

Aplicação do planejamento experimental Plackett & Burman para avaliação do processo de coagulação-floculação em efluente de fecularia

Jordana Dorca dos Santos¹ (Universidade Estadual do Oeste do Paraná) jordanadorca@gmail.com
Marcia T. Veit² (Universidade Estadual do Oeste do Paraná) marcia_veit@yahoo.com.br
Salah D. M. Hasan³ (Universidade Estadual do Oeste do Paraná) salahdmh@gmail.com
Gilberto da Cunha Gonçalves⁴ (Universidade Tecnológica Federal do Paraná) cunha@utfpr.edu.br
Marcia R. Fagundes-Klen⁵ (Universidade Estadual do Oeste do Paraná) fklen@bol.com.br

Resumo:

Esta pesquisa teve como objetivo selecionar principais variáveis que influenciam o processo de coagulação-floculação para o tratamento do efluente de fecularia, utilizando três diferentes coagulantes através do delineamento experimental de Plackett-Burman sendo dois coagulantes, um natural (Tanfloc POP), um químico (sulfato de alumínio) e também um floculante catiônico a base de poliacrilamida. Estudou-se a influência de sete variáveis: tempos e velocidades de mistura rápida e lenta, pH e concentração do coagulante, para as respostas cor e turbidez. Observou-se que o coagulante natural Tanfloc POP apresentou maiores reduções de turbidez e cor seguido do floculante e o coagulante sulfato de alumínio. Verificou-se que as variáveis que influenciaram significativamente as respostas foram: para o coagulante natural a concentração do coagulante, para o sulfato de alumínio o pH, velocidade de mistura lenta e também a concentração do coagulante, e para o floculante o pH e a concentração do floculante. Assim, foram selecionadas apenas as variáveis significativas no processo de coagulação-floculação para a realização posterior da etapa de otimização do tratamento, envolvendo planejamentos compostos centrais.

Palavras-chave: Planejamento Experimental, Coagulação, Efluente de fecularia.

Application of Plackett & Burman experimental design for evaluation of coagulation flocculation process in industrial cassava wastewater

Abstract

This study aimed to select principal variables that influence the coagulation-flocculation process for the treatment of starch manufacturer effluent, using three different coagulants through the experimental design of Plackett-Burman and two coagulants, a natural (Tanfloc POP), a chemical (aluminum sulphate) and also a cationic polyacrylamide flocculant base. It was studied the influence of seven variables: time and fast and slow speed mixing, pH and concentration of the coagulant for the color and turbidity responses. It has been observed that natural coagulant Tanfloc POP presented higher turbidity and color reductions followed by the flocculant and coagulant of aluminum sulfate. It was found that the variables that significantly influences the responses were for the natural coagulation concentration of the coagulant to the aluminum sulfate pH, slow mixing speed and also the concentration of coagulant and flocculant pH and concentration flocculant. Therefore, only the significant variables were selected in the coagulation-flocculation process for a subsequent optimization step treatment, involving central planning compounds.

Key-words: Experimental design, Coagulation, Cassava wastewater.

1. Introdução

O estado do Paraná destacou-se por ser o maior produtor de amido de mandioca no ano de 2014, com produção de 450,14 mil toneladas de fécula representando 69,8% do total nacional, sendo que o extremo-oeste paranaense foi responsável por 18,7% da produção na safra deste mesmo ano (CEPEA, 2015; SEAB-DERAL, 2014).

A fécula de mandioca é o produto amiláceo extraído da mandioca, a qual tem seu processo produtivo genericamente representado pelas etapas de lavagem e descascamento das raízes, ralação, prensagem para separação do leite de amido, esfarelamento da massa, peneiramento, torração, peneiramento (opcional), acondicionamento, e armazenagem (MATSURA *et al.*, 2003).

Para a produção de 250 kg de fécula é consumida uma tonelada de mandioca. Este processo consome em torno de 2500 litros de água durante a lavagem das raízes, e ainda gera 660 litros de água vegetal proveniente do processamento da mandioca que é reutilizada na lavagem (KUCZMAN, 2007). Quando lançada no meio ambiente, a manipueira ou água vegetal podem causar problemas sérios de poluição, devido a sua elevada carga orgânica, além de apresentar um composto que pode gerar cianeto tóxico para a maioria dos seres de respiração aeróbia (MENEGETTI & DOMINGUES, 2008).

O processo de coagulação-floculação é a técnica mais utilizada para pré-tratamento de águas brutas e efluentes industriais. Nesse processo são utilizados coagulantes para desestabilizar uma dada solução de suspensão para a aglomeração de partículas, enquanto floculantes são utilizados para acelerar a taxa de floculação ou reforçar os flocos formados (BRATBY, 2006). A coagulação/floculação, tem por objetivo a remoção de substâncias coloidais, material sólido em suspensão e/ou dissolvido. Este tipo de tratamento é considerado um pré-tratamento que visa o condicionamento do despejo para o tratamento seguinte (VAZ *et al.*, 2010).

