse uma lagoa de decantação para a decantação das partículas passíveis de tal. A operação de decantação sem a utilização de coagulantes já possibilita a diminuição de vários parâmetros estudados.

Através do teste do pH ótimo pode-se concluir que não é necessária a mudança do pH para a utilização dos coagulantes testados, deve-se apenas atentar para o fato de que é mais interessante utilizar as substâncias desenvolvidas no trabalho para efluentes que possuam pH maior que 6. Bem como pode ser visto em bibliografia.

Os valores ótimos para o quiabo como auxiliar de flocculação, utilizando chia como solução coagulante a 110ppm e um terceiro agente, no caso o maracujá, variou entre 2 e 3, tendo seu pico ótimo em 2,5ppm, chegando a mais de 70% de remoção de turbidez. Demonstrando a importância de sua otimização, variando de cerca de 50% de remoção de turbidez em 0ppm e 5ppm para o percentual explicitado acima. Conclui-se, portanto, que a otimização da concentração de uso é tão importante quanto sua utilização.

Para o maracujá utilizado como auxiliar de floculação, com a ação conjunta do quiabo a 2,5ppm e da chia como solução coagulante, a faixa ótima está intimamente relacionada com a concentração da solução coagulante, apresentando valores de remoção de turbidez de até 75%.

Para a chia a faixa ótima de utilização quando fixou-se o maracujá a 1.500ppm e o quiabo a 2,5ppm foi de 110ppm, chegando a valores maiores de 60% de remoção de turbidez.

Pode-se concluir também que o desempenho das soluções coagulantes a base de chia possuíram melhores resultados quando comparados com a utilização da MO apenas para remoção de turbidez, ficando atrás para a remoção da DQO e da cor.

Os ensaios de coagulação do primeiro planejamento confirmam a possibilidade do uso da MO para a coagulação, porém deve-se, em um trabalho posterior, aumentar as faixas de estudo. Tais ensaios levam a concluir também que a utilização da MO como coagulante e do quiabo e do maracujá como auxiliares de coagulação removem eficientemente a DQO do efluente.

Como sugestão para trabalhos futuros pode-se aumentar as faixas de estudo para o coagulante a base de MO, otimizar os processos de produção das soluções coagulantes e floculantes, como a chia, e o maracujá, e além disso utilizar o processo de flotação para a retirada do lodo formado pela adição de chia, uma vez que puderam ser observados coágulos que acabaram flotando nos ensaios com tal coagulante.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. Associação brasileira de normas técnicas. NBR 9898/1987 - Preservação e técnicas de amostragem de afluente líquidos e corpos receptores - Procedimento. Rio de Janeiro – RJ. 1987.
2. ALVES, P. S.; DOS SANTOS, E. R.; SANTANA, A. L.; CARVALHO, L. O. Avaliação da eficiência do uso de cascas de batata, de mandioca e de maracujá como coagulantes no tratamento de esgoto da ETE Recanto das emas – DF. V Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental. Belo horizonte – MG. 2014.
3. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA; AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION – AWWA; WATER ENVIROMENT FEDERATION – WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. 22 ed., Washington, DC: APHA, 2012.
4. ASSIS, G. B. R.; SILVA, E. M. S.; SILVA, A. C. Ensaio de desidratação do quiabo (*Abelmoschus Esculentus*) para uso como floculante. 63ª Reunião Anual da SBPC. UFG. Goiânia – GO. 2011.
5. BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente, CONAMA. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. 2011
6. CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (CEMA). Resolução nº 70/2009. 2009
7. FERREIRA, R. P. Uso de coagulantes naturais como pré-tratamento de efluente de laticínio. Trabalho de Conclusão de Curso – Escola de Engenharia de Lorena, Universidade de São Paulo, São Paulo. 2012
8. LIED, E. B. Tratamento de efluente industrial de fecularia utilizando macrófita aquática *Eichhornia crassipes* e coagulante natural. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química, área de concentração em Monitoramento e Controle Ambiental) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo – PR. 2012.
9. LIMA, G. J. A. Uso de polímero natural do quiabo como auxiliar de floculação e filtração em tratamento de água e esgoto. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental, área de concentração em Saneamento Ambiental - Controle da poluição Urbana e Industrial) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro – RJ. 2007.
10. LO MONACO, P. A. V. MATOS, A. T. RIBEIRO, I. C. A. NASCIMENTO, F. S. SARMENTO, A. P. Utilização de extrato de sementes de moringa como agente coagulante no tratamento de água para abastecimento e águas residuária. Ambi-Agua. Taubaté – SP. 2010.
11. MORUZZI, R. B. NAKADA, L. Y. K. Coleta e tratamento de água pluvial para fins não potáveis com emprego de amido de milho como coagulante primário em filtração cíclica em escala de laboratório. REA - Revista de Estudos Ambientais. Rio Claro - SP. Volume 11, número 1, 2009.
12. MURAKAMI, M. F. Avaliação do desempenho de uma unidade em escala real para tratamento de água pluvial empregando a filtração rápida por meio de filtro de pressão e amido natural de milho como coagulante primário. Dissertação (Mestrado em Engenharia Urbana) - Universidade Federal de São Carlo. São Carlos – SP. 2011.

13. NOGUEIRA, F. C. B. NETO, F. R. C. ZAMPERO, R. SABINO, P. H. Sementes de Moringa Oleifera e extrato de quiabo no tratamento de efluentes urbanos e industriais. II Encontro Nacional de Moringa. Aracaju – SE. 2010.
14. RANGEL, M. S. Um purificador natural de água e complemento alimentar para o nordeste do Brasil. 2009
15. SANTOS, A. M.; SILVA, S. R.; CARVALHO, S. H. V.; SOLETTI, J. I. Tratamento de efluentes lácteos através de coagulação química e sedimentação. VIII Congresso Brasileiro de Engenharia Química em Iniciação Científica. Uberlândia, MG. 2009
16. SCHMITT, D. M. F Tratamento de águas residuárias da indústria de Laticínios pelos processos combinados coagulação/floculação/ adsorção/ ultrafiltração utilizando semente de moringa oleifera como coagulante. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química, área de concentração em Desenvolvimento de Processos) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo – PR. 2011
17. SILVA, E. S. MORAES, V. O uso de coagulantes orgânicos no tratamento de água como forma de gerar conhecimento na área de química. Encontro de Pós Graduação e Iniciação Científica – EPG INIC. Universidade Camilo Castelo Branco (UNICASTELO). 2013
18. SOLANA, I. Estudo da viabilidade de utilização de um polímero de base orgânica em substituição ao cloreto férrico no tratamento de efluente industrial. Trabalho de Conclusão de Curso – Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Medianeira. 2014
19. SOUZA, J. F. LIMA, G. M. A. Uso do Quiabo como Auxiliar de Floculação. 1995
20. VALVERDE, K. C; COLDEBELLA, P. F.; FAGUNDES-KLEN, M. R.; VIEIRA, A. M. S.; BONGIOVANI, M. C.; BAPTISTA, A. T. A. NISHI, L.; CAMACHO, F. P.; MORETI, L. O. R.; SANTOS, T. R. T.; SANTOS, O. A. A. BARGAMASCO, R. Comparação entre formas de preparação do coagulante Moringa oleifera lam para utilização no tratamento de água. XX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos. Bento Gonçalves – RS. Novembro de 2013
21. VAZ, L. G. L. Performance do processo de coagulação/floculação no tratamento do efluente líquido gerado na galvanoplastia. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química, área de concentração em Desenvolvimento de processos) - Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Toledo – PR. 2009.