



**Ministério da Educação**  
**Universidade Tecnológica do Paraná**  
Pró-Reitoria de Pesquisa e Pós-Graduação  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental  
Câmpus Apucarana e Londrina



**HENRIQUE STRAIOTO**

**TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE RECICLAGEM DE  
PLÁSTICO POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO EM ESCALA DE  
BANCADA COM COAGULANTES ORGÂNICOS E INORGÂNICOS**

**DISSERTAÇÃO DE MESTRADO**

**LONDRINA  
2019**

**HENRIQUE STRAIOTO**

**TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE RECICLAGEM DE PLÁSTICO POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO EM ESCALA DE BANCADA COM COAGULANTES ORGÂNICOS E INORGÂNICOS.**

Dissertação apresentada como etapa obrigatória para a obtenção do título de Mestre no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de concentração: Saneamento Ambiental.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi

**LONDRINA  
2019**

## TERMO DE LICENCIAMENTO

Esta Dissertação está licenciada sob uma Licença Creative Commons *atribuição uso não-comercial/compartilhamento sob a mesma licença 4.0 Brasil*. Para ver uma cópia desta licença, visite o endereço <http://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/> ou envie uma carta para Creative Commons, 171 Second Street, Suite 300, San Francisco, Califórnia 94105, USA.



Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)  
Biblioteca UTFPR - Câmpus Londrina

S896t Straioto, Henrique

Tratamento de efluente de indústria de reciclagem de plástico por processo físico-químico em escala de bancada com coagulantes orgânicos e inorgânicos / Henrique Straioto. - Londrina : [s.n.], 2019.

189 f. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi

Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná.  
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Londrina, 2019.

Bibliografia: f. 178-183

1. Resíduos industriais. 2. Águas residuais - Purificação. 3. Coagulantes.  
4. Físico-Química - Análise. 5. Água - Reuso. I. Costanzi, Ricardo Nagamine,  
orient. II. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. III. Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. IV. Título.

CDD: 628

## TERMO DE APROVAÇÃO

### TRATAMENTO DE EFLUENTE DE INDÚSTRIA DE RECICLAGEM DE PLÁSTICO POR PROCESSO FÍSICO-QUÍMICO EM ESCALA DE BANCADA COM COAGULANTES ORGÂNICOS E INORGÂNICOS.

por

**Henrique Straioto**

Dissertação de mestrado apresentada no dia quatorze de novembro de 2019 como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL, área de concentração de Saneamento Ambiental pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Câmpus Apucarana/Londrina, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. O Candidato foi arguido pela Banca Examinadora composta pelos professores abaixo assinados. Após deliberação, a Banca Examinadora considerou o trabalho Aprovado.

---

Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi  
(UTFPR)

---

Prof<sup>a</sup>. Dr<sup>a</sup>. Joseane Debora Peruço Theodoro  
(UTFPR)

---

Prof. Dr. Paulo Sergio Theodoro  
(UNIOESTE)

---

Prof. Dr. Alesandro Bail  
Coordenador do Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

**“O termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Programa de Mestrado de Engenharia Ambiental - PPGEA”.**

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço primeiramente a Deus pelo dom da vida, que vem sendo guiada diariamente com sua proteção e discernimento necessário para todas as ocasiões. Também por ter saúde, força de vontade e capacidade para a realização de meus sonhos, que no passado pareciam tão distantes.

Aos meus familiares, Wagner, Lucília, Kleber, Thaisa e ao pequeno Pedro, palavras não são suficientes para agradecer tamanho apoio durante toda essa jornada. Sem o amor, os ensinamentos e o auxílio de vocês, nada disso seria possível.

Ao meu orientador Prof. Dr. Ricardo, agradeço por todo auxílio e dedicação durante a realização deste trabalho, que somados a compreensão e confiança dedicada, possibilitou a minha evolução para o resto da vida, além da formação de uma grande amizade e admiração.

Também devo lembrar-me de todos os amigos presentes em minha vida, seja em momentos de trabalho, pesquisa ou descontração, já que este apoio sempre me motivou para seguir em frente.

Finalmente, agradeço a todos colaboradores da UTFPR, que disponibilizaram a utilização de laboratórios e utensílios que fizeram toda a diferença na execução deste projeto, bem como todos os membros da banca de qualificação e dissertação, que com sua experiência puderam clarear diversas dúvidas e geraram um imenso aprimoramento do trabalho.

“Preocupe-se mais com seu caráter do que com sua reputação, pois caráter reflete aquilo que você realmente é, enquanto reputação representa meramente aquilo que pensam sobre você”.

(John Wooden)

## RESUMO

A presente pesquisa teve como objetivo realizar o tratamento de um efluente proveniente dos processos de lavagem de plástico, de uma indústria reciclagem, localizada na região norte do Paraná. Em escala de bancada, através dos processos físico químicos de coagulação, floculação e sedimentação, foram realizados os comparativos de três coagulantes sendo os inorgânicos cloreto de polialumínio (PAC), e cloreto férrico e o orgânico tanino, para a remoção de turbidez, cor aparente e demanda química de oxigênio (DQO). Também foram observadas as influências que três tipos de polímeros sintéticos (um aniônico, um catiônico e um não-iônico) podem gerar nos resultados obtidos pelo coagulante PAC. As determinações da quantidade de ensaios e dos pontos ótimos de trabalho foram feitas pelo método estatístico de delineamento composto central rotacional, com a leitura dos resultados sendo realizada pelo *software* Statistica, versão 13.5.0. Após a determinação dos pontos ótimos, foram realizados ensaios mais aprofundados nestes pontos, visando descobrir a eficiência do tratamento em relação a remoção de nitrogênio total, fósforo total, sólidos totais e suspensos e alterações na condutividade elétrica e alcalinidade. As variáveis dos ensaios eram as dosagens de coagulante e polímero e o pH de coagulação. A pesquisa foi realizada na região de Londrina - PR, utilizando-se dos laboratórios Da Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR). A importância da pesquisa está relacionada principalmente a questões ambientais, já que com o tratamento do efluente e um possível reúso da água tratada, a captação de água limpa e o despejo de efluentes poluídos nos leitos naturais são reduzidos. Analisando os gráficos de curva de nível gerados pelo modelo estatístico adotado, pôde-se verificar que as maiores remoções de turbidez, cor aparente e DQO foram atingidas ao utilizar o coagulante orgânico com dosagens de aproximadamente 80 mg.L<sup>-1</sup>, ou ao aplicar dosagens de coagulante PAC entre 25 e 35 mg.L<sup>-1</sup> combinadas com dosagens de polímeros floculantes entre 3 e 4 mg.L<sup>-1</sup>. Os percentuais máximos de remoção foram 99,97% para turbidez, 99,87% para cor aparente e 99,59% para DQO, que correspondem a 0,10 NTU, 1 uH e 10,49 mg.L<sup>-1</sup> de turbidez, cor aparente e DQO residual.

**Palavras-chave:** Coagulante orgânico. Processo físico-químico. Reúso de água residual. Sustentabilidade. Tratamento de efluente industrial.

## ABSTRACT

This research aimed to perform the treatment of an effluent from the plastic washing processes of a recycling industry, located in the northern region of Paraná. At the bench scale, three coagulants were performed in physical chemical processes of coagulation, flocculation and sedimentation. The inorganic coagulant were polyaluminium chloride (PAC) and ferric chloride and the organic coagulant was tannin. The removal of turbidity, apparent color and chemical oxygen demand (COD) was study. The influences of three types of synthetic polymers (anionic, cationic and nonionic) was verify with the PAC coagulant. The determination of the number of tests and the optimal working points were made by the statistical method of central rotational composite design, with the results being read by the Statistica software, version 13.5.0. After determining the optimum points, further tests were performed at these points, aiming to find out the treatment efficiency in relation to the removal of total nitrogen, total phosphorus, total and suspended solids and changes in electrical conductivity and alkalinity. Coagulant and polymer dosages and coagulation pH were defined as variables. The research was conducted in the region of Londrina - PR, in the laboratories of the Federal Technological University of Paraná (UTFPR). The importance of research is mainly related to environmental issues, since with effluent treatment and a possible reuse of treated water, the capture of clean water and the discharge of polluted effluents in natural beds are reduced. By analyzing the contour graphs generated by the adopted statistical model, it was possible to verify that the highest turbidity, apparent color and COD removals were achieved by using the organic coagulant with dosages of approximately  $80 \text{ mg.L}^{-1}$ , or by applying dosages. of coagulant PAC between 25 and  $35 \text{ mg.L}^{-1}$  combined with dosages of flocculant polymers between 3 and  $4 \text{ mg.L}^{-1}$ . The maximum removal percentages were 99.97% for turbidity, 99.87% for apparent color and 99.59% for COD, which correspond to 0.10 NTU, 1 uH and  $10.49 \text{ mg.L}^{-1}$  turbidity, apparent color and residual COD.

**Keywords:** Industrial effluent treatment. Organic coagulant. Physicochemical process. Sustainability. Wastewater reuse.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Procedimentos para o tratamento de efluentes em uma indústria de reciclagem de plástico.....	27
Figura 2 – Vista superior da empresa de reciclagem de plásticos .....	38
Figura 3 – Etapas do processo de reciclagem de plástico da empresa estudada.....	39
Figura 4 – Sistema de lavagem da empresa (a) e tanque de lavagem (b).....	40
Figura 5 – Tanques e acessórios utilizados para coleta (a) e freezer de armazenamento do efluente (b) .....	40
Figura 6 – Modelo de experimento fatorial com DCCR de cinco pontos .....	41
Figura 7 – Tanque com agitador mecânico para homogeneização do efluente (a) e método para preenchimento homogêneo dos jarros (b).....	46
Figura 8 – Equipamento de jar-teste .....	47
Figura 9 – Bloco digestor (a); Equipamento de leitura (b) .....	48
Figura 10 – pHmetro (a); turbidímetro (b) e espectrofotômetro (c).....	48
Figura 11 – Estufa (a); forno mufla (b) e destilador de nitrogênio (c) .....	50
Figura 12 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 10 minutos .....	58
Figura 13 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 30 minutos .....	59
Figura 14 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 10 minutos.....	61
Figura 15 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 30 minutos.....	62
Figura 16 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 10 minutos .....	64
Figura 17 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 30 minutos .....	65
Figura 18 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 10 minutos .....	67
Figura 19 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 30 minutos .....	68
Figura 20 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 10 minutos.....	70

Figura 21 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 30 minutos.....	71
Figura 22 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 10 minutos .....	73
Figura 23 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 30 minutos .....	74
Figura 24 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 10 minutos.....	76
Figura 25 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 30 minutos.....	77
Figura 26 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 10 minutos .....	79
Figura 27 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 30 minutos .....	80
Figura 28 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 10 minutos.....	82
Figura 29 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 30 minutos.....	83
Figura 30 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de tanino.....	85
Figura 31 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de tanino.....	86
Figura 32 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de tanino.....	88
Figura 33 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de tanino.....	89
Figura 34 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de tanino.....	91

Figura 35 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de tanino.....	92
Figura 36 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.....	94
Figura 37 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.....	95
Figura 38 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.....	97
Figura 39 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.....	98
Figura 40 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.....	100
Figura 41 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.....	101
Figura 42 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.....	103
Figura 43 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.....	104
Figura 44 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.....	106
Figura 45 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.....	107

Figura 46 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC .....	109
Figura 47 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC .....	110
Figura 48 – Percentuais (a) médios e (b) máximos de remoção de turbidez, cor aparente e DQO com o efluente da primeira coleta .....	111
Figura 49 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 10 minutos .....	114
Figura 50 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 30 minutos .....	115
Figura 51 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 10 minutos.....	117
Figura 52 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 30 minutos.....	118
Figura 53 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 10 minutos .....	120
Figura 54 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 30 minutos .....	121
Figura 55 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 10 minutos .....	123
Figura 56 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 30 minutos .....	124
Figura 57 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 10 minutos.....	126
Figura 58 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 30 minutos.....	127
Figura 59 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 10 minutos .....	129
Figura 60 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 30 minutos .....	130
Figura 61 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 10 minutos.....	132

Figura 62 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 30 minutos .....	133
Figura 63 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 10 minutos .....	135
Figura 64 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 30 minutos .....	136
Figura 65 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 10 minutos .....	138
Figura 66 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 30 minutos .....	139
Figura 67 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico .....	141
Figura 68 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico .....	142
Figura 69 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico .....	144
Figura 70 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico .....	145
Figura 71 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico .....	147
Figura 72 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico .....	148
Figura 73 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC .....	150
Figura 74 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC .....	151

Figura 75 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC .....	153
Figura 76 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC .....	154
Figura 77 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC .....	156
Figura 78 – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC .....	157
Figura 79 – Percentuais (a) médios e (b) máximos de remoção de turbidez, cor aparente e DQO com o efluente da segunda coleta .....	159
Figura 80 – Gráficos de curvas de nível para remoção de turbidez, no tratamento com (a) PAC e PAN, (b) PAC e PCA, (c) PAC e PNI e (d) coagulante tanino .....	166
Figura 81 – Gráficos de curvas de nível para remoção de cor aparente, no tratamento com (a) PAC e PAN, (b) PAC e PCA, (c) PAC e PNI e (d) coagulante tanino .....	168
Figura 82 – Gráficos de curvas de nível para remoção de DQO, no tratamento com (a) PAC e PAN, (b) PAC e PCA, (c) PAC e PNI e (d) coagulante tanino .....	171
Figura 83 – Curva baixa utilizada para calculo de DQO.....	184
Figura 84 – Primeira curva alta utilizada para calculo de DQO .....	185
Figura 85 – Segunda curva alta utilizada para calculo de DQO .....	185

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Condições e padrões para o lançamento de efluentes.....	27
Tabela 2 – Condições e padrões para o reúso de efluentes .....	29
Tabela 3 – Padrões de tratamento adotados na literatura para os processos de coagulação, floculação e sedimentação.....	30
Tabela 4 – Mecanismos de coagulação .....	32
Tabela 5 – Dosagem de coagulante e pH de coagulação (1ª coleta).....	42
Tabela 6 – Dosagem de coagulante (PAC) e de polímeros floculantes (1ª coleta) ...	43
Tabela 7 – Dosagem de coagulante e pH de coagulação (2ª coleta).....	43
Tabela 8 – Dosagem de coagulante (PAC) e de polímeros floculantes (2ª coleta) ...	44
Tabela 9 – Descrição dos equipamentos utilizados no trabalho.....	45
Tabela 10 – Métodos analíticos utilizados para cor aparente, DQO, pH e turbidez ..	47
Tabela 11 – Métodos analíticos utilizados para ensaios nos pontos ótimos .....	50
Tabela 12 – Propriedades físico-químicas do PAC .....	51
Tabela 13 – Propriedades físico-químicas do cloreto férrico.....	52
Tabela 14 – Propriedades físico-químicas do tanino.....	52
Tabela 15 – Propriedades físico-químicas dos polímeros sintéticos .....	53
Tabela 16 – Características do efluente bruto da primeira coleta .....	54
Tabela 17 – Características do efluente bruto da segunda coleta.....	55
Tabela 18 – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC e PAN com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	57
Tabela 19 – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC e PAN com 10 e 30 minutos de sedimentação .....	60
Tabela 20 – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC e PAN com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	63
Tabela 21 – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC e PCA com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	66
Tabela 22 – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC e PCA com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	69
Tabela 23 – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC e PCA com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	72
Tabela 24 – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC e PNI com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	75

Tabela 25 – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC e PNI com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	78
Tabela 26 – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC e PNI com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	81
Tabela 27 – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com tanino com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	84
Tabela 28 – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com tanino com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	87
Tabela 29 – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com tanino com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	90
Tabela 30 – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com cloreto férrico com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	93
Tabela 31 – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com cloreto férrico com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	96
Tabela 32 – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com cloreto férrico com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	99
Tabela 33 – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	102
Tabela 34 – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	105
Tabela 35 – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	108
Tabela 36 – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC e PAN com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	113
Tabela 37 – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC e PAN com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	116
Tabela 38 – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC e PAN com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	119
Tabela 39 – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC e PCA com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	122
Tabela 40 – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC e PCA com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	125
Tabela 41 – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC e PCA com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	128



Tabela 42 – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC e PNI com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	131
Tabela 43 – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC e PNI com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	134
Tabela 44 – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC e PNI com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	137
Tabela 45 – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com cloreto férrico com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	140
Tabela 46 – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com cloreto férrico com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	143
Tabela 47 – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com cloreto férrico com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	146
Tabela 48 – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	149
Tabela 49 – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	152
Tabela 50 – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC com 10 e 30 minutos de sedimentação.....	155
Tabela 51 – Dados utilizados para o tratamento de efluente no ponto ótimo.....	161
Tabela 52 – Resultados obtidos após o tratamento realizado nos pontos ótimos...	162
Tabela 53 – Percentual de remoções obtidas nos pontos ótimos de tratamento ....	163
Tabela 54 – Melhores resultados obtidos para a remoção de turbidez.....	164
Tabela 55 – Melhores resultados obtidos para a remoção de cor aparente.....	167
Tabela 56 – Melhores resultados obtidos para a remoção de DQO.....	170
Tabela 57 – Comparativo da remoção de sólidos totais e suspensos do presente trabalho com os relatados por um artigo técnico de efluente semelhante.....	172
Tabela 58 – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e PAN (1ª coleta).....	186
Tabela 59 – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e PCA (1ª coleta).....	186
Tabela 60 – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e PNI (1ª coleta).....	186
Tabela 61 – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com $\text{FeCl}_3$ e ajuste do pH de coagulação (1ª coleta).....	187

Tabela 62 – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e ajuste do pH de coagulação (1ª coleta) .....	187
Tabela 63 – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com tanino e ajuste do pH de coagulação (1ª coleta).....	187
Tabela 64 – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e PAN (2ª coleta) .....	188
Tabela 65 – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e PCA (2ª coleta) .....	188
Tabela 66 – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e PNI (2ª coleta) .....	188
Tabela 67 – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com FeCl <sub>3</sub> e ajuste do pH de coagulação (2ª coleta) .....	189
Tabela 68 – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e ajuste do pH de coagulação (2ª coleta) .....	189

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
Al	Alumínio
ANA	Agência Nacional de Águas
APHA	American Public Health Association
CEMA	Conselho Estadual do Meio Ambiente
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
FeCl <sub>3</sub>	Cloreto férrico
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
DQO	Demanda Química de Oxigênio
Fe	Ferro
g	Gramas
G <sub>ml</sub>	Gradiente de velocidade de mistura lenta
G <sub>mr</sub>	Gradiente de velocidade de mistura rápida
L	Litros
m	Metros
mg	Miligramas
min	Minutos
mL	Mililitros
MMA	Ministério do Meio Ambiente
μS	Microsiemens
N	Nitrogênio
NBR	Norma Brasileira Regulamentadora
NTK	Nitrogênio Total Kjeldahl
NTU	Nephelometric Turbidity Units (Unidades de Turbidez Nefelométrica)
P	Fósforo
PAC	Cloreto de polialumínio
PAN	Polímero Aniônico
PCA	Polímero Catiônico
pH	Potencial Hidrogeniônico