Segundo Calado & Montgomery (2003), o planejamento experimental é uma técnica estatística que vem sendo usada em grande escala, e que permite aos pesquisadores determinar as variáveis que exercem maior influência no desempenho de um determinado processo, e apresenta como vantagens a redução do tempo do processo e custo operacional.

Para vários pesquisadores (OLIVIEIRI & MAGALLANES *et al.*, 2012; CELA, 2009; BOX & HUNTER, 1978), quando o número de fatores que potencialmente influenciam determinada resposta é grande, é aconselhável realizar um estudo de triagem antes da fase de otimização, para detectar causas e fatores. Assim, para fins de seleção de variáveis é possível utilizar o planejamento de Plackett-Burman (1846).

O planejamento de Plackett & Burman (PB) é um dos métodos estatísticos mais importantes e têm sido amplamente utilizados como o delineamento experimental, e baseia-se na matriz de Hadamard pelo qual este método foi criado (AZIZI *et al.*, 2014). O objetivo desta pesquisa foi selecionar os principais fatores que influenciam o processo de coagulação-floculação da manipueira, testando três diferentes coagulantes diferentes, através do delineamento de Plackett & Burman.

2. Materiais e Métodos

2.1 Coleta do Efluente

O efluente utilizado nos experimentos foi cedido por uma indústria processadora de mandioca localizada no oeste do Estado do Paraná. As coletas do efluente foram realizadas de acordo

com o guia nacional de coletas e preservação de amostras das agências CETESB/ANA (2011), e armazenadas em galões de polipropileno de 50 litros em temperatura de 4°C.

O efluente coletado foi submetido a ensaios de caracterização, sendo os procedimentos analíticos realizados em duplicata conforme metodologias do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1998). Os parâmetros físico-químicos analisados foram cor aparente, DBO, íon cianeto, turbidez, pH e sólidos totais.

2.2 Planejamento Saturado de Plackett & Burman

Para identificar as variáveis mais significativas no processo de coagulação/floculação do efluente de feculária estudado, foi utilizado um planejamento experimental saturado de Plackett & Burman (PB12), composto de 12 ensaios com quatro repetições no ponto central (0) e dois níveis (-1 e +1). Este tratamento estatístico foi aplicado ao efluente de feculária utilizando: um coagulante natural Tanfloc POP de caráter catiônico Tanac S.A (Tanfloc POP), extraído da casca da Acácia negra (*Acácia mearnsii de wild*) com pH de operação na faixa de 4,5 a 8 (HEREDIA *et al.*, 2011), um coagulante inorgânico sulfato de alumínio ($\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{H}_2\text{O}$ P.A da Cinética Química), com pH de operação entre 5,5 e 8 (FERNANDES *et al.*, 2010) e um floculante, co-polímero de acrilamida ZETAG® 8185 (BASF), com pH de operação entre 4 e 9 (BASF, 2013).

Em todos os ensaios foi utilizado um volume de 500 mL de amostra de efluente e um tempo de sedimentação de 15 minutos. No planejamento, os níveis para o parâmetro pH variaram de 4,5 a 6,5 a fim de contemplar a faixa de operação do coagulante natural e do co-polímero, segundo informações das empresas fornecedoras. Também o efluente natural apresenta valor de pH em torno da faixa avaliada, o que requer menores custos para o ajuste deste parâmetro.

As concentrações do coagulante empregadas no planejamento experimental foram baseadas em ensaios preliminares.

As variáveis, velocidade de mistura rápida e lenta, e tempo de mistura rápida e lenta utilizados no planejamento foram estabelecidos com base na literatura (HEREDIA & MARTIN, 2009; DONG *et al.*, 2014; GUIDA *et al.*, 2007). Na Tabela 1 são apresentadas as faixas de valores reais e codificados utilizados nos ensaios e na Tabela 2 a matriz do planejamento experimental (PB 12).

Código	Variável	Nível		
		-1	0	1
X ₁	Concentração do Coagulante (mg L ⁻¹)	0	30	60
X ₂	Velocidade de Mistura Rápida (rpm)	120	150	180
X ₃	Velocidade de Mistura Lenta (rpm)	10	20	30
X ₄	pH	4,5	5,5	6,5
X ₅	Tempo de Mistura Lenta (min)	10	15	20
X ₆	Tempo de Mistura Rápida (min)	1	3	5
*X ₇	Concentração de Co-polímero (mg L ⁻¹)	0	2	3,3

*Associado ao coagulante inorgânico e ao natural.

Tabela 1– Faixas de valores reais e codificados utilizados no planejamento (PB 12)

O co-polímero foi adicionado ao efluente após o tempo de mistura rápida conforme KIM *et al.* (2014), sendo o sobrenadante (30 mL) coletado após o tempo de sedimentação (15 minutos) e quantificado a redução dos parâmetros cor e turbidez (variáveis resposta). Todos

os experimentos foram realizados em temperatura ambiente $\pm 25^{\circ}\text{C}$, e o pH ajustado utilizando solução de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ (Vetec).

Ensaio	X ₁	X ₂	X ₃	X ₄	X ₅	X ₆	X ₇
1	1	-1	1	-1	-1	-1	1
2	1	1	-1	1	-1	-1	-1
3	-1	1	1	-1	1	-1	-1
4	1	-1	1	1	-1	1	-1
5	1	1	-1	1	1	-1	1
6	1	1	1	-1	1	1	-1
7	-1	1	1	1	-1	1	1
8	-1	-1	1	1	1	-1	1
9	-1	-1	-1	1	1	1	-1
10	1	-1	-1	-1	1	1	1
11	-1	1	-1	-1	-1	1	1
12	-1	-1	-1	-1	-1	-1	-1
13	0	0	0	0	0	0	0
14	0	0	0	0	0	0	0
15	0	0	0	0	0	0	0
16	0	0	0	0	0	0	0

Tabela 2 – Matriz do Planejamento Saturado de Plackett & Burman (PB 12)

3. Resultados e Discussão

3.1 Caracterização do Efluente

A indústria de fecularia estudada processa 140 ton/dia de mandioca, dentre elas as culturas fécula branca, baianinha, olho junto e IAC 90, gerando em torno de 320 m³/dia de águas residuárias proveniente das etapas de lavagem e descascamento das raízes, e das águas de extração do amido. Os valores médios dos parâmetros físico-químicos caracterizados para o efluente coletado são apresentados na Tabela 3.

Parâmetro	Valores	Unidade	Limites CONAMA 430/11
Cor aparente	11675 $\pm$ 17,67	uH= mg Pt-Co L ⁻¹	
DBO	1000,2 $\pm$ 0,14	(mg O ₂ L ⁻¹)	120 mg L ⁻¹
Ion Cianeto	1,3 $\pm$ 0,02	(mg L ⁻¹)	0,2 mg L ⁻¹ CN
pH	7,1 $\pm$ 0,01		5 a 9
Turbidez	2939,0 $\pm$ 8,49	(NTU)	-

Tabela 3 – Parâmetros físico-químicos e métodos analíticos

Os valores de cor e turbidez apresentaram-se elevados, em função dos particulados originados de resíduos de mandioca e terra aderida as raízes que se desprendem principalmente durante a lavagem e higienização da mandioca no processo.

O pH do efluente apresentou valor próximo a neutralidade (7,1), justificado pela coleta das amostras ter sido realizada em uma calha antes do despejo na lagoa. Nos trabalhos de NASU (2008) e SCHELMMER (2013), as amostras também foram coletadas antes do lançamento e apresentaram pH de 6,6 e 6,7, valores que se enquadram na faixa de lançamento de efluente previsto (5 a 9) na Resolução 430/11 do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), enquanto a DBO e o cianeto livre apresentaram-se muito acima do limite estabelecido pela legislação. Estes resultados demonstram a necessidade de um adequado tratamento deste tipo de efluente para posterior despejo.

3.2 Planejamento saturado de Plackett Burman (PB)

Nos ensaios foram avaliados os coagulantes Tanfloc POP e Sulfato de Alumínio, bem como o controle (efluente) sem a adição de coagulante/floculante, de modo a analisá-lo dentro do planejamento experimental, comprovando a efetiva eficiência do coagulante no processo de coagulação/floculação.

Assim, para o caso da coagulação/floculação do efluente de fecularia foram testadas sete variáveis: concentração de coagulante natural (Coag.), Velocidade de Mistura Rápida (VMR), Velocidade de Mistura Lenta (VML), pH, Tempo de Mistura Lenta (TML), Tempo de Mistura Rápida (TMR) e concentração do co-polímero Zetag®8185 para as variáveis respostas, os valores obtidos de cor e turbidez ao término do experimento. Foi utilizado o planejamento de Plackett-Burman para 12 ensaios e 4 repetições no ponto central, (Tabela 2). Além disso, foi feita uma quadruplicata no ponto central (0) para a estimativa do erro padrão, conforme se pode observar na Tabela 4.