PNI	Polímero Não-Iônico
PPGEA	Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
PR	Paraná
RPM	Rotações por minuto
SEMA	Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
ST	Sólidos Totais
STF	Sólidos Totais Fixos
STV	Sólidos Totais Voláteis
TAN	Tanino
T <sub>Sed</sub>	Tempo de sedimentação
uH	Unidades Hazen
UTFPR	Universidade Tecnológica Federal do Paraná
WHO	World Health Organization

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>23</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>25</b>
2.1. OBJETIVO GERAL .....	25
2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	25
<b>3. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>26</b>
3.1. A ÁGUA NA INDÚSTRIA DE RECICLAGEM DE PLÁSTICO .....	26
3.2. TRATAMENTO E REÚSO DE ÁGUA .....	28
3.3. TRATAMENTO FÍSICO QUÍMICO.....	31
3.3.1. Coagulação.....	31
3.3.2. Flocculação.....	33
3.3.3. Sedimentação .....	34
3.4. TIPOS DE COAGULANTES .....	34
3.4.1. Cloreto férrico .....	34
3.4.2. Cloreto de polialumínio (PAC).....	35
3.4.3. Tanino.....	36
3.4.4. Polímeros.....	36
<b>4. MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....	<b>38</b>
4.1. EFLUENTE DE ESTUDO.....	38
4.2. MÉTODO ESTATÍSTICO .....	41
4.3. CONDIÇÕES OPERACIONAIS .....	45
4.4. ENSAIOS NO APARELHO DE JAR TESTE .....	45
4.5. VARIÁVEIS OBSERVADAS.....	47
4.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS.....	49
4.7. DESENVOLVIMENTO NO PONTO ÓTIMO.....	50
4.8. CARACTERÍSTICAS DOS COAGULANTES E FLOCULANTES .....	51
<b>5. RESULTADOS</b> .....	<b>54</b>
5.1. RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS COM O EFLUENTE DA PRIMEIRA COLETA NA INDÚSTRIA DE RECICLAGEM.....	56
5.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS COM O EFLUENTE DA SEGUNDA COLETA NA INDÚSTRIA DE RECICLAGEM.....	112
5.3. RESULTADOS DOS ENSAIOS FINAIS - REALIZADOS COM O EFLUENTE DA SEGUNDA COLETA, NOS PONTOS ÓTIMOS .....	160

<b>6. DISCUSSÕES</b> .....	<b>164</b>
6.1. REMOÇÃO MÁXIMA DE TURBIDEZ.....	164
6.2. REMOÇÃO MÁXIMA DE COR APARENTE .....	167
6.3. REMOÇÃO MÁXIMA DE DQO .....	170
6.4. REMOÇÃO DE OUTROS PARÂMETROS .....	172
6.5. COMPARATIVO COM LIMITES DE DESCARTE E REÚSO .....	173
<b>7. CONCLUSÕES</b> .....	<b>176</b>
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	<b>178</b>
<b>ANEXO A</b> .....	<b>184</b>
<b>ANEXO B</b> .....	<b>186</b>

## 1. INTRODUÇÃO

A necessidade do uso racional da água e da conservação dos Recursos Hídricos tem denotado grande importância como temática de ações governamentais, empresariais, sociais, financeiras e políticas visando possibilitar o desenvolvimento sustentável.

Porém, nos últimos anos, o aumento de eventos de escassez nos sistemas hídricos e de abastecimento de água e a poluição dos corpos d' água agravaram o cenário de conflitos e impactos ambientais pelo uso de água.

Outro aspecto agravante deste cenário é a poluição e contaminação de águas superficiais e subterrâneas. Schweitzer e Noblet (2018) descrevem este processo como alterações biológicas, físicas ou químicas da água, decorrentes do lançamento de matéria ou energia que inviabilizam sua utilização para determinados processos ou para o consumo humano.

A poluição hídrica tem sido avaliada e quantificada por métodos associados ao crescimento populacional e industrial (Wu et al., 2018). A consequência deste monitoramento é uma maior restrição legal relativa aos parâmetros de qualidade de água visando diminuir e restringir os impactos potenciais de descarte de efluentes tratados de forma incompleta ou sem tratamento adequado (STANBURY; WHITAKER; HALL, 2017).

Assim, pela constante necessidade de se manter no mercado devido a competitividade, a indústria tende a aprimorar seus processos ou desenvolver novas maneiras de atender as normas ambientais estabelecidas. Uma das alternativas neste caso é o reúso dos efluentes gerados pela própria empresa (HESPANHOL et al., 2006).

Neste contexto, estudos de tratamento de efluentes que tenham como finalidade a redução de desperdícios e o reaproveitamento de água vêm ganhando destaque em diversos setores (SUN e REN, 2014; ADAPA, 2018).

No setor de resíduos sólidos, os resíduos plásticos são materiais que devem ser reciclados, já que além de requerer longos períodos para sua completa decomposição no meio ambiente, é um material de origem fóssil.

Destaca-se a crescente quantidade de plástico produzida anualmente. Segundo a Plásticos Europe (2018), no mundo foram produzidos exorbitantes 322 milhões de toneladas de plásticos em 2015 e 335 milhões de toneladas em 2016.

Kaza et al. (2018) informam que a região da América Latina aplica processos de reciclagem em apenas 4,5% dos resíduos que produz. No Brasil, a Abrelpe (2015) relata a produção anual de 79889010 toneladas de resíduos sólidos urbanos, que correspondem a 1,071 kg/habitante/dia.

Para reciclar o plástico utiliza-se a água para processos de lavagem. O processo de lavagem é contínuo, porém a utilização da água, geralmente ocorre em batelada. Esse processo produz efluentes caracterizados pela presença de sólidos suspensos, que podem ser removidos por tratamento em sistemas físico-químicos com uso de coagulantes e floculantes. A água de lavagem pode ser tratada e retornada ao processo novamente.

Sabe-se que em grande parte dos processos de coagulação e floculação são utilizados produtos químicos derivados do alumínio, mas nos últimos anos vem sendo encontrados diversos relatos que relacionam estes produtos a riscos à saúde humana, como sua associação ao desenvolvimento do mal de Alzheimer (ARISMENDI et al., 2018; LOPES et al., 2019).

Apesar do movimento iniciado com a inserção de coagulantes orgânicos para a redução da inserção de produtos químicos derivados do alumínio em processos relacionados ao tratamento de água, ainda são necessárias diversas pesquisas a respeito da eficiência do tratamento feito com esses produtos, visando viabilizá-los tecnicamente e propiciar uma maior sustentabilidade (GITIS; HANKINS, 2018).

Dentre estes coagulantes orgânicos, tem-se o tanino como destaque. O Tanino é um produto extraído de espécies arbóreas presentes no Brasil, como a *Schinopsis balansae* e a *Acacia mearnsii*, por meio de cascas do tronco.

Diante deste cenário, neste trabalho foi realizado o tratamento do efluente de uma indústria de reciclagem de plásticos, utilizando-se de coagulantes inorgânicos em comparativo ao coagulante orgânico, através dos processos de coagulação, floculação e sedimentação, em escala de bancada, com o intuito de fazer o descarte correto deste efluente tratado, ou possibilitar o reúso do efluente no processo de lavagem de plásticos.



## 2. OBJETIVOS

### 2.1. OBJETIVO GERAL

Caracterizar o efluente gerado em um processo de lavagem do plástico de uma indústria de reciclagem localizada no norte do Paraná, com o intuito de determinar as condições ideais de remoção de cor aparente, DQO e turbidez, através das técnicas de coagulação, floculação e sedimentação, utilizando os coagulantes inorgânicos cloreto férrico e PAC e o orgânico tanino.

### 2.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

Os objetivos específicos deste trabalho são:

- caracterizar os parâmetros físico-químicos (cor aparente, DQO, pH e turbidez) do efluente oriundo da indústria de reciclagem de plásticos;
- comparar a eficiência de tratamento com cada coagulante (PAC, cloreto férrico e tanino) para a remoção dos parâmetros cor aparente, DQO e turbidez;
- utilizar os polímeros aniônico (PAN), catiônico (PCA) e não-iônico (PNI) como auxiliares de floculação para os tratamentos realizados com PAC, para verificar se há melhoria na eficiência na remoção dos parâmetros cor aparente, DQO e turbidez;
- na região de remoção ótima de tratamento, além da remoção de turbidez, cor aparente e DQO, verificar também a eficiência do tratamento em relação ao fósforo, nitrogênio e sólidos (fixos, suspensos, totais e voláteis) e o acompanhamento do parâmetro condutividade elétrica.
- comparar os resultados obtidos pelo efluente tratado nos pontos ótimos com os limites de lançamento das Resoluções CONAMA 357 (2005) SEMA 21 (2009) e CONAMA 430 (2011), com os limites de descarte na rede de esgoto do decreto Nº 8.468 da CETESB (1976);
- comparar o efluente tratado com as exigências para o reúso do manual de Conservação e Reúso de água em Edificações da (ANA, 2005), da NBR 13969 (ABNT, 1997) e da Portaria Nº 2.914 (MINISTÉRIO DE ESTADO DA SAÚDE, 2011).

### 3. REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1. ÁGUA NA INDÚSTRIA DE RECICLAGEM DE PLÁSTICO

A geração de efluentes por diversas fontes gera dificuldade para o tratamento de águas residuais, já que cada tipo de poluição hídrica requer um tratamento diferente (WHO, 1989).

Neste contexto, os tratamentos de efluentes gerados pela lavagem de plásticos para reciclagem mostram sua importância, já que o desenvolvimento de processos mais sustentáveis em relação à utilização da água podem reduzir diversos problemas ambientais (BORDONALLI E MENDES, 2009).

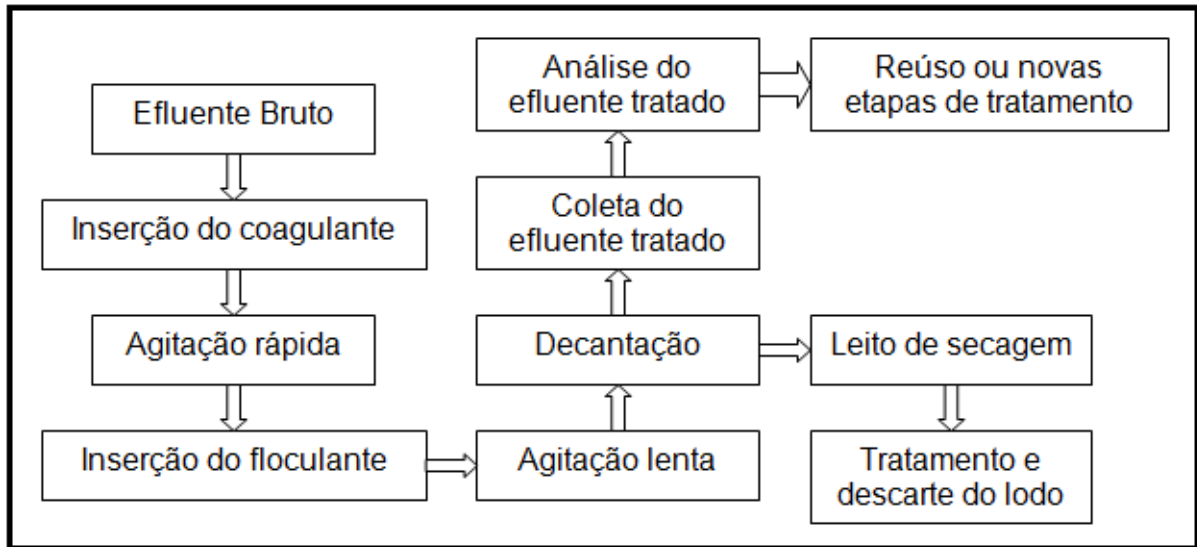
Como os efluentes gerados neste processo não possuem padrões de qualidade de água que possibilitem o reúso específico para o processo de lavagem de plástico, pode-se comparar o efluente tratado com os padrões de reúso estipulados para outras atividades, definidos pelo Manual de Conservação e Reúso de água em Edificações (ANA, 2005), pela NBR 13969 (ABNT, 1997), e pela Portaria Nº 2.914 (MINISTÉRIO DE ESTADO DA SAÚDE, 2011).

Também se podem comparar os resultados deste efluente com os dados do relatório anual de qualidade de água do sistema de abastecimento do município de Londrina, que observam os limites de coliformes totais, cor, turbidez, cloro e fluor (SANEPAR, 2019).

Segundo Bordonalli e Mendes (2009), o reúso de água em indústrias de reciclagem de plástico decorrente do tratamento de efluentes com processos físico-químicos de coagulação, floculação, sedimentação e filtração em manta geotêxtil é viável tecnicamente, já que o desempenho na remoção de turbidez, óleos e graxas superam os 90% e para DQO, DBO e surfactantes atingem percentuais de remoção próximos a 60%.

A Figura 1 apresenta o processo de tratamento de água proposto pelos autores no processo industrial que foi estudado pelos mesmos, onde foi proposto um sistema de tratamento e reúso do efluente gerado pela etapa de lavagem presente na indústria de reciclagem.

**Figura 1** – Procedimentos para o tratamento de efluentes em uma indústria de reciclagem de plástico.



Fonte: Adaptado de Bordonalli (2007).

Outro aspecto a ser considerado nos processos de tratamento de efluentes no Brasil é o lançamento em corpo receptor, que deve atender condições e padrões exigidos pelas Resoluções CONAMA 357 (2005) e 430 (2011), bem como legislações estaduais. No Paraná, as Resoluções SEMA 21 (2009) e CEMA 70 (2009) devem ser observadas, sendo a última relativa ao licenciamento ambiental (prévia, de instalação, de operação e simplificada). Caso exista rede de esgoto, pode ser exigido o descarte do efluente em rede coletora em conformidade com o artigo 19 do decreto Nº 8.468, de 08 de setembro de 1976 da Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). As principais recomendações são apresentadas na Tabela 1.

**Tabela 1** – Condições e padrões para o lançamento de efluentes.

Parâmetro	CONAMA 357	CONAMA 430	SEMA 21	Artigo 19
Alumínio dissolvido	$\leq 0,1 \text{ mg.L}^{-1} \text{ Al}$	-	-	-
Cor aparente	-	-	-	-
Cor verdadeira	$\leq 75 \text{ uH}$	-	-	-
DBO <sub>5</sub>	$\leq 5 \text{ mg.L}^{-1}$	Remoção $\geq 60\%$	$\leq 90 \text{ mg.L}^{-1}$	-
DQO	-	-	$\leq 225 \text{ mg.L}^{-1}$	-
Ferro dissolvido	$\leq 0,3 \text{ mg.L}^{-1} \text{ Fe}$	$\leq 15,0 \text{ mg.L}^{-1} \text{ Fe}$	-	$\leq 15 \text{ mg.L}^{-1}$ (ferro solúvel)

**Tabela 1 – Condições e padrões para o lançamento de efluentes.**  
(continuação)

Parâmetro	CONAMA 357	CONAMA 430	SEMA 21	Artigo 19
Fósforo total	$\leq 0,030 \text{ mg.L}^{-1}$		-	-
Materiais flutuantes	virtualmente ausentes	ausentes	-	virtualmente ausentes
Materiais sedimentáveis	-	$\leq 1 \text{ mL.L}^{-1}$ (1h cone <i>Inmhof</i> )	-	$\leq 20 \text{ mL.L}^{-1}$ (1h cone <i>Inmhof</i> )
Nitrogênio amoniacal total	Entre 0,5 e 3,7 $\text{mg.L}^{-1}$ N	$\leq 20,0 \text{ mg.L}^{-1}$ N	-	-
Óleos e graxas	virtualmente ausentes	$\leq 20 \text{ mg.L}^{-1}$	$\leq 20 \text{ mg.L}^{-1}$	$\leq 150 \text{ mg.L}^{-1}$ ausência visível
Oxigênio dissolvido	$\geq 5 \text{ mg.L}^{-1}$	-	--	$\geq 5 \text{ mg.L}^{-1}$
pH	Entre 6 e 9	Entre 5 e 9	-	Entre 6 e 10
Temperatura	-	$\leq 40^{\circ}\text{C}$	-	$\leq 40^{\circ}\text{C}$
Turbidez	$\leq 100 \text{ NTU}$	-	-	-

Fonte: Adaptado de BRASIL (CONAMA 357 – Classe 2, 2005); (CONAMA 430, 2011), PARANÁ (SEMA, 2009) e SÃO PAULO (Rede Coletora, Artigo 19, Decreto Nº 8.468/76, 1976).

Os valores de referência apresentados são úteis, mas dependendo da atividade industrial específica, podem ocorrer variações nos limites estabelecidos de acordo com o órgão ambiental responsável pelo licenciamento ambiental. Um exemplo apresentado é o caso de efluentes gerados no processo de lavagem veicular, onde os limites de DBO e DQO foram estabelecidos como  $100 \text{ mg.L}^{-1}$  e  $300 \text{ mg.L}^{-1}$ , respectivamente (RESOLUÇÃO SEMA Nº 021, PARANÁ, 2011).

Apesar do lançamento dos efluentes ser uma alternativa legal perante a sociedade e o meio ambiente, observa-se que o reúso de efluentes tratados é ainda mais interessante, já que poderia reduzir o consumo dos recursos naturais e a quantidade de substâncias recebidas pelos corpos d' água ou pela rede coletora.

### 3.2. TRATAMENTO E REÚSO DE ÁGUA

Hespanhol (2002) destaca a possibilidade do reúso da água industrial promover retornos financeiros, seja em processos industriais internos ou pela comercialização do efluente tratado pelas companhias de saneamento.

Conforme a Agência Nacional de Águas (ANA, 2005), as exigências relacionadas à qualidade de água para o reúso dependem de sua finalidade. Os parâmetros são apresentados na Tabela 2.

**Tabela 2 – Condições e padrões para o reúso de efluentes.**

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3
Coliformes fecais	Ausentes	$\leq 1000 \text{ UFC.mL}^{-1}$	$\leq 200$ $\text{UFC.100 mL}^{-1}$
Cor aparente	$\leq 10 \text{ uH}$	-	$< 30 \text{ uH}$
DBO	$\leq 10 \text{ mg L}^{-1}$	$\leq 30 \text{ mg.L}^{-1}$	$< 20 \text{ mg.L}^{-1}$
Fósforo total	$\leq 0,1 \text{ mg.L}^{-1} \text{ P}$	-	-
Nitrogênio amoniacal	$\leq 20 \text{ mg L}^{-1}$	-	-
Nitrogênio total	-	-	$5 - 30 \text{ mg.L}^{-1}$
Odor e aparência	Não desagradáveis	Não desagradáveis	-
Óleos e graxas	$\leq 1 \text{ mg.L}^{-1}$	$\leq 1,0 \text{ mg.L}^{-1}$	-
pH	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9	Entre 6 e 9
Sólidos dissolvidos totais	$\leq 500 \text{ mg.L}^{-1}$	-	-
Sólidos suspensos totais	$\leq 5 \text{ mg.L}^{-1}$	$30 \text{ mg.L}^{-1}$	$< 20 \text{ mg.L}^{-1}$
Turbidez	$\leq 2 \text{ NTU}$	-	$< 5 \text{ NTU}$

Fonte: Adaptado de ANA (2005).