Ensaio	Coag.	VMR	VML	PH	TML	TMR	Zetag	POP		Al ₂ SO ₄	
								Turb.	Cor	Turb.	Cor
1	60	120	30	4,5	10	1	1	93	1580	231	2040
2	60	180	10	6,5	10	1	0	21	510	374	3200
3	0	180	30	4,5	20	1	0	96	1450	285	2510
4	60	120	30	6,5	10	5	0	37	510	539	3550
5	60	180	10	6,5	20	1	1	28	650	535	3830
6	60	180	30	4,5	20	5	0	173	1650	340	2700
7	0	180	30	6,5	10	5	1	640	4210	811	4650
8	0	120	30	6,5	20	1	1	482	3180	815	4673
9	0	120	10	6,5	20	5	0	512	4110	583	3927
10	60	120	10	4,5	20	5	1	89	1310	127	1550
11	0	180	10	4,5	10	5	1	177	1590	118	1370
12	0	120	10	4,5	10	1	0	139	1540	213	2410
13	30	150	20	5,5	15	3	1,2	26	450	496	3480
14	30	150	20	5,5	15	3	1,2	25	410	456	3080
15	30	150	20	5,5	15	3	1,2	17	390	418	3000
16	30	150	20	5,5	15	3	1,2	15	370	428	3060

Tabela 4 – Matriz dos resultados finais de turbidez e cor utilizando o coagulante Tanfloc Pop e Sulfato de Alumínio no planejamento PB12

Nestes ensaios os valores iniciais de turbidez e cor aparente do efluente foram de 1887 NTU e 7175 mg Pt-Co L⁻¹, valores em torno de 40% menores em relação aos obtidos na caracterização, atribuída provavelmente a degradação natural do efluente.

Os resultados apresentados na Tabela 4 demonstram que o coagulante natural Tanfloc POP apresentou o melhor resultado de redução de cor e turbidez nas condições do ensaio 2, sem a presença do co-polímero Zetag® e com concentração de coagulante de 60 mg L⁻¹, pH de 6,5, VMR e VML de 180 e 10 rpm, respectivamente, e TMR e TML de 10 e 1 minutos, respectivamente.

Observa-se também que para a concentração 60 mg L⁻¹ de coagulante, os ensaios 1, 6 e 10 em que o pH era de 4,5 ocorreram resultados inferiores para cor e turbidez comparados aos ensaios utilizando coagulante natural e pH 6,5.

A combinação do floculante catiônico Zetag® 8185 com o coagulante natural nos ensaios 13 a 16 (quadruplicata no ponto central) mostrou-se eficiente na redução dos parâmetros turbidez e cor. No experimento 5 foi avaliada esta interação nas condições de maior concentração para o coagulante POP (60 mg L⁻¹), e do floculante, os resultados obtidos demonstram que a combinação destes pode ser promissora para o pré-tratamento do efluente de fecularia.

O melhor resultado utilizando apenas o sulfato de alumínio como agente coagulante ocorreu no ensaio 6 nas condições, concentração de coagulante 60 mg L⁻¹, pH de 4,5, VMR e VML de 180 e 30 rpm, TMR e TML de 20 e 5 minutos, respectivamente.

Comparando-se os resultados do sulfato de alumínio (Al₂SO₄) com o coagulante natural, verifica-se que o Al₂SO₄ mesmo combinado com o floculante Zetag® nos ensaios 1, 5 e 13 a 16 não alcançaram a mesma eficiência de remoção para cor e turbidez quando da utilização do coagulante a base de tanino.

Na análise dos gráficos de Pareto para os coagulantes POP e Al₂SO₄ apresentadas nas Figuras 1 e 2, respectivamente, observou-se quais variáveis possuem efeito significativo sobre as respostas cor e turbidez em um nível de significância de 5% ($\alpha = 0,05$). São consideradas significativas as variáveis que ultrapassam a direita da linha tracejada.

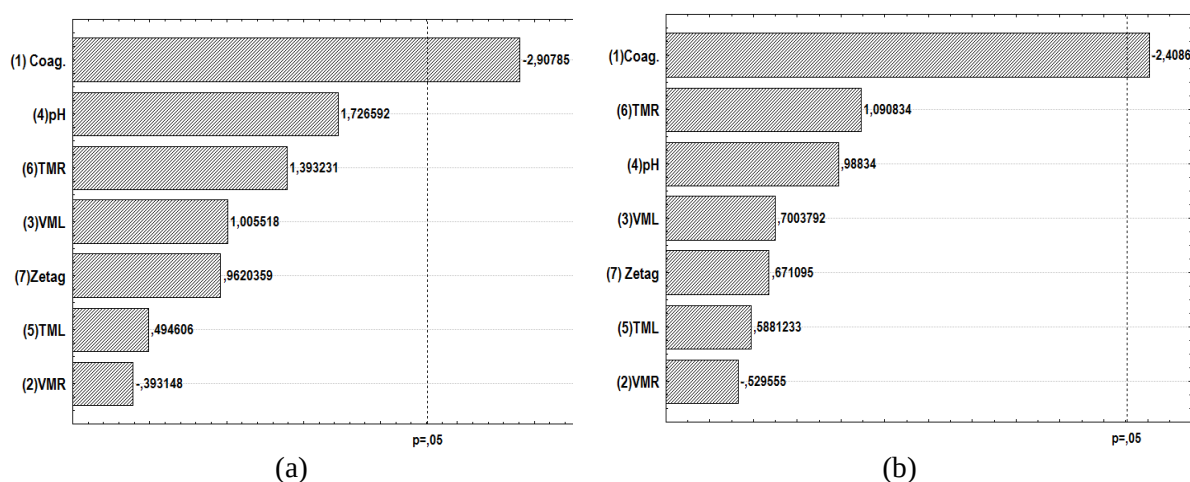


Figura 1 – Gráficos de Pareto do coagulante Tanfloc POP para (a) turbidez; (b) cor, para um nível de significância de 5%

Verifica-se que a variável concentração do coagulante/floculante influencia negativamente (sinal negativo) o valor final obtido de cor e turbidez. Estatisticamente, isso indica que para aumentar o valor final de cor e turbidez dever-se-ia diminuir a concentração do coagulante. Entretanto, como o objetivo é reduzir os valores finais de cor e turbidez deve-se, portanto, nos próximos ensaios, aumentar a concentração do coagulante. Essa análise oposta se deve ao fato

de terem sido usados os valores numéricos obtidos de cor e turbidez no final do processo e não a porcentagem de remoção.

Por outro lado, as variáveis pH e tempo de mistura rápida (TMR) não foram estatisticamente significativas, e com sinal positivo, considerando-se a análise oposta mencionada anteriormente, influenciaram negativamente as variáveis respostas, indicando que deve-se diminuir o pH e o TMR para obter um menor valor de cor e turbidez. No estudo da otimização das variáveis para o Tanfloc será considerado apenas a concentração do coagulante e o pH.

Para o sulfato de alumínio, através dos gráficos apresentados na Figura 2, a partir da análise oposta, as variáveis pH, velocidade de mistura lenta (VML) demonstraram influência negativa sobre as respostas cor e turbidez à medida que a concentração de coagulante de sulfato de alumínio apresentou influência positiva. Ou seja, deve-se diminuir as variáveis pH e VML e aumentar a faixa de concentração do coagulante nos próximos ensaios com o intuito de se obter menores valores finais de cor e turbidez.

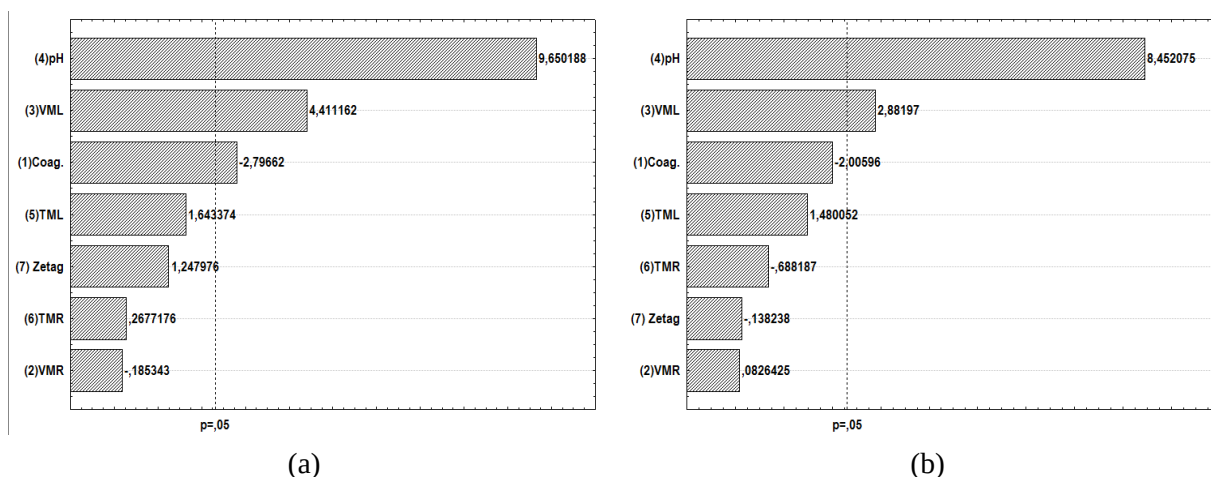


Figura 2 – Gráficos de Pareto para o coagulante sulfato de alumínio para (a) turbidez; (b) cor, para um nível de significância de 5%

Vaz *et al.* (2009) utilizaram o planejamento PB para seleção de variáveis no tratamento de efluente de galvanoplastia empregando o coagulante sulfato de alumínio (inorgânico) em dosagens de 40, 45 e 50 mg L⁻¹, obtendo a melhor remoção de cor (88,64 %) e turbidez (90,87 %) nas condições de 50 mg L⁻¹ de concentração de coagulante (C), velocidade de mistura rápida (VMR) e lenta (VML) de 120 e 20 rpm, respectivamente, tempo de mistura rápida (TMR) e lenta (TML) de 3 e 20 minutos, respectivamente.