Para a lavagem de roupas, pisos, carros e fins ornamentais (passível de exposição direta), deve-se seguir as exigências da Classe 1. Os requisitos da Classe 2 foram definidos para trabalhos na construção civil, enquanto a Classe 3 é destinada a processos de irrigação.

Entendendo a importância de aplicar técnicas sustentáveis para a preservação da água por meio do tratamento e reúso de água, tem-se a necessidade de determinar parâmetros de tratamento que possibilitem atingir padrões associados à eficiência ótima. Em processos físico-químicos, os períodos de sedimentação e mistura rápida ou lenta, bem como seus gradientes de velocidade, a dosagem de produtos de tratamento e o pH do meio são fatores que podem influenciar diretamente na eficiência (HELLER E PÁDUA, 2006).

Richter (2009) sugere faixas de valores para parâmetros de tratamento de efluentes com turbidez entre 50 e 1000 NTU: i) mistura rápida para coagulação (entre 5 e 60 segundos, com gradiente entre 300 e 1000  $\text{s}^{-1}$ ); ii) mistura lenta para

floculação (20 a 40 minutos com gradiente entre 20 e 75 s<sup>-1</sup>); iii) sedimentação entre 15 a 30 min com taxa entre 20 e 40 m<sup>3</sup> por dia.

A Tabela 3 apresenta gradientes e períodos de velocidade de mistura rápida e lenta, tempo de sedimentação, faixa de pH trabalhada e a dosagem de coagulantes aplicadas por outros autores no tratamento de água ou efluentes.

**Tabela 3** – Padrões de tratamento adotados na literatura para os processos de coagulação, floculação e sedimentação.

Autor	pH	Coagulante	Dosagem	Tempos e velocidade de agitação e tempo de sedimentação
[1]	7,19 – 7,49	Sulfato de alumínio ou Tanino	100 – 800 mg.L <sup>-1</sup>	i) T <sub>mr</sub> de 2-5 min a 90 RPM ii) T <sub>ml</sub> de 20-30 min a 35 RPM iii) T <sub>Sed</sub> de 20-30 min
[2]	6,00 – 7,00	PAC ou Tanino	100 – 600 mg.L <sup>-1</sup>	i) T <sub>mr</sub> de 1,5 min a 120 RPM ii) T <sub>ml</sub> de 30 min a 45 RPM iii) T <sub>Sed</sub> de 60 min
[3]	6,90	Tanino	500 mg.L <sup>-1</sup>	i) T <sub>mr</sub> de 1 min a 100 RPM ii) T <sub>ml</sub> de 30 min a 50 RPM iii) T <sub>Sed</sub> de 120 min
[4]	7,15 – 7,90	PAC ou Tanino	0 – 45 mg.L <sup>-1</sup>	i) T <sub>mr</sub> de 1 min a 200 RPM ii) T <sub>ml</sub> de 5 min a 60 RPM iii) T <sub>Sed</sub> de 10 min
[5]	3,00 – 6,00	Cloreto férrico	300 – 700 mg.L <sup>-1</sup>	i) T <sub>mr</sub> de 1 min com G <sub>mr</sub> de 600 s <sup>-1</sup> ii) T <sub>ml</sub> de 20 min com G <sub>ml</sub> de 20 s <sup>-1</sup> iii) T <sub>Sed</sub> de 6 horas
[6]	3,60 – 6,40	Cloreto férrico	150 – 540 mg.L <sup>-1</sup>	i) T <sub>mr</sub> de 1 min com G <sub>mr</sub> : 600 s <sup>-1</sup> ii) T <sub>ml</sub> de 20 min com G <sub>ml</sub> : 20 s <sup>-1</sup> iii) T <sub>Sed</sub> de 2,5 horas

Fonte: [1] Couto Junior, Barros e Pereira (2013); [2] Dela Justina et al. (2018); [3] Ferrari-Lima et al. (2012); [4] Hameed et al. (2016); [5] Felici et al. (2013); [6] Kawahigashi et al (2014).

O uso de determinados sais com alumínio como coagulantes pode transformar os benefícios do tratamento em riscos, já que o ambiente pode se tornar altamente tóxico pela disposição inadequada do lodo gerado (APHA, 2017).

Filho, Marguti e Piveli (2009) observam que as características e quantidades de lodo geradas pelo tratamento de água devem ser analisadas, já que o transporte e a disposição final deste resíduo podem ser onerosos. Segundo Vaz et al. (2010), tratamentos realizados com coagulantes orgânicos, por serem biodegradáveis, facilitam a compostagem e disposição final do lodo, bem como a desidratação para redução do volume final.

Sendo assim, pelo tratamento de água ser geralmente realizado por coagulantes oriundos do alumínio e do ferro, tem-se a necessidade de pesquisas relacionadas a outros possíveis coagulantes, buscando ainda a obtenção de técnicas que apresentem resíduos sólidos (lodos) em menor quantidade (SIMATE et al., 2012; FILHO e WAELKENS, 2009).

### 3.3. TRATAMENTO FÍSICO QUÍMICO

#### 3.3.1 Coagulação

Sabe-se que os materiais poluentes após serem dissolvidos em meio líquido podem se dispersar como moléculas ou íons, gerando dificuldades para a remoção desses materiais devido ao seu tamanho reduzido. Devido às forças de repulsão ou atração de partículas, pode ser gerada uma estabilidade das suspensões coloidais, que pode ser quebrada com a inserção de produtos conhecidos como coagulantes (SCHOLZ, 2015).

A coagulação é efetivada geralmente por meio de mistura rápida, podendo ser hidráulica ou mecânica, com o objetivo de desestabilizar as partículas, possibilitando a união de pequenos agregados (SIMATE et al., 2012). Geralmente o tempo de mistura rápida e coagulação são pequenos, pois as reações de hidrólise e precipitação são praticamente instantâneas (RICHTER, 2009).

A Tabela 4 mostra os principais mecanismos de coagulação, que foram descritos por Di Bernardo e Dantas (2005).

**Tabela 4 – Mecanismos de coagulação.**

Mecanismo	Características
Adsorção e formação de pontes	Pela inserção de grupos de alto peso molecular, cria pontes para a ligação das partículas e desestabilização de coloides;
Adsorção e neutralização de cargas	Ao adsorver partículas de carga contrária aos coloides, impede a estabilidade das partículas;
Compressão da dupla camada elétrica	Pela adição de íons de carga contrária as partículas coloidais, diminui a espessura da camada, reduzindo a estabilidade e o potencial zeta, e gerando o domínio forças de Van der Waals;
Varredura	Inserção de determinadas doses de coagulante em relação aos íons presentes, para formação de precipitados de alta velocidade de sedimentação, pela formação de grandes flocos.

Fonte: Di Bernardo e Dantas (2005).

Ainda que se tenham valores semelhantes para os aspectos físico-químicos do efluente a ser tratado e de efluentes apresentados na literatura, as condições ideais de coagulação podem demandar estudo especial para cada caso, já que águas provenientes de fontes diferentes podem apresentar resultados variados (CAMPOS; DI BERNARDO; VIEIRA, 2005).

A obtenção de dados experimentais obtidos em ensaios de coagulação se apresenta de forma importante, já que a dosagem de coagulante e a alcalinidade presentes no efluente influenciam diretamente na eficiência desta etapa (RICHTER, 2009).

Scholz (2015) observa que grande parte dos coagulantes são produtos de sais de alumínio ou de ferro, que após a hidrólise, apresentam acidez. Sendo assim, o efluente tratado deve ter ou receber alcalinidade suficiente para permanecer na faixa ótima de coagulação e floculação.

Quando a eficiência do tratamento é insuficiente mesmo utilizando das faixas ótimas de tratamento, tem-se a inserção de floculantes para aperfeiçoar o processo, que é um método utilizado em grande escala por diversas estações de tratamento de água por tratar-se de um processo eficiente e viável economicamente, (ZHAOYANG et al., 2017).



### 3.3.2. Floculação

A floculação tem por objetivo agregar pequenas partículas coaguladas, formando flocos, que tendem a facilitar a etapa de sedimentação das impurezas. A formação dos flocos ocorre através de colisões provenientes do movimento das moléculas. Para a otimização deste processo, geralmente são analisados e controlados os seguintes parâmetros: i) alcalinidade; ii) cor aparente; iii) pH; iv) temperatura e v) turbidez.

Ritcher (2009) descreve que sistemas que utilizam gradientes de floculação decrescentes possuem vantagem perante aos que apresentam um gradiente constante. Isso ocorre, pois gradientes de velocidade maiores formam os flocos mais rapidamente, porém ao atingir o limite de crescimento destes flocos, ocorre o seu rompimento pelas forças de cisalhamento. Benn et al. (2018) confirmam a necessidade de controlar as condições de floculação, pois a duração ou intensidade das ações de cisalhamento possuem grande importância para a eficácia do tratamento.

Simate et al. (2012) descrevem que a floculação ocorre pela movimentação da água em agitação lenta, com um gradiente de velocidade inferior ao utilizado na coagulação e durante um período de tempo maior, com o objetivo de realizar o choque das partículas geradas na coagulação e conseqüentemente a união das mesmas, gerando as partículas conhecidas como flocos. Enquanto na coagulação tais autores utilizam um gradiente de aproximadamente  $180 \text{ s}^{-1}$ , na floculação adotam um gradiente de  $50 \text{ s}^{-1}$ .

Segundo Bartiko e De Julio (2015), os principais parâmetros que podem determinar o desempenho da floculação são o gradiente de velocidade, tempo de floculação ( $T_{ml}$ ) associados ao tipo e geometria do equipamento floculador. Para a execução de sua pesquisa, estes autores utilizaram um gradiente de  $20 \text{ s}^{-1}$  durante um tempo de floculação de 20 minutos.

Ainda que os testes laboratoriais determinem uma base para o tratamento, deve-se realizar um acompanhamento da operação em escala real, para concluir os parâmetros ótimos de trabalho (SCHOLZ, 2015).

### 3.3.3. Sedimentação

A sedimentação é uma operação unitária que ocorre com a finalidade depositar no fundo do sistema as partículas geradas pelo processo de floculação. As características das partículas a serem sedimentadas (peso, tamanho e estrutura) são fatores relevantes para o sucesso desta etapa (NAN et al., 2018).

Segundo Scholz (2015), trata-se do principal processo para o tratamento primário de águas residuais. Os poluentes que são sedimentados para o fundo do tanque são denominados como lodo, enquanto que os sobrenadantes são conhecidos como espuma.

Com a atuação das forças gravitacionais, a diferença de densidade das partículas e da água gera a separação das partículas poluidoras da água. Este processo pode ser denominado como sedimentação quando se refere às partículas floculentas ou como decantação quando relativo a água do sistema, sendo realizado em tanques específicos (RICHTER, 2009).

## 3.4. TIPOS DE COAGULANTES

Apesar de ser comum a utilização de sais de alumínio ou de ferro na indústria de tratamento de água, nos últimos anos estão sendo estudados diversos tipos de coagulantes orgânicos (LOGANATHANA; SATHTHASIVAM E SARP, 2018).

Este tipo de pesquisa se mostra importante devido aos problemas consequentes do uso de produtos inorgânicos, já que o lodo gerado no processo pode apresentar danos ao meio ambiente e a saúde humana, ou seja, requer um tratamento e disposição final adequada (JUNIOR E ABREU, 2018).

Entre os coagulantes inorgânicos, destacam-se o cloreto férrico, cloreto de polialumínio e o sulfato de alumínio. Já entre os orgânicos são evidenciados os taninos, a *Moringa oleifera* e a quitosana (VAZ et al., 2010; JUNIOR E ABREU, 2018).

### 3.4.1. Cloreto férrico

É um produto obtido através da reação entre ácido clorídrico e minério de ferro. É um sal comumente utilizado no tratamento de águas residuais, podendo ser

inserido tanto no efluente primário quanto no secundário, com a função de realizar a coagulação de sólidos presentes no efluente (LIKOSOVA et al., 2013). O reaproveitamento do óxido de ferro ( $\text{Fe}_2\text{O}_3 + 6\text{HCl} \rightarrow \text{H}_2\text{O} + \text{FeCl}_3$ ) é uma das possíveis reações para a criação do cloreto férrico (LOPES et al., 2015).

Trata-se de um conhecido produto químico, que ao ser utilizado como coagulante no tratamento de água, possibilita a formação de flocos grandes, facilitando a posterior remoção de substâncias húmicas (SUN, S. et al., 2015).

De Julio et al. (2009) relata que o cloreto férrico pode realizar a coagulação através dos mecanismos de varredura com pH de coagulação entre 5,25 e 8,25 ou pela adsorção e neutralização de cargas (valores inferiores de pH em relação aos aplicados no processo de varredura).

#### 3.4.2. Cloreto de polialumínio (PAC)

O cloreto de polialumínio é um sal denominado pela fórmula química  $\text{Al}_n(\text{OH})_m\text{Cl}_{3n-m}$ , onde “n” e “m” são variáveis que determinam a basicidade do produto, que é conhecido pela sigla PAC (Poly Aluminium Chloride).

É um material conhecido pela eficiência de coagulação em processos de tratamento tradicionais de efluentes, bem como por meio de metodologias de superfície de resposta, dependendo das características adequadas, como pH, velocidade de agitação e dosagem do produto (CHEN et al., 2015).

Trata-se de um coagulante muito utilizado para processos de clarificação de água e efluentes, que se popularizou devido aos resultados superiores relativos a outros coagulantes utilizados em grande escala. Entretanto, nos últimos anos, devido a estudos atrelarem doenças cancerígenas e o mal de Alzheimer a sais de alumínio, o uso de coagulantes alternativos vem sendo estudado (BELTRÁN-HEREDIA E SÁNCHEZ-MARTÍN, 2009; ZANETI, ETCHEPARE E RUBIO, 2013)

A determinação destes parâmetros pode ser encontrada de diversas formas na literatura, entretanto cada efluente possui características específicas, sendo a realização de ensaios a melhor maneira de determinar concentrações e parâmetros adequados no tratamento.

### 3.4.3. Tanino

Segundo Lopes et al. (2019), o tanino comercial é obtido após a modificação química do tanino extraído da casca da árvore *Acácia mearnsii*. É um produto utilizado como substituto de coagulantes inorgânicos no tratamento de água e efluentes, facilitando o posterior descarte do lodo, etapa problemática de tratamentos realizados com sais de alumínio.

Segundo a Tanac (2018), o tanino é um produto que pode ser utilizado como coagulante, auxiliar de floculação ou floculante, podendo ainda ser combinado com outros produtos para análise de desempenho.

Entre as vantagens deste produto, extraído de árvores encontradas com fartura na natureza, destaca-se o processo de decomposição do lodo, já que o tanino é biodegradável. É um produto que pode atuar em uma faixa de pH entre 4,5 e 8,0 e não interfere na alcalinidade do efluente (JUNIOR E ABREU, 2018).

Os coagulantes orgânicos, como o tanino, a *Moringa oleifera* e a quitosana vêm sendo amplamente estudados para serem substitutos dos coagulantes inorgânicos convencionais no tratamento de água e efluentes. O tanino vem se destacando por apresentar resultados satisfatórios nos sistemas de tratamento físico-químico (ARISMENDI et al., 2018; BELTRAN-HEREDIA E SANCHEZ-MARTÍN, 2009).

### 3.4.4. Polímeros

São auxiliares de floculação que podem ser naturais ou sintéticos, utilizados na etapa de floculação. Podem atuar através da formação de pontes de polímeros para a geração de flocos maiores (STANBURY; WHITAKER; HALL, 2017).

Tratando-se dos polímeros sintéticos, problemas similares aos sais de alumínio podem ser observados, já que também podem ser produtos nocivos à saúde humana e ao meio ambiente, além de não serem biodegradáveis (JUNIOR E ABREU, 2018).

Geralmente, os polímeros são aplicados em situações nas quais os resultados apresentados pela etapa de coagulação no processo de tratamento físico-químico podem ser considerados insuficientes ou quando se deseja reduzir a quantidade de coagulante utilizada.

De modo geral, os polímeros podem ser definidos como compostos de cadeias longas que visam aumentar o tamanho e o peso dos flocos durante a floculação, otimizando a sedimentação subsequente.

Os polímeros catiônicos produzem íons positivos ao serem dissolvidos na água propiciando sua reação com partículas negativas, enquanto os polímeros aniônicos buscam remover partículas com cargas positivas. Já os não-iônicos liberam tanto íons negativos quanto positivos (SCHOLZ, 2015).

## 4. MATERIAIS E MÉTODOS

O presente trabalho foi realizado seguindo a seguinte ordem: i) primeira coleta de efluente; ii) testes de tratamento em escala de bancada; iii) análises de resultados para possíveis aprimoramentos das variáveis de tratamento utilizadas; iv) segunda coleta de efluente; ensaios com parâmetros aprimorados; v) verificação das variações dos resultados entre o efluente da primeira e segunda coleta; vi) ensaios de tratamento nos pontos ótimos; vii) análise dos resultados finais (pontos ótimos).

### 4.1. EFLUENTE DE ESTUDO

O efluente utilizado para os testes preliminares de tratamento físico-químico em escala de bancada foi coletado entre agosto e outubro do ano de 2018, em uma empresa de reciclagem de plástico localizada na região norte do estado do Paraná. A Figura 2 fornece a imagem superior da empresa.

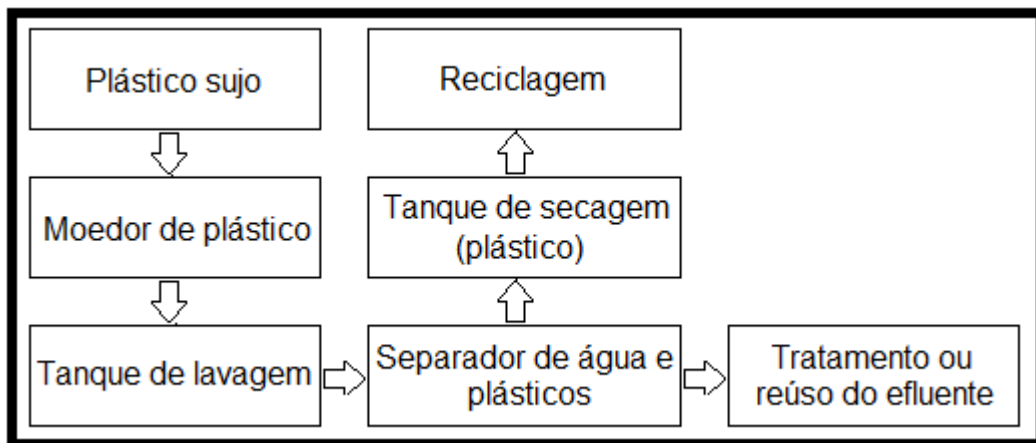
**Figura 2** – Vista superior da empresa de reciclagem de plásticos.