Na Tabela 5 é apresentada a matriz com os resultados finais de turbidez e cor obtida nos ensaios realizados utilizando o floculante (co-polímero Zetag®8185), sendo feita também uma quadruplicata no ponto central (0) para a estimativa do erro padrão.

Ensaio	Coagulante	VMR	VML	pH	TML	TMR	Turbidez	Cor
1	60	120	30	4,5	10	1	27	400
2	60	180	10	6,5	10	1	29	765
3	0	180	30	4,5	20	1	304	2190
4	60	120	30	6,5	10	5	26	730
5	60	180	10	6,5	20	1	18	780

6	60	180	30	4,5	20	5	23	410
7	0	180	30	6,5	10	5	662	2470
8	0	120	30	6,5	20	1	542	4870
9	0	120	10	6,5	20	5	437	3990
10	60	120	10	4,5	20	5	20	380
Ensaio	Coagulante	VMR	VML	pH	TML	TMR	Turbidez	Cor
11	0	180	10	4,5	10	5	211	2200
12	0	120	10	4,5	10	1	208	2130
13	30	150	20	5,5	15	3	58	800
14	30	150	20	5,5	15	3	55	838
15	30	150	20	5,5	15	3	54	880
16	30	150	20	5,5	15	3	64	1040

Tabela 5 – Matriz dos resultados finais de turbidez e cor utilizando o co-polímero Zetag®8185 no planejamento PB12

O resultado mais satisfatório para a redução de turbidez ocorreu no ensaio 5 utilizando, concentração de 60 mg L⁻¹, pH de 6,5, VMR e VML de 120 e 30 rpm, TMR e TML de 20 e 1 minutos, respectivamente. O melhor resultado para a variável resposta cor ocorreu nos ensaios 1 e 10 comprovando a influência do pH em que, para este estudo ao diminuir-se o pH, maior será a redução da cor aparente (Figura 3-b). Observou-se também nos pontos centrais ensaios 13 a 16 (concentração de 30 mg L⁻¹) que a presença do floculante nos ensaios de coagulação tem forte influência sobre a redução de cor aparente e turbidez, quando comparado aos ensaios (7 a 9) sem a presença do floculante. Nos ensaios 3, 11 e 12 em que não houve adição de coagulantes, os valores de turbidez foram menores do que os ensaios também sem floculante em pH 6,5 demonstrando a influência do pH no processo de coagulação.

Nos gráficos de Pareto apresentados na Figura 3 é possível analisar as variáveis que influenciaram as respostas cor e turbidez em um nível de significância de 5% para o floculante Zetag®. Os resultados demonstraram que a concentração de coagulante apresentou maior influência positiva sobre as variáveis respostas cor e turbidez, enquanto o pH possui influência negativa sobre as respostas. Pressupõe-se que ao diminuir o pH e aumentar a faixa de concentração do coagulante pode-se obter um menor valor para as variáveis respostas.

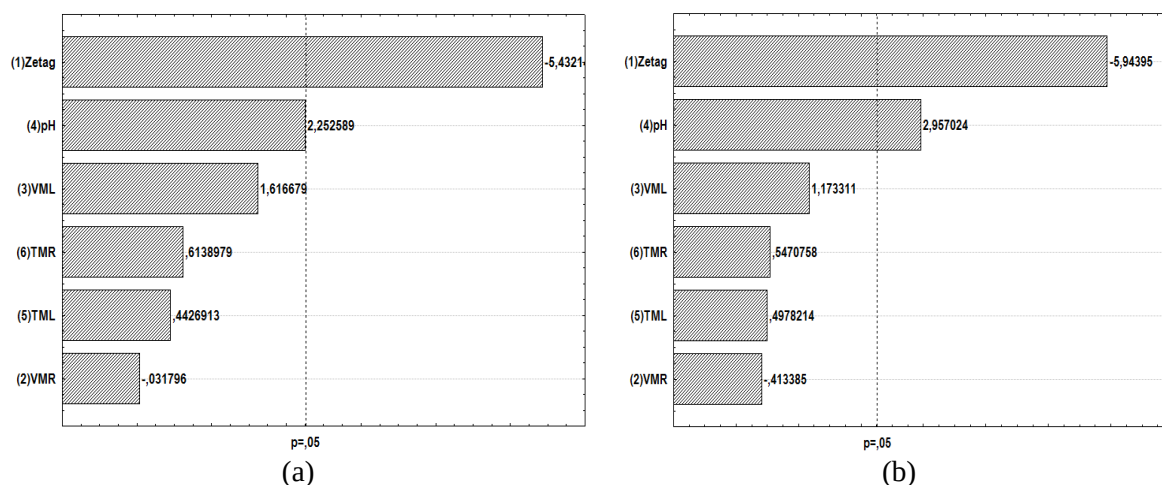


Figura 3 – Gráficos de Pareto para o floculante Zetag® 8185 para (a) turbidez; (b) cor, para um nível de significância de 5%

Os polímeros são adicionados ao efluente para melhorar a sedimentação e a subsequente remoção das partículas suspensas, enquanto a variante catiônico do polímero é substancialmente mais tóxico em concentrações muito baixas para formas de vida aquáticas (SUN *et al.*, 2013; LIBER *et al.*, 2005).