Fonte: Google Maps (2019).

Na Figura 3 é apresentado o fluxograma dos processos pelos quais o plástico é reciclado. A empresa possui um sistema de moagem de plástico que utiliza água como operação de limpeza. O processo de lavagem do plástico acaba deteriorando a qualidade da água, e por consequência, tem-se a necessidade de tratar o efluente antes de descartá-lo ou mesmo aplicar técnicas de tratamento visando o reúso.

**Figura 3** – Etapas do processo de reciclagem de plástico da empresa estudada.

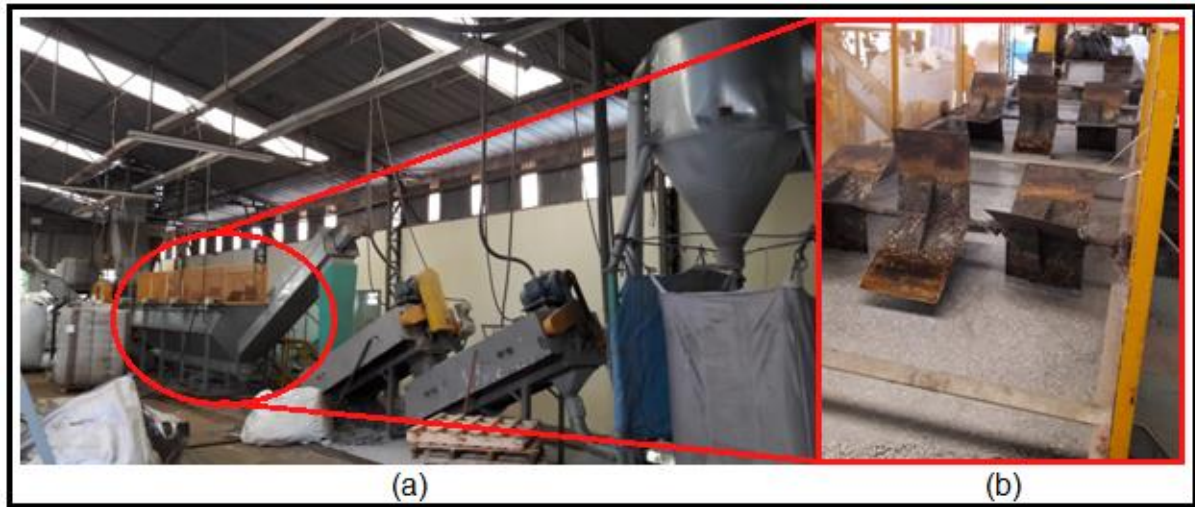


Fonte: Autoria Própria (2018).

Recipientes plásticos foram utilizados para coletar os efluentes. Os principais recipientes recomendados para coletar efluentes geralmente são de vidro, indicada para análise de compostos reativos e para análise microbiológica, ou de plástico, indicada para compostos orgânicos e inorgânicos, com a vantagem de ser mais leve e ter maior resistência a queda (CETESB, 2011).

A coleta foi realizada no tanque de lavagem da empresa (Figura 4a e 4b), localizado após o moinho de plástico. Esta coleta foi feita com auxílio de baldes e cordas, para o enchimento de 10 galões de plástico de material opaco e com 20 litros de capacidade, totalizando 200 litros de efluente para os ensaios. O local de coleta do efluente a ser estudado foi escolhido de acordo com o objetivo da pesquisa visando: i) avaliar o tratamento; ii) atingir os parâmetros legislativos; iii) projetar um sistema de tratamento; iv) implantar medidas para melhorar o desempenho do sistema existente (CETESB, 2011).

**Figura 4** – Sistema de lavagem da empresa (a) e tanque de lavagem (b).



Fonte: Autoria Própria (2018).

Os recipientes foram lavados e limpos antes da coleta. Segundo a NBR 9898 (1987), toda superfície que entre em contato com a amostra deve receber a limpeza adequada. Assim, os galões plásticos utilizados durante a coleta, transporte e armazenamento para amostragem devem ser limpos em conformidade com a análise a ser realizada (APHA, 2017).

O transporte do efluente foi realizado em automóvel tipo *pickup*, mantendo-se os galões amarrados com corda visando evitar transbordamentos ou vazamento (Figura 5a). Após a coleta o efluente foi mantido em um freezer (Figura 5b) com o intuito de manter a temperatura entre 0 e 4°C.

**Figura 5** – Tanques e acessórios utilizados para coleta (a) e freezer de armazenamento do efluente (b).



Fonte: Autoria Própria (2018).

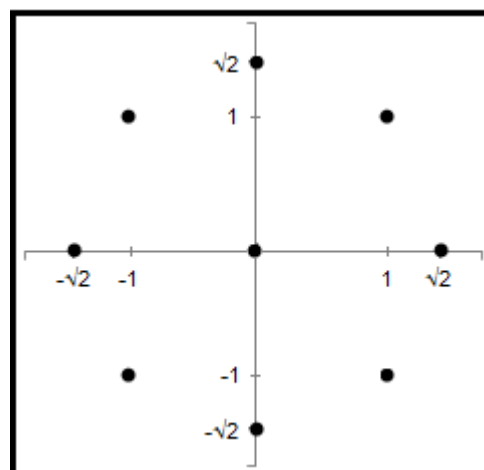


O armazenamento do efluente foi realizado na Universidade Tecnológica Federal do Paraná (UTFPR) - *Campus* Londrina. A CETESB (2011) descreve os métodos de adição química, congelamento ou refrigeração como os principais métodos para preservação, dependendo do tipo de amostra a ser tratada. Para os efluentes, alguns cuidados para a minimização de possível volatilização ou biodegradação do efluente foram observadas: i) manutenção de temperatura inferior a 4 °C, mas sem congelar; ii) utilização de frascos ou recipientes opacos; iii) evitar o uso de conservantes químicos que podem interferir nos resultados (APHA, 2017).

#### 4.2. MÉTODO ESTATÍSTICO

A definição da quantidade de amostras foi definida pelo Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR) utilizado para o planejamento estatístico. Trata-se de um método que busca otimizar a quantidade de ensaios, buscando relacionar os resultados obtidos das variáveis independentes (coordenadas  $-\sqrt{2}$ ,  $-1$ ,  $0$ ,  $1$  ou  $\sqrt{2}$ ). A Figura 6 resume o funcionamento deste tipo de modelagem para cinco pontos.

**Figura 6** – Modelo de experimento fatorial com DCCR de cinco pontos.



Fonte: Autoria própria (2019).

Para a geração dos gráficos de pareto e curva de nível no programa *Statistica*, foram realizados lançamentos considerando todas variáveis. As variáveis que não atingiam o nível de confiabilidade eram desprezadas no programa e realizava-se a geração de novos gráficos, contendo apenas as variáveis significativas.

Sabe-se que o interesse industrial é de eliminar etapas que encarecem e dificultam o processo de tratamento (como a correção do pH de coagulação). Entretanto, o modelo DCCR precisa de no mínimo duas variáveis para sua execução, então o pH de coagulação foi utilizado como variável nos ensaios em que não foi utilizado nenhum polímero floculante..

Para os ensaios em que as variáveis independentes foram o pH de coagulação e a dosagem de coagulante, foram ensaiados 36 jarros. A correção do pH de coagulação foi realizada através da inserção de ácido ou hidróxido, conforme a necessidade de cada ensaio. A dosagem de coagulante e o pH de coagulação de cada jarro são apresentadas pela Tabela 5.

**Tabela 5 – Dosagem de coagulante e pH de coagulação (1ª coleta).**

Jarro	Dose TAN (código)	pH coag. (código)	Dose FeCl <sub>3</sub> (código)	pH coag. (código)	Dose PAC (código)	pH coag. (código)
01	19,90 (-√2)	7,14 (0)	8,09 (-√2)	7,14 (0)	13,77 (-√2)	7,14 (0)
02	37,5 (-1)	6,19 (-1)	18,08 (-1)	6,19 (-1)	29,12 (-1)	6,19 (-1)
03	37,5 (-1)	8,09 (1)	18,08 (-1)	8,09 (1)	29,12 (-1)	8,09 (1)
04	80 (0)	5,80 (-√2)	42,18 (0)	5,80 (-√2)	66,18 (0)	5,80 (-√2)
05	80 (0)	7,14 (0)	42,18 (0)	7,14 (0)	66,18 (0)	7,14 (0)
06	80 (0)	7,14 (0)	42,18 (0)	7,14 (0)	66,18 (0)	7,14 (0)
07	80 (0)	7,14 (0)	42,18 (0)	7,14 (0)	66,18 (0)	7,14 (0)
08	80 (0)	7,14 (0)	42,18 (0)	7,14 (0)	66,18 (0)	7,14 (0)
09	80 (0)	8,48 (√2)	42,18 (0)	8,48 (√2)	66,18 (0)	8,48 (√2)
10	122,5 (1)	6,19 (-1)	66,28 (1)	6,19 (-1)	103,24 (1)	6,19 (-1)
11	122,5 (1)	8,09 (1)	66,28 (1)	8,09 (1)	103,24 (1)	8,09 (1)
12	140,10 (√2)	7,14 (0)	76,27 (√2)	7,14 (0)	118,59 (√2)	7,14 (0)

Fonte: Autoria própria (2019).

Os ensaios em que as variáveis independentes foram a dosagem de coagulante (PAC) e a dosagem de floculante (polímeros aniônico, catiônico e não-iônico), também totalizaram 36 jarros, distribuídos em 12 ensaios para cada polímero floculante. O detalhamento dos ensaios pode ser observado na Tabela 6. Para estes ensaios decidiu-se por não utilizar o modelo DCCR de 3 variáveis, já que sabe-se que o processo de correção de pH é uma etapa indesejada para o setor industrial, devido ao encarecimento financeiro.

**Tabela 6 – Dosagem de coagulante (PAC) e dos polímeros flocculantes (1ª coleta).**

Jarro	Dose PAC (código)	Dose PAN (código)	Dose PAC (código)	Dose PCA (código)	Dose PAC (código)	Dose PNI (código)
01	6,66 (-√2)	10,00 (0)	6,66 (-√2)	10,00 (0)	6,66 (-√2)	20,00 (0)
02	13,24 (-1)	3,64 (-1)	13,24 (-1)	3,64 (-1)	13,24 (-1)	9,39 (-1)
03	13,24 (-1)	16,36 (1)	13,24 (-1)	16,36 (1)	13,24 (-1)	30,61 (1)
04	29,12 (0)	1,00 (-√2)	29,12 (0)	1,00 (-√2)	29,12 (0)	5,00 (-√2)
05	29,12 (0)	10,00 (0)	29,12 (0)	10,00 (0)	29,12 (0)	20,00 (0)
06	29,12 (0)	10,00 (0)	29,12 (0)	10,00 (0)	29,12 (0)	20,00 (0)
07	29,12 (0)	10,00 (0)	29,12 (0)	10,00 (0)	29,12 (0)	20,00 (0)
08	29,12 (0)	10,00 (0)	29,12 (0)	10,00 (0)	29,12 (0)	20,00 (0)
09	29,12 (0)	19,00 (√2)	29,12 (0)	19,00 (√2)	29,12 (0)	35,00 (√2)
10	45,00 (1)	3,64 (-1)	45,00 (1)	3,64 (-1)	45,00 (1)	9,39 (-1)
11	45,00 (1)	16,36 (1)	45,00 (1)	16,36 (1)	45,00 (1)	30,61 (1)
12	51,58 (√2)	10,00 (0)	51,58 (√2)	10,00 (0)	51,58 (√2)	20,00 (0)

Fonte: Autoria própria (2019).

Sendo assim, o efluente da primeira coleta na indústria de reciclagem de plástico totalizou 72 jarros de 2 litros ensaiados (que correspondem a 144 litros de efluente utilizado).

Com o efluente da segunda coleta, foram ensaiados mais 60 jarros para os testes de tratamento. Destes, 24 tiveram como variáveis independentes a dosagem de coagulante (cloreto férrico e PAC) e o pH de coagulação, vide Tabela 7, que apresenta a combinação de cada jarro. Nesta etapa, não foi realizado o tratamento com o coagulante tanino pois através dos resultados obtidos com o efluente da primeira coleta, considerou-se que os pontos ótimos de tratamento já tinham sido encontrados.

**Tabela 7 – Dosagem de coagulante e pH de coagulação (2ª coleta).**

Jarro	Dose FeCl <sub>3</sub> (código)	pH de coagulação (código)	Dose PAC (código)	pH de coagulação (código)
01	7,23 (-√2)	8,25 (0)	5,28 (-√2)	8,25 (0)
02	12,17 (-1)	7,37 (-1)	10,32 (-1)	7,37 (-1)
03	12,17 (-1)	9,13 (1)	10,32 (-1)	9,13 (1)
04	24,10 (0)	7,01 (-√2)	22,50 (0)	7,01 (-√2)

**Tabela 7 – Dosagem de coagulante e pH de coagulação (2ª coleta).**  
(continuação)

Jarro	Dose FeCl <sub>3</sub> (código)	pH de coagulação (código)	Dose PAC (código)	pH de coagulação (código)
05	24,10 (0)	8,25 (0)	22,50 (0)	8,25 (0)
06	24,10 (0)	8,25 (0)	22,50 (0)	8,25 (0)
07	24,10 (0)	8,25 (0)	22,50 (0)	8,25 (0)
08	24,10 (0)	8,25 (0)	22,50 (0)	8,25 (0)
09	24,10 (0)	9,49 ( $\sqrt{2}$ )	22,50 (0)	9,49 ( $\sqrt{2}$ )
10	36,03 (1)	7,37 (-1)	34,68 (1)	7,37 (-1)
11	36,03 (1)	9,13 (1)	34,68 (1)	9,13 (1)
12	40,98 ( $\sqrt{2}$ )	8,25 (0)	39,72 ( $\sqrt{2}$ )	8,25 (0)

Fonte: Autoria própria (2019).

Os outros 36 jarros que completam os 60 experimentos tiveram como variáveis independentes a dosagem de coagulante (PAC) e a dosagem de polímeros (aniônico, catiônico ou não-iônico). A Tabela 8 demonstra as respectivas dosagens utilizadas para cada ensaio.

**Tabela 8 – Dosagem de coagulante (PAC) e de polímero (2ª coleta).**

Jarro	Dose PAC (código)	Dose PAN (código)	Dose PAC (código)	Dose PCA (código)	Dose PAC (código)	Dose PNI (código)
01	5,31 ( $-\sqrt{2}$ )	2,40 (0)	5,31 ( $-\sqrt{2}$ )	2,40 (0)	5,31 ( $-\sqrt{2}$ )	2,40 (0)
02	12,28 (-1)	0,92 (-1)	12,28 (-1)	0,92 (-1)	12,28 (-1)	0,92 (-1)
03	12,28 (-1)	3,88 (1)	12,28 (-1)	3,88 (1)	12,28 (-1)	3,88 (1)
04	29,12 (0)	0,31( $-\sqrt{2}$ )	29,12 (0)	0,31( $-\sqrt{2}$ )	29,12 (0)	0,31( $-\sqrt{2}$ )
05	29,12 (0)	2,40 (0)	29,12 (0)	2,40 (0)	29,12 (0)	2,40 (0)
06	29,12 (0)	2,40 (0)	29,12 (0)	2,40 (0)	29,12 (0)	2,40 (0)
07	29,12 (0)	2,40 (0)	29,12 (0)	2,40 (0)	29,12 (0)	2,40 (0)
08	29,12 (0)	2,40 (0)	29,12 (0)	2,40 (0)	29,12 (0)	2,40 (0)
09	29,12 (0)	4,49 ( $\sqrt{2}$ )	29,12 (0)	4,49 ( $\sqrt{2}$ )	29,12 (0)	4,49 ( $\sqrt{2}$ )
10	45,95 (1)	0,92 (-1)	45,95 (1)	0,92 (-1)	45,95 (1)	0,92 (-1)
11	45,95 (1)	3,88 (1)	45,95 (1)	3,88 (1)	45,95 (1)	3,88 (1)
12	52,93 ( $\sqrt{2}$ )	2,40 (0)	52,93 ( $\sqrt{2}$ )	2,40 (0)	52,93 ( $\sqrt{2}$ )	2,40 (0)

Fonte: Autoria própria (2019).

### 4.3. CONDIÇÕES OPERACIONAIS

Para a determinação das condições operacionais a serem utilizadas durante os experimentos foram realizados pré-testes com o próprio efluente e produtos de tratamento a serem aplicados no trabalho, com o intuito de determinar o método de trabalho mais eficaz para remoção de turbidez, cor aparente e DQO.

Sendo assim, as condições operacionais determinadas foram: mistura rápida (MR) com duração de 1 minuto e gradiente de  $350 \text{ s}^{-1}$ , seguida de três períodos de mistura lenta: 10 minutos com gradiente de  $70 \text{ s}^{-1}$  (ML<sub>1</sub>), 5 minutos com gradiente de  $65 \text{ s}^{-1}$  (ML<sub>2</sub>) e 5 minutos com gradiente de  $55 \text{ s}^{-1}$  (ML<sub>3</sub>), totalizando 20 minutos de floculação. Também foram determinados os tempos de sedimentação de 10 minutos ( $T_{\text{Sed-1}}$ ) e de 30 minutos ( $T_{\text{Sed-2}}$ ).

### 4.4. ENSAIOS NO APARELHO DE JAR-TESTE

Para a realização dos experimentos foram necessárias três etapas: preparo do efluente, tratamento, e análises da eficiência de remoção. Sendo assim, a Tabela 9 exibe os equipamentos utilizados nestas etapas.

**Tabela 9** – Descrição dos equipamentos utilizados no trabalho.

Equipamento	Modelo	Marca
Agitador mecânico	SP144-23	Sppencer
Equipamento de Jar-teste	218-6	Nova Ética
Turbidímetro	AP 2000	Policontrol
Cronômetro de celular	Moto G	Motorola
Espectrofotômetro (Cor aparente)	DR 5000	Hach
Espectrofotômetro (DQO)	DR 2800	Hach
Bloco digestor	D.Q.O BT 750	Biothec
pHmetro	mPA-210	MS Tecnopon

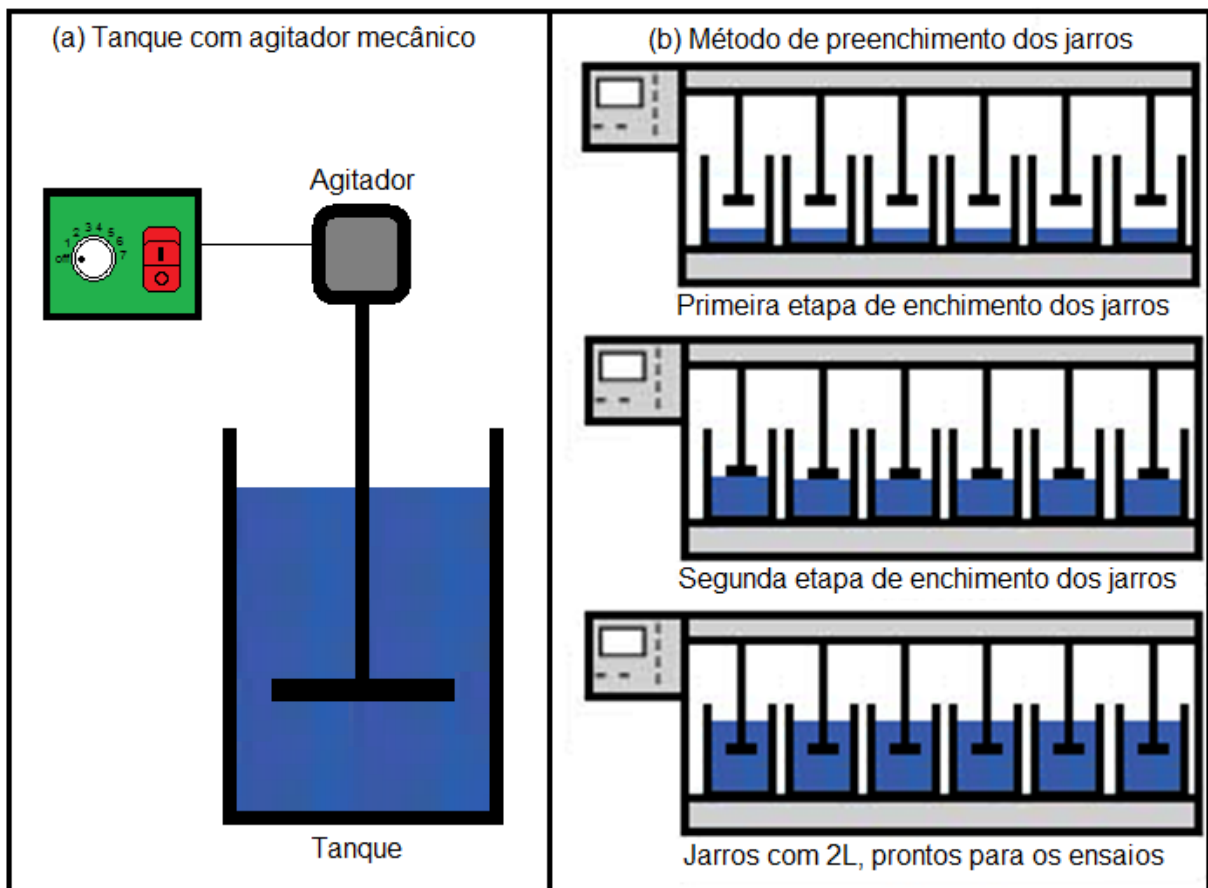
Fonte: Autoria própria (2018).

O preparo do efluente iniciou-se no dia da coleta, devido à mistura dos diferentes galões em um tanque com agitador mecânico (Figura 7a) visando sua homogeneização.

Depois de ser armazenado, o mesmo era retirado do freezer com antecedência para voltar à temperatura ambiente antes da realização dos ensaios de tratamento.

Apesar de ser submetido a um novo processo de agitação, para homogeneização do efluente antes dos ensaios de tratamento, o preenchimento dos jarros foi realizado em três etapas consecutivas (conforme a Figura 7b), visando evitar o risco de algum dos jarros apresentar mais material sedimentado.

**Figura 7** – Tanque com agitador mecânico para homogeneização do efluente (a) e método para preenchimento homogêneo dos jarros (b).



Fonte: Adaptado de Vaz et al. (2010).

Os experimentos de tratamento de efluente foram realizados em um equipamento conhecido como jar-teste, que realiza a mistura da amostra a ser tratada no gradiente de velocidade determinado pelo operador através de rotações de pás agitadoras.

O jar-teste utilizado possui seis recipientes acrílicos, com capacidade volumétrica de dois litros e escala graduada. A inserção dos coagulantes (no início

da mistura rápida) e polímero (início da mistura lenta) foi realizada através de suportes do jar-teste próprios para este fim.

A Figura 8 ilustra o jar-teste da UTFPR, com seis jarros de sedimentação preenchidos com o efluente antes do tratamento.

**Figura 8** – Equipamento de jar-teste.



Fonte: Autoria própria (2018).

#### 4.5. VARIÁVEIS OBSERVADAS

Para a realização das análises de tratamento, antes da utilização dos equipamentos eram realizadas as limpezas, esterilizações e calibrações necessárias, segundo o manual de instruções de cada equipamento. As análises feitas no presente trabalho seguiram as recomendações da APHA (2017), sendo que os métodos analíticos utilizados são descritos na Tabela 10.

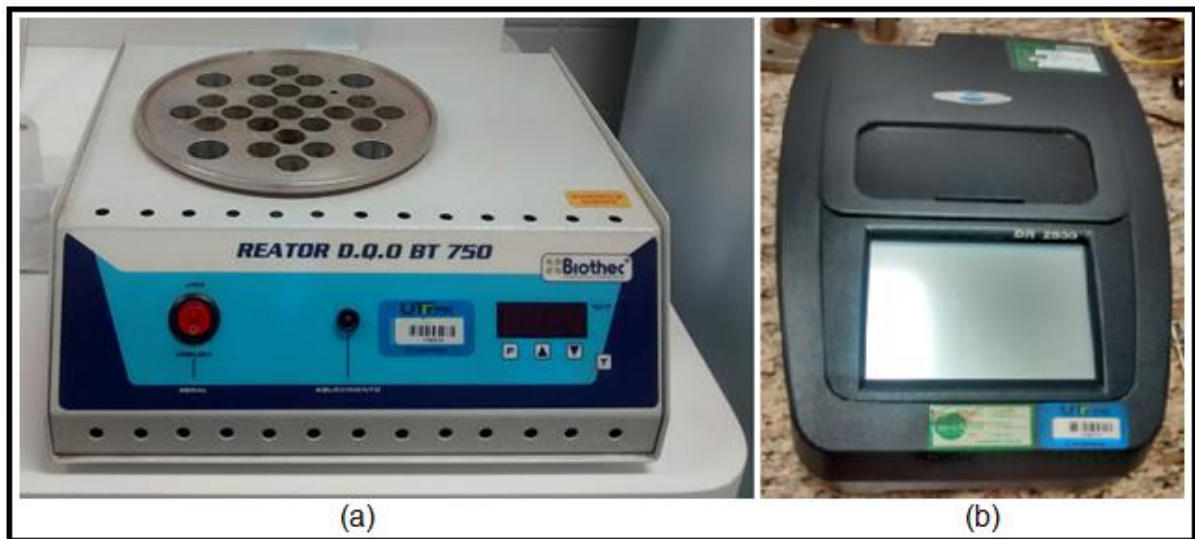
**Tabela 10** – Métodos analíticos utilizados para determinar a eficiência de tratamento.

Parâmetro	Método analítico
Cor aparente (uH)	2120 C – Método de espectrofotometria
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	5220 D – Método colorimétrico, refluxo fechado
pH (1-13)	4500 H+ B – Método eletrométrico
Turbidez (NTU)	2130 B – Método nefelométrico

Fonte: APHA (2017).

Para a leitura da demanda química de oxigênio, foi utilizado um bloco digestor (Figura 9a) previamente aquecido até a temperatura de 150 °C. Após este processo, a mistura é esfriada até a temperatura ambiente, para a realização da leitura de absorvância a 620 nm, feita em espectrofotômetro (Figura 9b) e posterior lançamento na equação da curva padrão de DQO (apresentada no Anexo A).

**Figura 9** – Bloco digestor (a) e equipamento de leitura (b).



Fonte: A autoria própria (2018).

A leitura de cor aparente foi realizada em outro espectrofotômetro (Figura 10c) que possuía o limite mínimo de leitura em 1 uH. Para turbidez foi utilizado um turbidímetro (Figura 10b) com valor mínimo de 0,10 NTU. Finalmente, o pH foi medido por meio de um pHmetro (Figura 10a).

**Figura 10** – pHmetro (a), turbidímetro (b) e espectrofotômetro (c).



Fonte: A autoria própria (2018).



Segundo a APHA (2017), deve-se tomar o devido cuidado de realizar as calibrações dos equipamentos, tanto iniciais quanto rotineiras, seguindo as recomendações do fabricante. Macêdo (2013) sugere aguardar o tempo de estabilização dos equipamentos após serem ligados, evitando realizar a calibração imediata. Também deve-se tomar o cuidado de aguardar o desaparecimento de bolhas formadas na homogeneização da amostra, bem como realizar a limpeza externa das cubetas com papel macio, antes de realizar a leitura nos aparelhos.

#### 4.6. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para facilitar a leitura da eficiência de tratamento obtida em cada ensaio, foi utilizado o *software* Statistica, pelo método DCCR, onde as variáveis dependentes foram: i) Turbidez com 10 minutos de sedimentação; ii) Turbidez com 30 minutos de sedimentação; iii) Cor aparente com 10 minutos de sedimentação; iv) Cor aparente com 30 minutos de sedimentação; v) DQO com 10 minutos de sedimentação; vi) DQO com 30 minutos de sedimentação.

As variáveis independentes, para os ensaios sem floculante foram as dosagens de coagulante e pH de coagulação, enquanto nos ensaios com floculante foram as dosagens de coagulante e de polímero sintético.

Pelo *software* foi possível obter os valores de pareto e análise de variância, os gráficos de curvas de nível e seus modelos matemáticos (equações com variáveis lineares ou quadráticas). A confirmação da aderência dos resultados foi obtida por um processo de regressão feito no programa Excel.

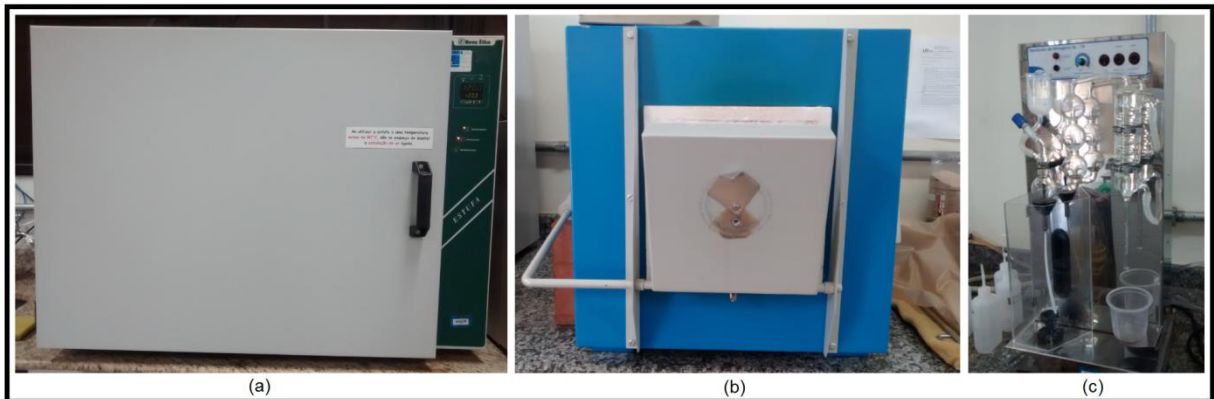
Os resultados obtidos pelo efluente tratado nos pontos ótimos foram comparados com os limites de lançamento das Resoluções CONAMA 357 (2005) SEMA 21 (2009) e CONAMA 430 (2011), com os limites de descarte na rede de esgoto do decreto Nº 8.468 da CETESB (1976) e com as exigências para o reúso apresentadas pelo manual de Conservação e Reúso de água em Edificações da (ANA, 2005), pela NBR 13969 (ABNT, 1997) e pela Portaria Nº 2.914 (MINISTÉRIO DE ESTADO DA SAÚDE, 2011).

#### 4.7. DESENVOLVIMENTO NO PONTO ÓTIMO

Após a determinação dos melhores valores quanto aos parâmetros de tratamento obtidos por cada produto químico em determinada faixa de pH de coagulação e floculação, foi realizada uma análise qualitativa mais detalhada visando descobrir o potencial da eficiência de remoção no tratamento de efluente de reciclagem de plástico para viabilidade de reúso de água.

Desta forma, alguns dos equipamentos utilizados para esta etapa de análise podem ser observados na Figura 11, como a estufa com circulação de ar, forno tipo mufla e destilador de nitrogênio.

**Figura 11** – Estufa (a), forno mufla (b) e destilador de nitrogênio (c).



Fonte: Autoria própria (2019).

A Tabela 11 apresenta os métodos utilizados para as análises da água residuária obtida nos pontos ótimos de trabalho.

**Tabela 11** - Métodos analíticos utilizados para ponto ótimo.

Parâmetro	Método analítico
Condutividade elétrica ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	2510 B – Método de laboratório
Cone Inhoff ( $\text{mL.L}^{-1}$ )	2540 F – Método de sólidos sedimentáveis
Fósforo total ( $\text{mg.P-PO}_4.\text{L}^{-1}$ )	4500 P – Método redução com ácido ascórbico
Nitrogênio ( $\text{mg.N-NH}_3.\text{L}^{-1}$ )	4500 $\text{NH}_3$ C – Método titrimétrico
Sólidos totais ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	2540 B – Sólidos totais secos a 103-105°C
Sólidos suspensos ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	2540 D – Sólidos suspensos totais secos a 103-105°C
Sólidos fixos e voláteis ( $\text{mg.L}^{-1}$ )	2540 E – Sólidos fixos e voláteis inflamados a 550°C

Fonte: APHA (2017).

#### 4.8. CARACTERÍSTICAS DOS COAGULANTES E FLOCULANTES

Para o presente trabalho foram utilizados como coagulantes o cloreto férrico, o cloreto de polialumínio e o tanino, bem como três tipos de polímeros floculantes. Em todos os ensaios em que foram utilizados polímeros, o coagulante adotado foi o PAC. Essa escolha foi tomada pela maior eficiência deste produto frente ao cloreto férrico e também devido ao uso do tanino como coagulante orgânico. Neste último contexto, não se desejava combiná-lo com um produto químico que dificultaria a disposição final do lodo.

Foram utilizados dois tipos de PAC (produtos semelhantes, mas com concentrações de alumínio diferentes). A Tabela 12 mostra as principais especificações de ambos os produtos utilizados.

**Tabela 12 – Propriedades físico-químicas do PAC.**

Parâmetro	Especificação
Aspecto	Líquido amarelo
Cor	Âmbar
pH (PAC 2701)	2,0 – 4,0 (solução 10% a 25°C)
pH (PAC 2703)	3,0 – 6,0 (solução 10% a 25°C)
Solubilidade	Solúvel em água
Densidade (PAC 2701)	1,15 a 1,30 g.mL <sup>-1</sup> a 25°C
Densidade (PAC 2703)	1,30 a 1,40 g.mL <sup>-1</sup> a 25°C
Teor de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (PAC 2701)	9,0 a 12,0 %
Teor de Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (PAC 2703)	16,0 a 18,0 %
Basicidade livre (PAC 2703)	Min. 40 (% em massa)

Fonte: Adaptado de DND Química (2015a; 2015b).

Sabe-se que o cloreto férrico é um coagulante que se for utilizado em excesso pode reduzir a eficiência do tratamento de efluentes, já que parte do produto fica em solução sem participar dos processos de coagulação e floculação (Vaz et al., 2010), então deve-se tomar o devido cuidado ao utilizá-lo. A concentração de ferro na solução de cloreto férrico foi de 35%. As principais características deste tipo de coagulante foram apresentadas na Tabela 13.

**Tabela 13 – Propriedades físico-químicas do cloreto férrico.**

Parâmetro	Especificação
Aspecto	Líquido marrom avermelhado
Odor	Pungente e irritante (azedo)
pH	2,0 máximo a 20°C
Faixa de destilação	Não estabelecido
Ponto de fulgor	Não estabelecido
Explosividade	Não explosivo
Pressão de vapor	Solução de 30% - 40 mmHg a 35°C
Densidade	1,38 a 1,42 g.(cm <sup>3</sup> ) <sup>-1</sup> (20 – 4)°C
Solubilidade	Miscível com água
Viscosidade	Solução a 40% - 12,1 Pás (cP) a 20°C

Fonte: CIMIL (2010).

O coagulante tanino é um produto de origem vegetal, com característica de polímero orgânico-catiônico, mas que foi utilizado como coagulante neste trabalho. As especificações do tanino utilizado (TANFLOC SG) estão presentes na Tabela 14.

**Tabela 14 – Propriedades físico-químicas do tanino.**

Parâmetro	Especificação:
Aspecto	Pó fino higroscópico
Umidade ao embalar (%)	4,5 – 6,5
Viscosidade	Não Aplicável
Sólidos Totais	Não Aplicável
pH (sol. 10%)	1,8 – 2,7
Consumo de alcalinidade	Inexistente
Alteração do pH da água	Inexistente
Solubilidade	Solúvel em água

Fonte: TANAC (2018).

Para este trabalho foram utilizados três tipos de polímeros, que buscam aperfeiçoar o processo de floculação, através da criação de flocos maiores ou mais densos, que tendem a facilitar a etapa de sedimentação. A Tabela 15 apresenta as principais propriedades dos polímeros utilizados.

**Tabela 15 – Propriedades físico-químicas dos polímeros sintéticos.**

Parâmetro	Polímero aniônico	Polímero catiônico	Polímero não-ionico
Aspecto	Pó granulado	Pó granulado	Pó granulado
Cor	Branco	Branco	Branco
Acrilamida residual	Max. De 500 ppm	999 ppm	0 a 999 ppm
pH (solução 0,5%)	7,0 a 9,0	3,0 a 5,0	Não informado
Solubilidade	Solúvel em água	Solúvel em água	Solúvel em água
Sólidos	Min. 87%	Min. 90%	Não informado
Sólidos não voláteis	Não informado	Não informado	36-43%
Insolúveis (%)	Max. 2,0	Max. 2,0%	Não informado
Viscosidade	3,60 a 6,0	2,7 a 4,1	4.30 – 5.70
Carga (Meq.g <sup>-1</sup> )	24,2 a 42,00	Não informado	Não informado
Peso molecular	Alto	Alto	Não informado

Fonte: Adaptado de Purewater Controle de Efluentes Ltda (2018) e DND Química (2016a; 2016b).

## 5. RESULTADOS

Para o desenvolvimento do trabalho de pesquisa foram realizadas duas coletas de efluente devido ao grande volume utilizado para ensaios de jar-teste. O desenvolvimento do capítulos resultados foi dividido em três partes:

- 5.1 – Resultados dos ensaios realizados com o efluente da primeira coleta na indústria de reciclagem;
- 5.2 – Resultados dos ensaios realizados com o efluente da segunda coleta na indústria de reciclagem;
- 5.3 – Resultados em pontos otimizados realizados com o efluente da segunda coleta.

A discussão destes resultados será realizada posteriormente em um tópico específico, após a apresentação dos resultados. Neste trabalho foram utilizados e confeccionados gráficos de curva de nível (vide Anexo B) a partir da metodologia DCCR.