Apesar dos bons resultados para cor e turbidez obtidos com o floculante Zetag® 8185, a ficha de segurança do produto, descreve que este possui em sua composição predominantemente poliacrilamida que em contato com água se hidrolisa rapidamente e é de difícil biodegradabilidade, além de apresentar comportamento tóxico para peixes (CL/50: 1-10 mg L⁻¹) e invertebrados aquáticos *Daphnias* (CE50: 10-100 mg L⁻¹).

A Portaria 2.914 de 12/2011 dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, estabelecendo o limite máximo para a acrilamida em 0,5 µg L⁻¹ em água. Logo, faz-se necessário a realização de estudos do comportamento e efeito deste floculante no ambiente aquático.

O planejamento experimental utilizado demonstrou melhores resultados para o coagulante natural Tanfloc POP em relação a redução de cor e turbidez quando comparado ao sulfato de alumínio. Geralmente coagulantes naturais apresentam um risco mínimo à saúde dos organismos vivos, pois são altamente biodegradáveis em comparação com coagulantes inorgânicos, além de apresentarem baixo custo. (SANGHI *et al.*, 2006; MUKHERJEE *et al.*, 2013).

4. Conclusão

O planejamento saturado de Plackett & Burman, combinando os coagulantes (tanino e sulfato de alumínio) com o floculante catiônico, apresentou como variáveis significativas para o Tanfloc POP a concentração do coagulante e o pH, e para o sulfato de alumínio, além destas duas, a velocidade de mistura lenta. Os resultados utilizando apenas o floculante Zetag® indicaram a concentração do coagulante e pH como significativos. A utilização deste tipo de planejamento experimental faz-se necessário quando se pretende avaliar um número grande de variáveis do processo a partir de um número reduzido de ensaios. Com isso, foram selecionadas neste planejamento apenas as variáveis que foram significativas no processo de coagulação floculação do efluente de fecularia, para serem utilizadas em um posterior planejamento para fins de otimização do tratamento.

Referências

- APHA, AWWA and WEF. *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater*. American Publications Health Association. 19th ed., Washington D.C., 1998.
- AZIZI, DARIUH; GHARABAGHI, MAHDI; SAEEDI, NEGAR. *Optimization of the coal flotation procedure using the Plackett–Burman design methodology and kinetic analysis*. Fuel Processing Technology 128 (2014) 111–118.
- BASF. *Zetag® 8185 Technical Information Water Solutions*. TI/EV/WN Rev. 03 February 2013.
- BRASIL. Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011. "Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente. Brasília, 2011.
- BRATBY J. *Coagulation and Flocculation in Water and Wastewater Treatment*. (second ed.) IWA Publishing, London (2006).
- BARROS NETO, B.; SCARMINIO, I. S.; BRUNS, R. E. *Como fazer experimentos: pesquisa e desenvolvimento na ciência e na indústria*. Campinas: EDUNICAMP, 2001.

- BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.; JIMÉNEZ-GILES, MERCEDES.** *Tannin-Based Coagulants in the Depuration of Textile Wastewater Effluents: Elimination of Anthraquinonic Dyes*. *Water Air Soil Pollut* (2011) 222:53–64.
- BELTRÁN-HEREDIA, J.; SÁNCHEZ-MARTÍN, J.** *Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent*. *Desalination* 249 (2009) 353–358.
- BOX, G.E.P.; W.G. HUNTER, J.S. HUNTER.** *Statistics for Experimenters: An Introduction to Design, Data Analysis, and Model Building*. John Wiley&Sons, New York, 1978.
- CALADO, V.; MONTGOMERY, D.** *Planejamento de Experimentos usando o Statistica*. 1º ed, editora E-papers. 2003. Rio de Janeiro. 260 p.
- CELA, R.** *Screening strategies, in comprehensive, in: S.D. Chemometrics, R. Brown, B. Tauler (Eds.), Walczak, Vol. 1, Elsevier, Amsterdam, 2009, p. 251.*
- CEPEA – Centro de Estudos Avançados em Economia Aplicada.** *Produção de fécula fica é a maior em 12 anos*. Piracicaba, maio 2015. Disponível em: <cepea.esalq.usp.br/comunicacao/Cepea_fecula_maio15.doc>. Acesso em: 10 de set. 2015.
- DONG, H.; B. GAO;; Q. YUE; S. SUN;; Y. WANG, Q. LI .** *Floc properties and membrane fouling of different monomer and polymer Fe coagulants in coagulation-ultrafiltration process: The role of Fe (III) species*. *Chemical Engineering Journal* 258 (2014) 442–449
- FERNANDES, NEUSA M. GOMES; YOVANKA P. GINORIS; ROSELY H. TANGO RIOS; CRISTINA CÉLIA S. BRANDÃO.** *Influência do pH de coagulação e da dose de sulfato de alumínio na remoção de oocistos de Cryptosporidium por filtração direta descendente*. *Eng Sanit Ambiental*. v.15 n.4 . out/dez 2010 p. 375-384.
- GUIDA, M. MATTEI; C. DELLA ROCCA; G. MELLUSO, S. MERIÇ.** *Optimization of alum-coagulation/flocculation for COD and TSS removal from five municipal wastewater*. *Desalination*, 211 (2007), pp. 113–127.
- KUCZMAN, OSVALDO.** *Tratamento anaeróbio de efluente de fecularia em reator horizontal de uma fase*. Dissertação (Mestrado)- Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Programa de Pós-Graduação Stricto Sensu em Engenharia Agrícola, Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas. Cascavel, 2007.
- KERR, J. L.; J. S. LUMSDEN, S. K. RUSSELL, E. J. JASINSKA; GOSS, G. G.** *Effects Of Anionic Polyacrylamide Products On Gill Histopathology In Juvenile Rainbow Trout (Oncorhynchus Mykiss)*. *Environ. Toxicol. Chem.*, 2014, 33, 1552–1562
- LIBER, K. ;L. WEBER ; C. LÉVESQUE.** *Sublethal toxicity of two wastewater treatment polymers to lake trout fry (Salvelinus namaycush)*. *Chemosphere* 61 (2005) 1123–1133.
- MATSURA, F.do C.A.U., FOLEGATTI, M. I.S.; SARMENTO, S. B.S.** *Iniciando um pequeno negócio agroindustrial: processamento da mandioca*. Brasília: Embrapa mandioca e fruticultura/SEBRAE, 2003. 115p. (série agronegócios)
- MENEGHETTI, C. D. C.; DOMINGUES, J. L.** *Características nutricionais e uso de subprodutos da agroindústria na alimentação de bovinos*. *Revista Eletrônica Nutritime*, v.5, p.512-536, 2008.
- NASU, E. das G. CARVALHO.** *Composição Química da Manipueira e sua Potencialidade no Controle de Meloidogyne incógnita em Tomateiro no Oeste do Paraná*. Dissertação (mestrado) Agronomia Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Marechal Cândido Rondon, 2008.
- PLACKETT, R.L., BURMAN, J.P.** *The design of optimum multifactorial experiments*. *Biometrika*, v 33,p. 305-325,1946.
- OLIVIERI, ALEJANDRO C. ; MAGALLANES, , JORGE F.** *Uncovering interactions in Plackett–Burman screening designs applied to analytical system s. A Monte Carlo ant colony optimization approach*. *Talanta* 97 (2012) 242–248.
- VAZ, LUIZ G. DE L.; KLEN, MÁRCIA R. F.; VEIT, MÁRCIA T.; SILVA, EDSON A. DA SILVA; BARBIERO, T. A.; BERGAMASCO, R.** *Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia*. *Ecl. Quím.*, São Paulo, 35 - 4: 45 - 54, 2010

SANGHI, R. B. ; BHATTACHARYA, V. SINGH. *Use of Cassia javahikai seed gum and gum-g-polyacrylamide as coagulant aid for the decolourization of textile dye solutions* Bioresour. Technol., 97 (2006), pp. 1259–1264.

SEAB-DERL- Secretário de Estado da Agricultura e abastecimento. *Análise da conjuntura agropecuária. Mandioca Safrá 2014-2015.* Disponível em:<http://www.agricultura.pr.gov.br/arquivos/File/deral/Prognosticos/mandioca_2014_15.pdf>. Acesso: 08 de set. 2015.

SCHLLEMER M. APARECIDA. *Preparação e caracterização de biofilmes à base de Manipueira para imobilização de caulinita intercalada com ureia.* Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná – campus Pato Branco. Programa de Pós Graduação em Tecnologia em Processos Químicos e Bioquímicos. Pato Branco, 2013.

SUN, W.; ZHAN, G.; L. PAN, H. LI;A. SHI,. *Synthesis, characterization, and flocculation properties of branched cationic polyacrylamide*, Int. J. Polymer Science, 2013, 2013, 10