Assim, as principais características físico-químicas do efluente bruto coletado foram associados a eficiência de remoção de cada tipo de coagulante e floculante. A Tabela 16 apresenta um resumo sobre os parâmetros e valores da primeira coleta, onde foram avaliados a cor aparente, turbidez, pH e DQO.

**Tabela 16 – Características do efluente bruto da primeira coleta.**

Parâmetros	Média
Cor aparente (uH)	772,13 ± 50,77
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	2048,44 ± 287,50
Turbidez (NTU)	311,33 ± 19,56
pH	7,00 ± 0,10

Fonte: Autoria própria (2019).

Já a Tabela 17 mostra as características físico-químicas do efluente da segunda coleta com inserção dos parâmetros e valores de condutividade elétrica, fósforo total, alcalinidade, nitrogênio total e série de sólidos.

**Tabela 17 – Características do efluente bruto da segunda coleta.**

Parâmetros	Média
Cor aparente (uH)	3046,40 ± 165,68
Turbidez (NTU)	1229,82 ± 118,10
pH	7,04 ± 0,04
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	3465,35 ± 448,81
Condutividade elétrica (μS.cm <sup>-1</sup> )	484,0 ± 6,51
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	3792 ± 1187,1
STF (mg.L <sup>-1</sup> )	516 ± 63,31
STV (mg.L <sup>-1</sup> )	3276 ± 1149,12
SSF (mg.L <sup>-1</sup> )	326,50 ± 39,36
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	3690,50 ± 763,88
SSV (mg.L <sup>-1</sup> )	3364 ± 747,54
Fósforo total (mg P-PO <sub>4</sub> .L <sup>-1</sup> )	0,943 ± 0,022
NTK (mg N-NTK.L <sup>-1</sup> )	37,07 ± 5,70
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	232,60 ± 3,68

Fonte: Autoria própria (2019).

Analisando-se as variações entre os resultados do efluente da primeira para o da segunda coleta (vide Tabelas 16 e 17), verifica-se um aumento considerável da cor aparente, turbidez e DQO. Porém, o pH manteve-se praticamente estável. Esta modificação do efluente pode ter ocorrido pela variação do processo de lavagem do sistema de reciclagem de plástico, pois as coletas foram realizadas em condições de operação similares.

Porém, destaca-se que para efeito de determinação dos coagulantes e floculantes ótimos, esta variação pode ser conciliada com o item 5.3; onde foram realizados ensaios para os melhores efeitos. Fato que permite avaliar de forma comparativa os resultados obtidos.

---

**5.1.**  
**RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS COM O EFLUENTE DA PRIMEIRA**  
**COLETA NA INDÚSTRIA DE RECICLAGEM**

---



A Tabela 18 apresenta os resultados de turbidez obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de coagulante (cloreto de polialumínio) e floculante (polímero aniônico).

**Tabela 18** – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC e PAN com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 314,25 NTU	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	Média
Dosagem PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	13,24	45,00	13,24	45,00	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	51,58	6,66	29,12
Dosagem PAN (mg.L <sup>-1</sup> )	3,64	3,64	16,36	16,36	19,00	1,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Turbidez 10 min (NTU)	0,10	5,89	0,67	4,28	0,39	14,30	0,27	0,54	0,35	0,89	23,10	1,23	4,33
Remoção turbidez 10 min (%)	99,97	98,13	99,79	98,64	99,88	95,45	99,91	99,83	99,89	99,72	92,65	99,61	98,62
Turbidez 30 min (NTU)	0,10	1,02	0,10	0,84	0,10	3,68	0,23	0,16	0,28	0,88	14,70	0,86	1,91
Remoção turbidez 30 min (%)	99,97	99,68	99,97	99,73	99,97	98,83	99,93	99,95	99,91	99,72	95,32	99,73	99,39
pH pós tratamento (10 min)	6,74	6,02	6,78	6,10	6,62	6,44	6,64	6,66	6,62	6,72	5,84	7,17	6,53
pH pós tratamento (30 min)	6,82	6,01	6,55	6,14	6,39	6,35	6,48	6,57	6,54	6,59	5,86	7,00	6,44

Fonte: Aatoria Própria (2019).

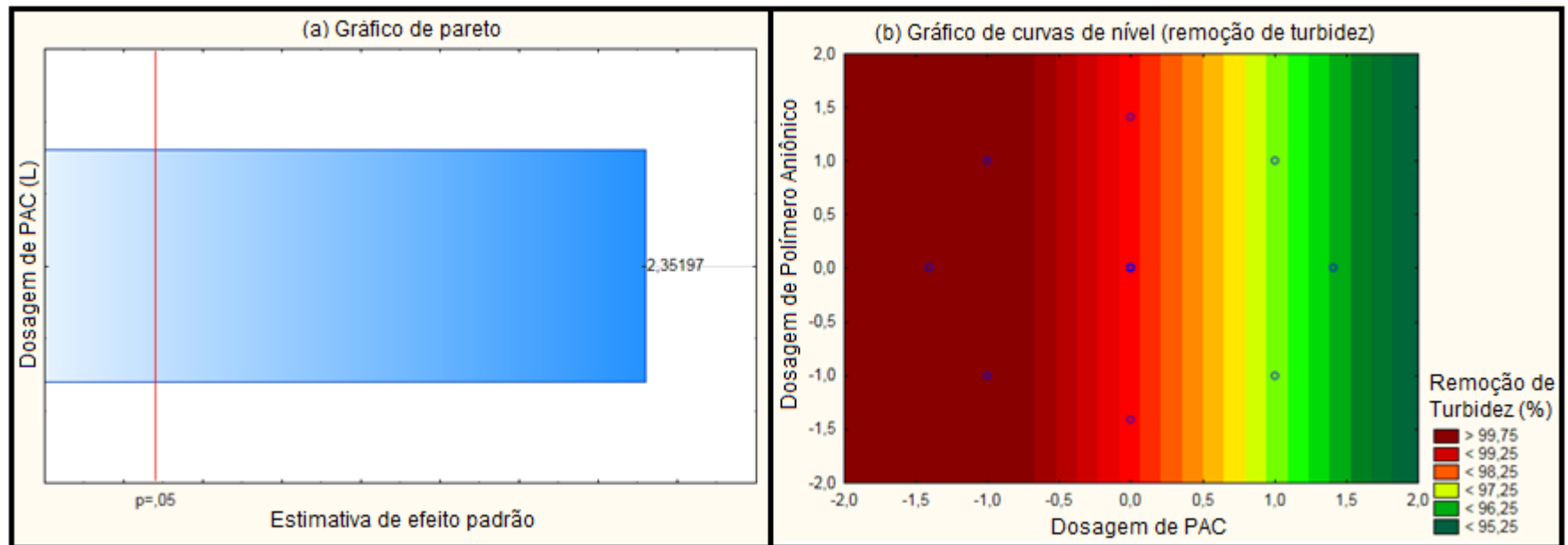
Pelos resultados apresentados na Tabela 18, verifica-se que a diferença no tempo de sedimentação não apresentou significância para o pH (redução de 6,53 para 6,44). A faixa de valores de pH para os tempos de sedimentação avaliados foi de 5,84 a 7,17, com pH médio de 6,49 e desvio padrão de 0,34.

A turbidez para o tempo de 30 minutos incorreu em uma redução média de 55,89% da turbidez obtida com 10 minutos, ou seja, o tempo de sedimentação apresentou-se como um fator relevante para a obtenção de melhores resultados. Os valores obtidos para a turbidez ficaram entre de 0,10 e 14,70 NTU. A turbidez média para 30 minutos de sedimentação foi de 1,91 NTU.

Considerando o tempo de sedimentação de 30 minutos, os percentuais de remoção de turbidez encontrados foram de 95,32 a 99,97%, com percentual médio de remoção de 99,39%.

A Figura 12 apresenta os gráficos de pareto e de curva de nível relacionados a remoção de turbidez obtida pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero aniônico, com tempo de sedimentação de 10 minutos.

**Figura 12** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 10 minutos.

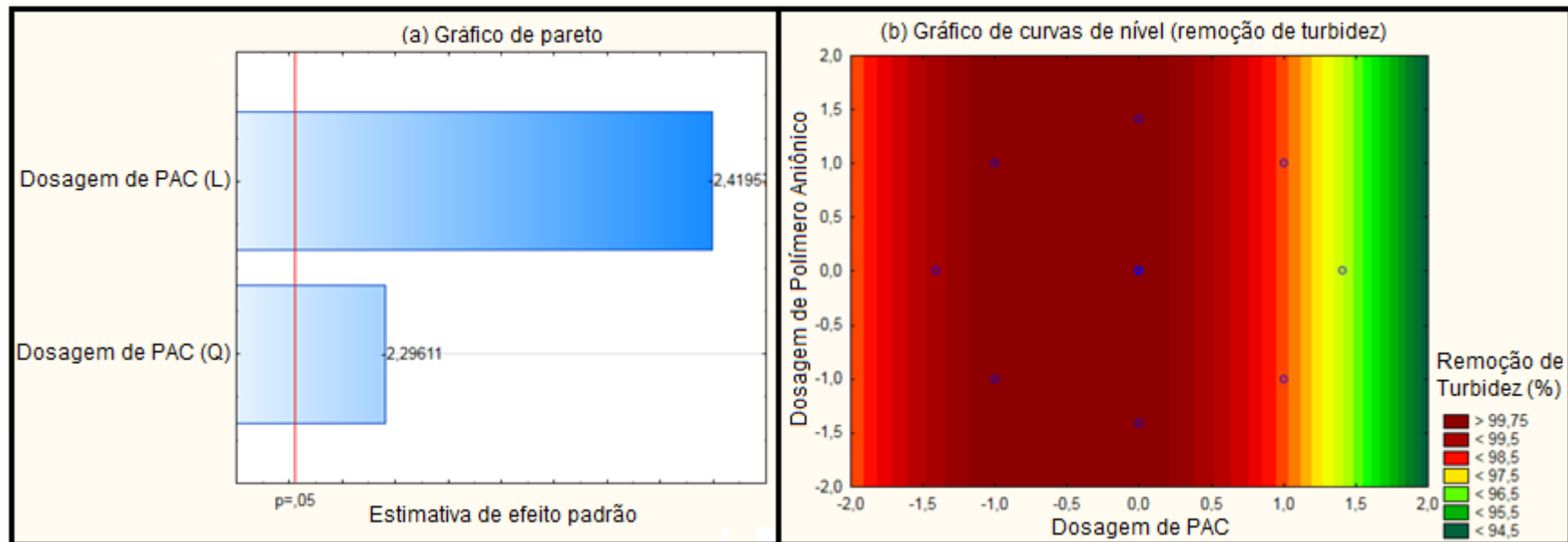


Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de pareto, observa-se que apenas a dosagem de PAC linear foi a variável significativa. Pelo gráfico de curvas de nível, dosagens de coagulante inferiores a  $21,18 \text{ mg L}^{-1}$  (valor correspondente ao código -0.5 do DCCR) atingem percentuais de remoção de turbidez superiores a 99,25%.

A Figura 13 apresenta os gráficos de pareto e de curva de nível relacionados a remoção de turbidez obtida pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero aniônico, com tempo de sedimentação de 30 minutos.

**Figura 13** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de pareto, observa-se que a dosagem de PAC (tanto linear quanto quadrática) foi a variável significativa. Pelo gráfico de curvas de nível, dosagens de coagulante entre 5,29 a 37,06 mg L<sup>-1</sup> (valores referentes aos códigos  $-\sqrt{2}$  e 0,5 do DCCR) são parâmetros que resultam em remoções de turbidez superiores a 99,5%.

A Tabela 19 apresenta os resultados de cor aparente obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de coagulante (cloreto de polialumínio) e floculante (polímero aniônico).

**Tabela 19** – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC e PAN com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 842,50 uH	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	13,24	45,00	13,24	45,00	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	51,58	6,66	29,12
Dosagem de PAN (mg.L <sup>-1</sup> )	3,64	3,64	16,36	16,36	19,00	1,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Cor aparente 10 min (uH)	4	13	6	9	4	35	3	2	3	2	97	10	15,67
Remoção cor aparente 10 min (%)	99,53	98,46	99,29	98,93	99,53	95,85	99,64	99,76	99,64	99,76	88,49	98,81	98,14
Cor aparente 30 min (uH)	5	11	8	7	6	11	3	4	3	4	76	12	12,50
Remoção cor aparente 30 min (%)	99,41	98,69	99,05	99,17	99,29	98,69	99,64	99,53	99,64	99,53	90,98	98,58	98,52
pH pós tratamento (10 min)	6,74	6,02	6,78	6,10	6,62	6,44	6,64	6,66	6,62	6,72	5,84	7,17	6,53
pH pós tratamento (30 min)	6,82	6,01	6,55	6,14	6,39	6,35	6,48	6,57	6,54	6,59	5,86	7,00	6,44

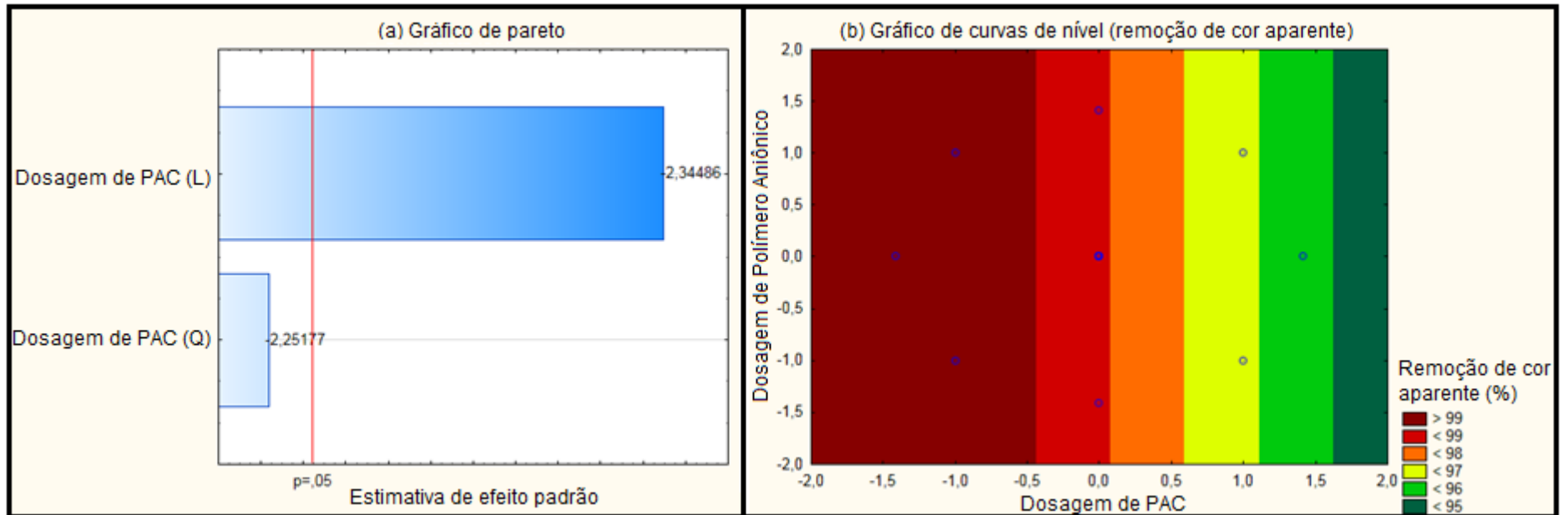
Fonte: Aatoria Própria (2019).

Para a remoção de cor aparente, de acordo com os dados da Tabela 19, verifica-se que os resultados de cor aparente remanescente ficaram entre 2 e 97 uH. Os ensaios com o tempo de sedimentação de 10 minutos atingiram em média a remoção de 98,14%, enquanto após 30 minutos de sedimentação a remoção média foi de 98,52%.

O melhor resultado foi obtido ao utilizar as dosagens de coagulante e floculante nos pontos centrais do DCCR (29,12 mg Al.L<sup>-1</sup> de PAC combinadas a 10 mg.L<sup>-1</sup> de polímero aniônico)

A Figura 14 apresenta os gráficos de pareto e de curva de nível relacionados à remoção de cor aparente obtida pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero aniônico, com tempo de sedimentação de 10 minutos.

**Figura 14** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 10 minutos.

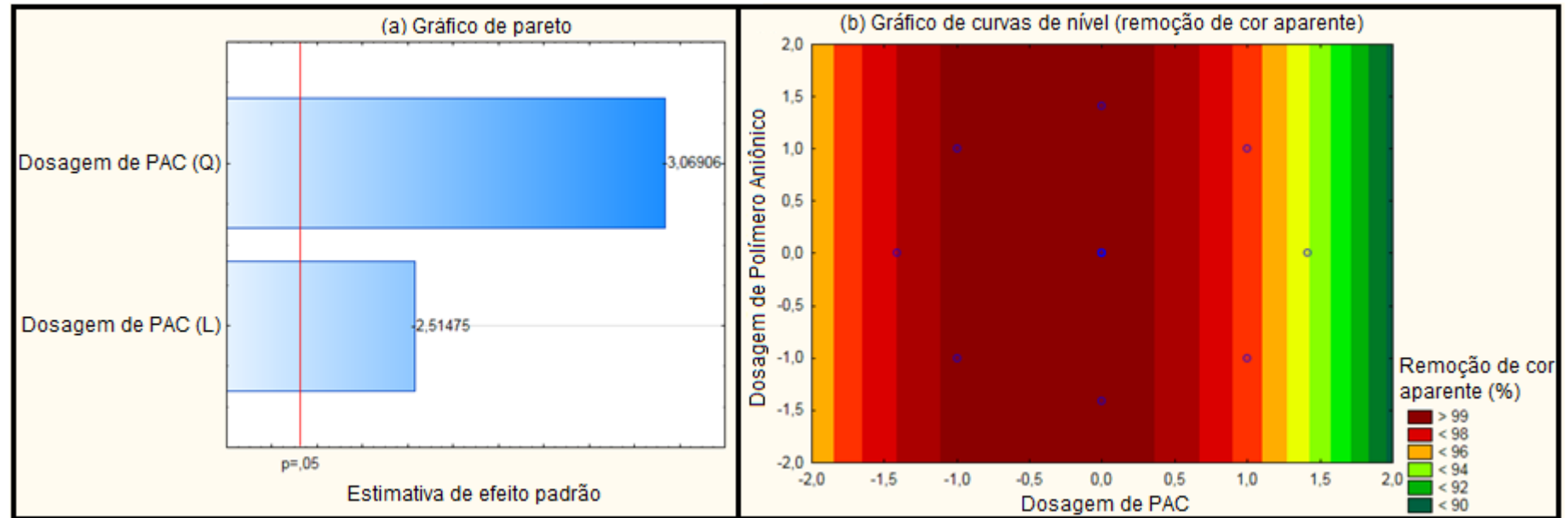


Fonte: Autoria Própria (2019).

Para o parâmetro de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos, a variável significativa foi a dosagem de PAC linear, como podemos observar pelo gráfico de pareto da Figura 14. Já pelo gráfico de curva de nível, podemos observar remoções de cor aparente superiores a 99% ao realizar o tratamento com dosagens de PAC inferiores a 21,18 mg L<sup>-1</sup> (que correspondem ao código -0,5 do planejamento).

Os gráficos de pareto e de curva de nível gerados para remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero aniônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 15.

**Figura 15** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de pareto, verifica-se que a variável independente de dosagem de coagulante foi significativa tanto linearmente, quanto quadraticamente. Pelo gráfico de curvas de nível, verifica-se que os melhores percentuais de remoção de cor aparente para o tempo de sedimentação de 30 minutos (superior a 99%) são encontrados ao utilizar dosagem de PAC entre 13,24 e 37,06 mg L<sup>-1</sup> (pelos códigos do DCCR, entre -1 e 0,5, vide Figura 15).

Os resultados de DQO obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de coagulante (cloreto de polialumínio) e floculante (polímero aniônico) são apresentados pela Tabela 20.

**Tabela 20** – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC e PAN com 10 e 30 minutos de sedimentação.

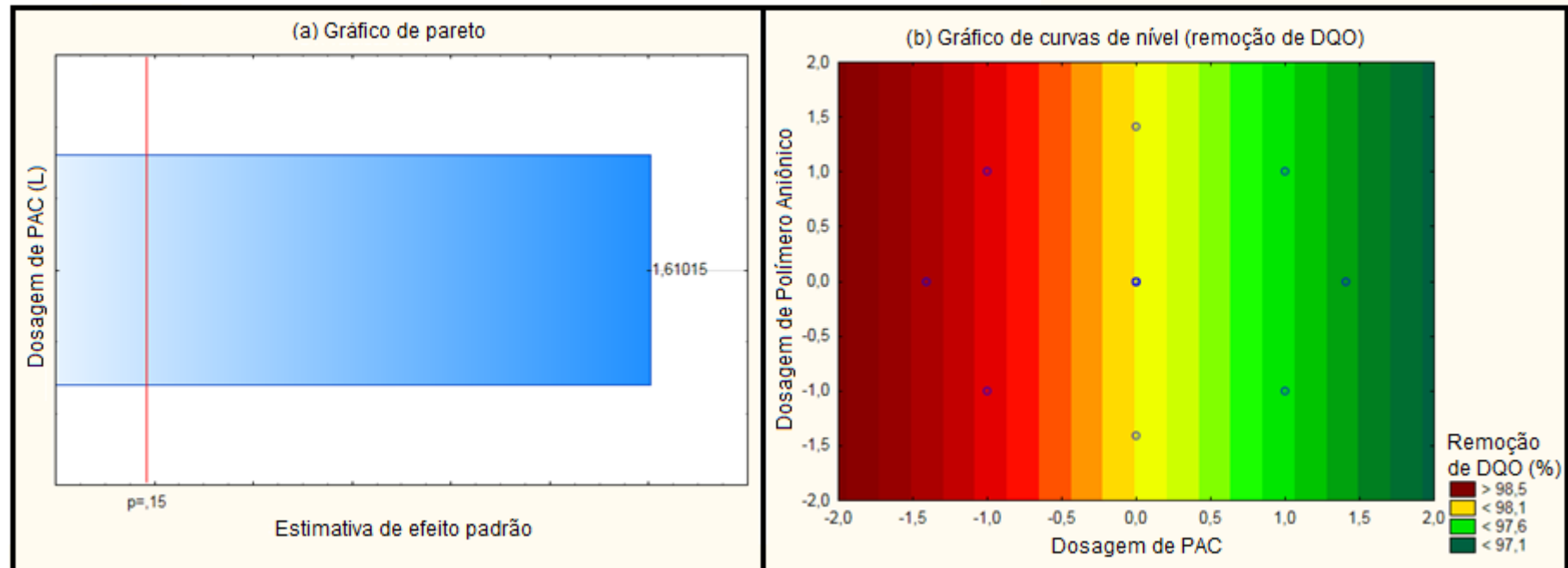
Efluente bruto: 1869,60 mg.L <sup>-1</sup>	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	13,24	45,00	13,24	45,00	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	51,58	6,66	29,12
Dosagem de PAN (mg.L <sup>-1</sup> )	3,64	3,64	16,36	16,36	19,00	1,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
DQO 10 min (mg.L <sup>-1</sup> )	13,49	34,47	63,52	38,96	49,70	68,70	26,22	24,73	23,98	33,72	54,88	14,99	37,28
Remoção de DQO 10 min (%)	99,28	98,16	96,60	97,92	97,34	96,33	98,60	98,68	98,72	98,20	97,06	99,20	98,01
DQO 30 min (mg.L <sup>-1</sup> )	20,23	20,98	85,98	35,96	32,22	41,06	27,72	26,97	27,72	26,97	58,34	39,71	36,99
Remoção de DQO 30 min (%)	98,92	98,88	95,40	98,08	98,28	97,80	98,52	98,56	98,52	98,56	96,88	97,88	98,02
pH pós tratamento (10 min)	6,74	6,02	6,78	6,10	6,62	6,44	6,64	6,66	6,62	6,72	5,84	7,17	6,53
pH pós tratamento (30 min)	6,82	6,01	6,55	6,14	6,39	6,35	6,48	6,57	6,54	6,59	5,86	7,00	6,44

Fonte: Autoria Própria (2019).

De acordo com a Tabela 20, verifica-se que a DQO residual após o tempo de sedimentação de 10 minutos ficou entre 13,49 e 68,70 mg.L<sup>-1</sup>, com média de 37,28 mg.L<sup>-1</sup>, que corresponde ao percentual médio de remoção de 98,01%. Para o tempo de sedimentação de 30 minutos, foram atingidos resultados semelhantes, com valores residuais de DQO entre 20,23 e 85,98 mg.L<sup>-1</sup>, e média residual de 36,99 mg.L<sup>-1</sup>, ou seja, remoção média de 98,02% da DQO do efluente bruto.

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero aniônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 16.

**Figura 16** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 10 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

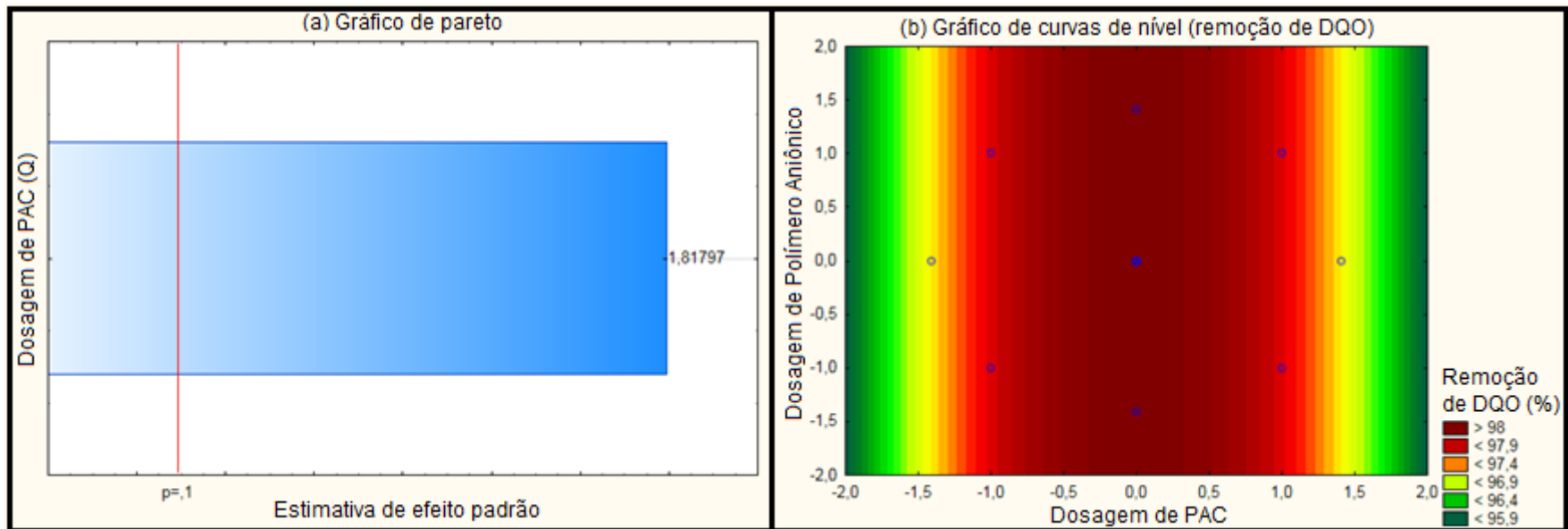
Os ensaios realizados para o parâmetro DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos apresentaram como variável significativa apenas o a dosagem de PAC linear (vide gráfico de pareto da Figura 16a).

Para este tempo de sedimentação, observa-se no gráfico de curvas (Figura 16b) percentuais de remoção de DQO superiores a 98% para o tratamento com dosagens de coagulante inferiores a  $29,12 \text{ mg L}^{-1}$  (ponto central do método DCCR, representado pelo código 0,0).



Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero aniônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 17.

**Figura 17** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Para o tempo de sedimentação de 30 minutos, o gráfico de pareto indica que a variável significativa foi a dosagem de coagulante. No gráfico de curvas de nível (Figura 17b), observa-se percentuais de remoção de DQO superiores a 98% ao utilizar dosagens de PAC na faixa entre aproximadamente entre 21,18 e 37,06  $\text{mg L}^{-1}$  (representados pelos códigos -0,5 e 0,5).

Entre as Figuras 18 e 23 são apresentados os resultados atingidos pelo tratamento utilizando cloreto de polialumínio e polímero catiônico, com a complementação das informações dispostas nas Tabelas 21, 22 e 23. Os resultados de turbidez obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de PAC e PCA são apresentados pela Tabela 21.

**Tabela 21** – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC e PCA com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 308,75 NTU	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	Média
Dosagem PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	13,24	45,00	13,24	45,00	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	51,58	6,66	29,12
Dosagem PCA (mg.L <sup>-1</sup> )	3,64	3,64	16,36	16,36	19,00	1,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Turbidez 10 min (NTU)	0,29	0,92	0,22	0,85	0,10	3,04	0,10	0,10	0,10	0,10	17,60	0,45	1,99
Remoção turbidez 10 min (%)	99,91	99,70	99,93	99,72	99,97	99,02	99,97	99,97	99,97	99,97	94,30	99,85	99,36
Turbidez 30 min (NTU)	0,10	0,74	0,25	1,14	0,10	0,89	0,32	1,41	0,20	0,59	11,10	1,36	1,52
Remoção turbidez 30 min (%)	99,97	99,76	99,92	99,63	99,97	99,71	99,90	99,54	99,94	99,81	96,40	99,56	99,51
pH pós tratamento (10 min)	6,77	5,98	6,75	5,94	6,48	6,33	6,58	6,27	6,37	6,49	5,43	6,88	6,36
pH pós tratamento (30 min)	6,92	6,04	6,74	5,92	6,47	6,31	6,60	6,36	6,31	6,39	5,53	6,95	6,38

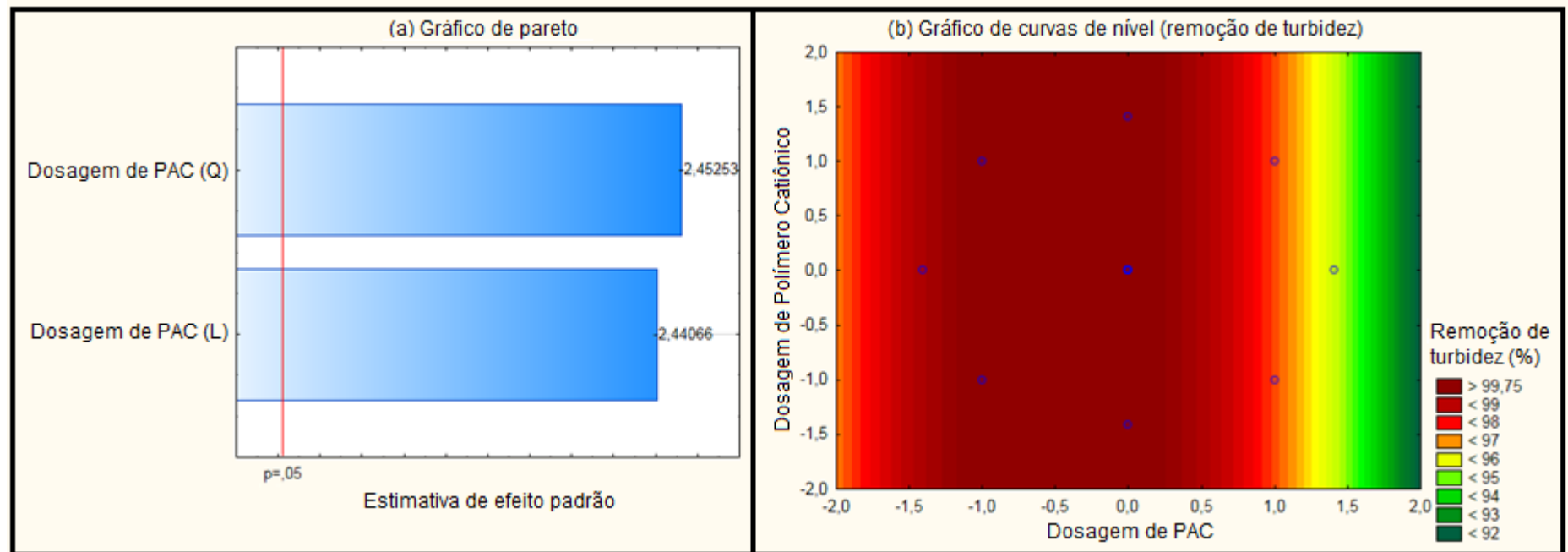
Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelos resultados apresentados na Tabela 21, verifica-se que a diferença no tempo de sedimentação não apresentou significância para o parâmetro pH médio pós tratamento (aumento de 6,36 para 6,38). A faixa de valores de pH para os tempos de sedimentação avaliados foi de 5,43 a 6,95, com pH médio de  $6,37 \pm 0,40$ .

Já para a remoção de turbidez, ao aumentar o tempo de sedimentação de 10 para 30 minutos, houve uma considerável melhoria (residual médio de 1,99 passou para 1,52 NTU, ou seja, redução de 23,62%). O menor valor de turbidez atingido foi de 0,10 NTU, que é a leitura mínima do turbidímetro utilizado. Os percentuais de remoção de turbidez para o tempo de sedimentação de 10 minutos ficaram entre 94,30 e 99,97% (média de 99,36%). Para o tempo de 30 minutos, a faixa de remoção foi de 96,40 a

99,97% (remoção média de 99,51%). Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero catiônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 18.

**Figura 18** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 10 minutos.

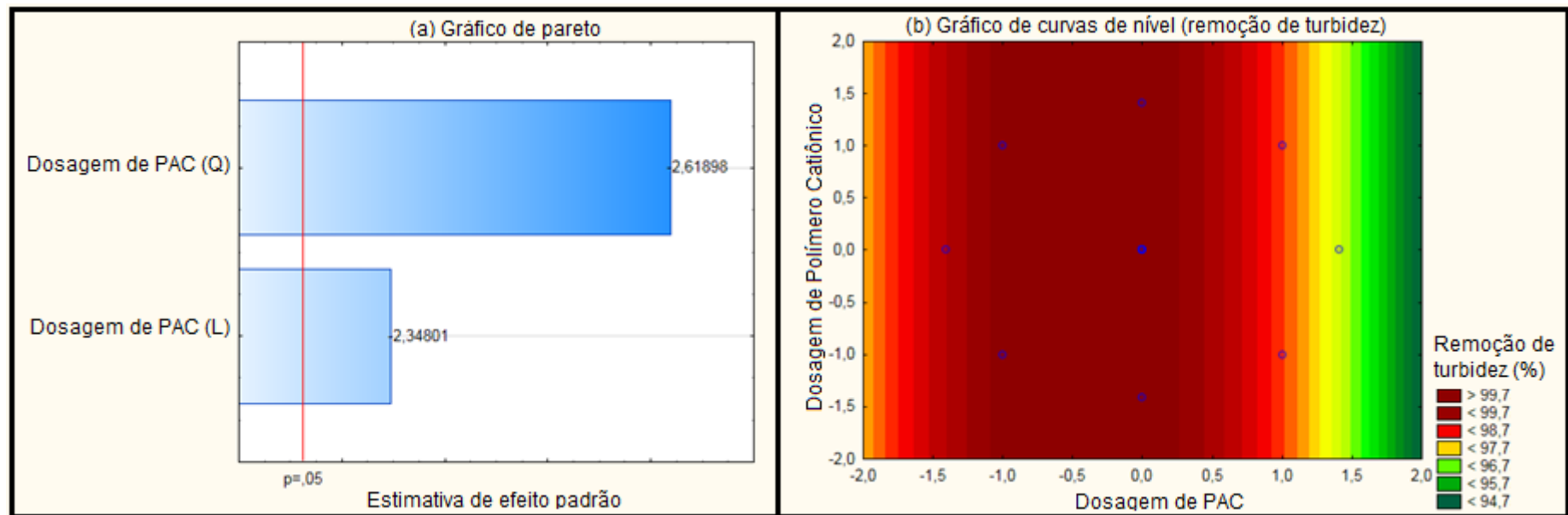


Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de pareto da Figura 18, observa-se que para o parâmetro turbidez com 10 minutos de sedimentação a variável significativa foi a dosagem de PAC. Pelo gráfico de curvas de nível, verifica-se percentuais de remoção de turbidez superando os 99,75% ao aplicar dosagem de coagulante na faixa de -1,0 a 0,5 (que correspondem a 13,24 a 37,06 mg L<sup>-1</sup> de PAC).

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero catiônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 19.

**Figura 19** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Observa-se pelo gráfico de pareto (Figura 19a) que para a eficiência de remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 30 minutos a variável significativa foi a dosagem de PAC. Pelo gráfico de curvas de nível, verifica-se percentuais de remoção de turbidez superando os 99,7% ao aplicar dosagem de coagulante na faixa de 13,24 a 29,12 mg L<sup>-1</sup> ( pontos -1,0 a 0,0 do modelo estatístico utilizado).

Os resultados de cor aparente obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de cloreto de polialumínio e polímero catiônico são apresentados pela Tabela 22.

**Tabela 22** – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC e PCA com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 767,50 uH	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	13,24	45,00	13,24	45,00	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	51,58	6,66	29,12
Dosagem de PCA (mg.L <sup>-1</sup> )	3,64	3,64	16,36	16,36	19,00	1,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
Cor aparente 10 min (uH)	6	12	7	12	5	9	4	3	3	3	104	8	14,67
Remoção cor aparente 10 min (%)	99,22	98,44	99,09	98,44	99,35	98,83	99,48	99,61	99,61	99,61	86,45	98,96	98,09
Cor aparente 30 min (uH)	6	12	7	13	5	7	3	3	3	3	96	10	14,00
Remoção cor aparente 30 min (%)	99,22	98,44	99,09	98,31	99,35	99,09	99,61	99,61	99,61	99,61	87,49	98,70	98,18
pH pós tratamento (10 min)	6,77	5,98	6,75	5,94	6,48	6,33	6,58	6,27	6,37	6,49	5,43	6,88	6,36
pH pós tratamento (30 min)	6,92	6,04	6,74	5,92	6,47	6,31	6,60	6,36	6,31	6,39	5,53	6,95	6,38

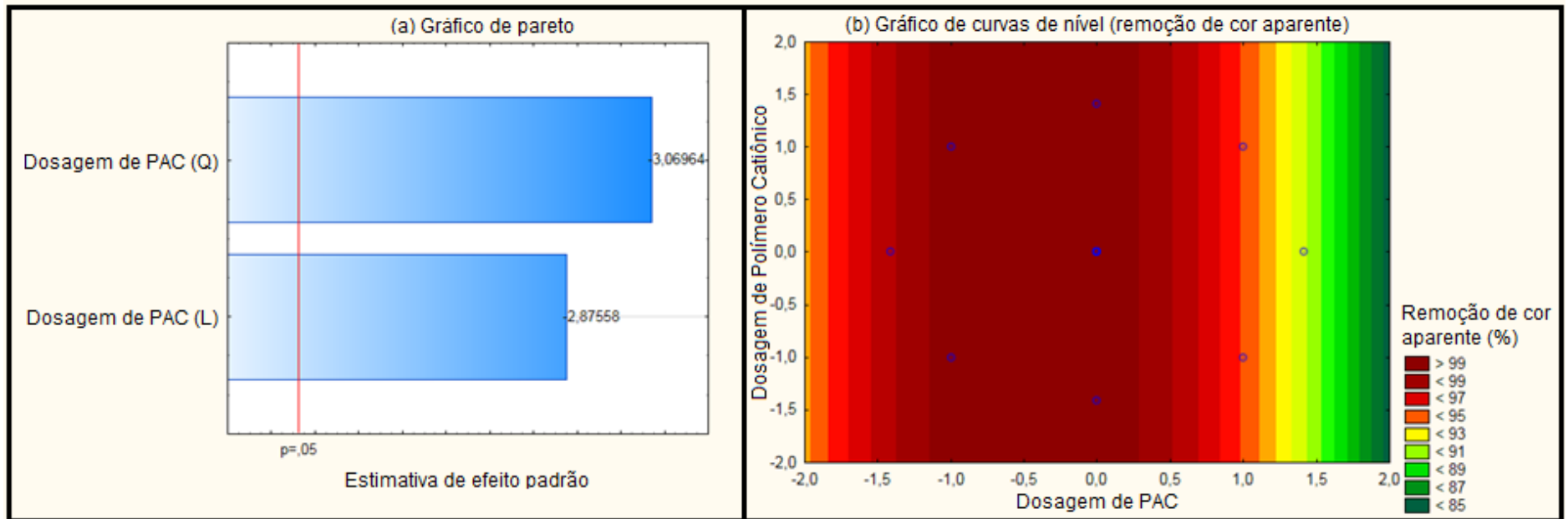
Fonte: Aatoria Própria (2019).

Verifica-se pela Tabela 22 uma leve melhoria na remoção de cor aparente ao aumentar o tempo de sedimentação de 10 para 30 minutos. (cor aparente residual média reduzindo de 14,67 para 14,00 uH). O percentual de remoção de cor aparente com 10 minutos foi de 86,45 a 99,61%, enquanto para 30 minutos foi de 87,49 a 99,61%.

Os melhores resultados foram encontrados ao utilizar as dosagens de coagulante e polímero floculante nos pontos centrais definidos pelo modelo estatístico DCCR, ou seja, 29,12 mg Al.L<sup>-1</sup> de PAC combinados com 10,00 mg.L<sup>-1</sup> de polímero catiônico.

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero catiônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 20.

**Figura 20** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 10 minutos.

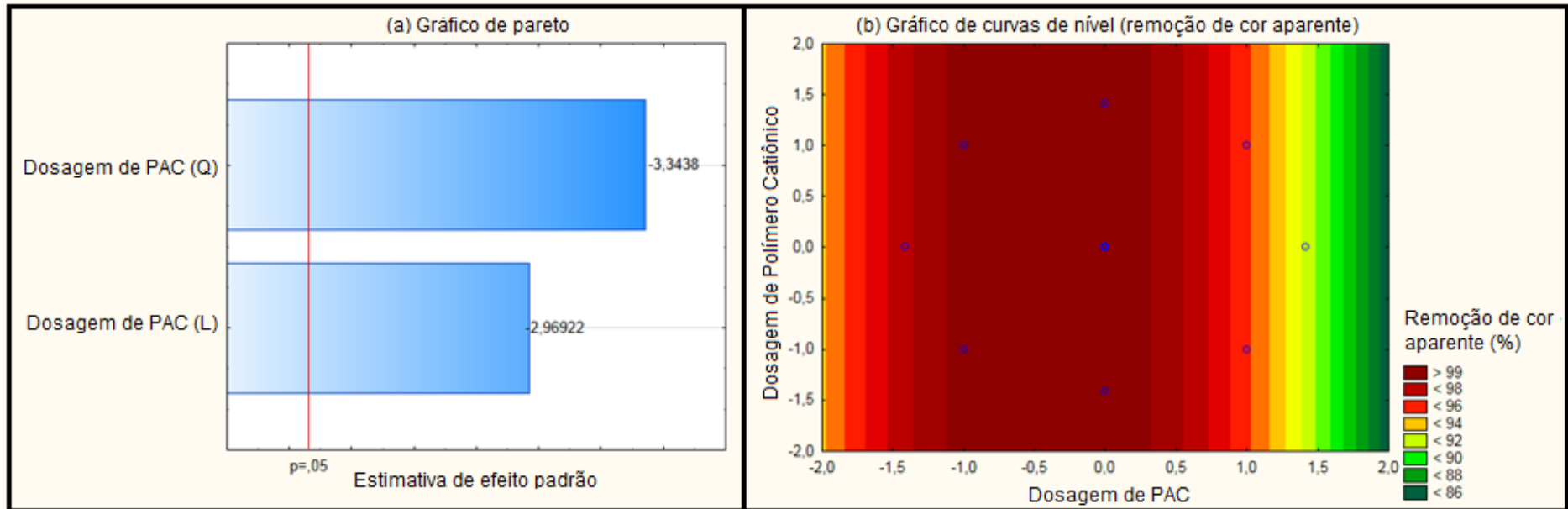


Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela Figura 20, verifica-se no gráfico de pareto que a variável significativa para a remoção de cor aparente com o tempo de sedimentação de 10 minutos foi a dosagem de coagulante. Pelo gráfico de curvas de nível, verifica-se que percentuais de remoção de cor aparente superiores a 99% são encontrados ao utilizar dosagem de PAC entre 13,24 e 29,12 mg L<sup>-1</sup> (valores que correspondem aos códigos -1,0 a 0,0 do DCCR).

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero catiônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 21.

**Figura 21** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A variável significativa para remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 30 minutos foi a dosagem de coagulante linear e quadrática (vide gráfico de pareto da Figura 21). De acordo com o gráfico de curvas de nível, percentuais de remoção de cor aparente superiores a 99% são atingidos ao utilizar o coagulante no intervalo de -1,0 a 0,0 do modelo estatístico, que correspondem a dosagens de PAC entre 13,24 e 29,12 mg Al.L<sup>-1</sup>.

Os resultados de DQO obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de cloreto de polialumínio e polímero catiônico são apresentados pela Tabela 23.

**Tabela 23** – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC e PCA com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 2215,05 mg.L <sup>-1</sup>	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	13,24	45,00	13,24	45,00	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	51,58	6,66	29,12
Dosagem de PCA (mg.L <sup>-1</sup> )	3,64	3,64	16,36	16,36	19,00	1,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00	10,00
DQO 10 min (mg.L <sup>-1</sup> )	17,98	20,23	14,24	25,47	25,47	108,43	17,98	23,98	37,46	17,23	41,06	20,23	30,81
Remoção de DQO 10 min (%)	99,19	99,09	99,36	98,85	98,85	95,10	99,19	98,92	98,31	99,22	98,15	99,09	98,61
DQO 30 min (mg.L <sup>-1</sup> )	20,23	19,48	24,73	29,22	25,47	28,47	14,99	18,73	26,22	15,73	33,72	14,24	22,60
Remoção de DQO 30 min (%)	99,09	99,12	98,88	98,68	98,85	98,71	99,32	99,15	98,82	99,29	98,48	99,36	98,98
pH pós tratamento (10 min)	6,77	5,98	6,75	5,94	6,48	6,33	6,58	6,27	6,37	6,49	5,43	6,88	6,36
pH pós tratamento (30 min)	6,92	6,04	6,74	5,92	6,47	6,31	6,60	6,36	6,31	6,39	5,53	6,95	6,38

Fonte: Autoria Própria (2019).

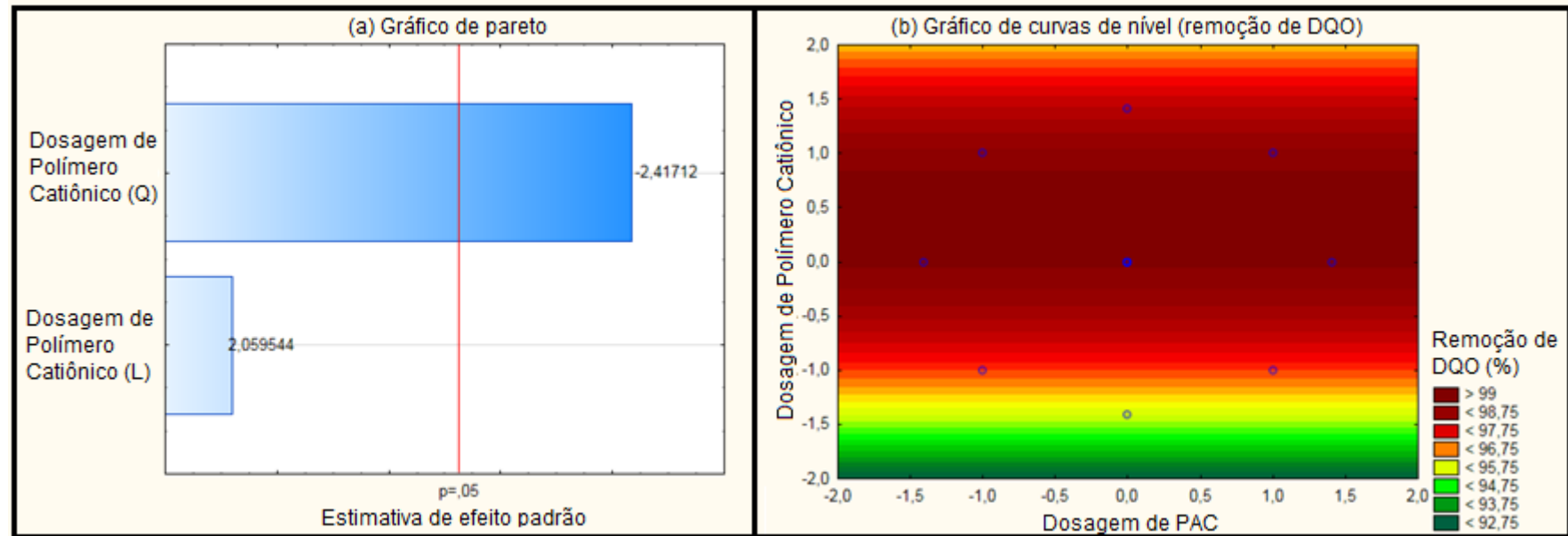
Verifica-se pela Tabela 23 que a variação do tempo de sedimentação dos ensaios resultou em diferenças significativas para a remoção de DQO. Enquanto o percentual de remoção médio de DQO com 10 minutos de sedimentação foi de 98,61%, aos 30 minutos de sedimentação foi de 98,98%.

A diferença na eficiência do tratamento gerada pela variação do tempo de sedimentação é mais notável ao observar os valores residuais, que passaram da média de 30,81 para 22,60 mg.L<sup>-1</sup>. O menor valor de DQO residual obtido para estes ensaios foi de 14,24 mg.L<sup>-1</sup>

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero catiônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 22.



**Figura 22** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 10 minutos.

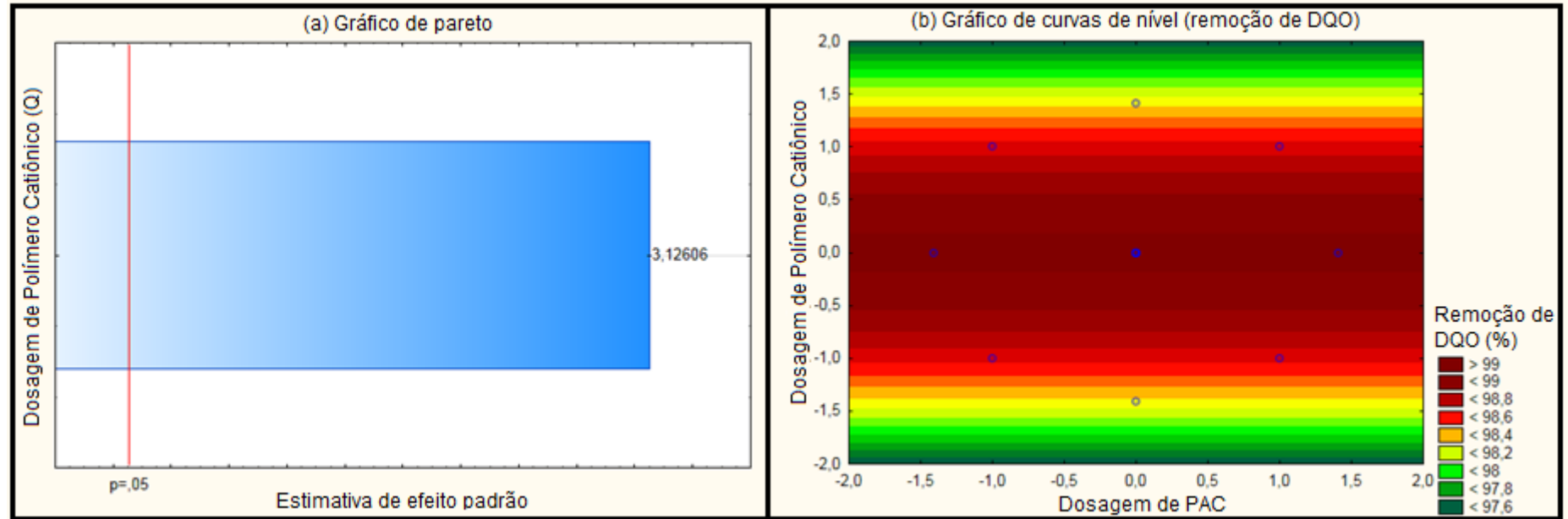


Fonte: Autoria Própria (2019).

Verifica-se pelo gráfico de pareto da Figura 22 que a variável significativa para a remoção de DQO com o tempo de sedimentação de 10 minutos foi a dosagem de polímero catiônico. O gráfico de curvas de nível indica que dosagens de floculante entre 10,00 e 16,36  $\text{mg.L}^{-1}$  (que correspondem a faixa de 0,0 a 1,0 de códigos do planejamento estatístico) são necessárias para atingir remoções de DQO superiores a 99%.

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero catiônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 23.

**Figura 23** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Verifica-se pelo gráfico de pareto (Figura 23a) que a variável significativa para a remoção de DQO com o tempo de sedimentação de 30 minutos foi a dosagem de floculante (polímero catiônico). O gráfico de curvas de nível (Figura 23b) indica que dosagens de floculante próximas ao ponto central ( $10 \text{ mg L}^{-1}$ ) do planejamento estatístico são necessárias para atingir os melhores resultados de remoção de DQO, ou seja, percentuais remoção superiores a 99%.

Os gráficos referentes aos ensaios de tratamento gerados pelo software para os ensaios que tratam o efluente com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico são demonstradas nas Figuras 24 a 29, com resultados dispostos nas Tabelas 24, 25 e 26. Os resultados de para remoção de turbidez obtida ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de cloreto de polialumínio e polímero não-iônico são apresentados pela Tabela 24.

**Tabela 24** – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC e PNI com 10 e 30 minutos de sedimentação.

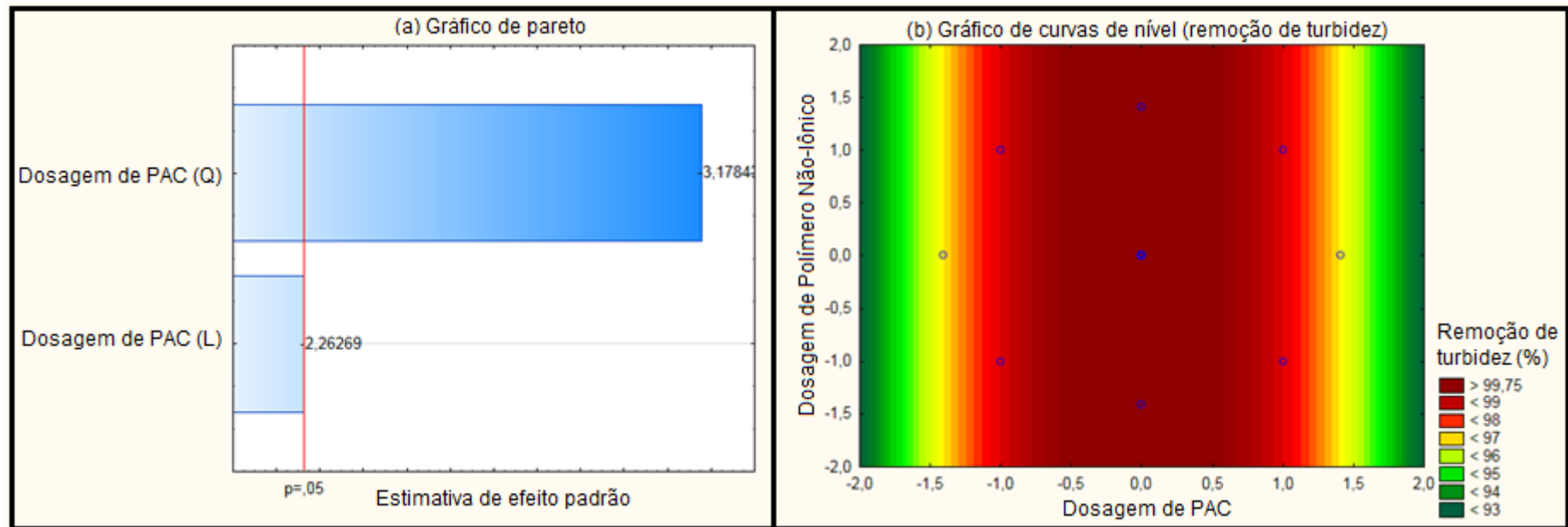
Efluente bruto: 299,50 NTU	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	13,24	45,00	13,24	45,00	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	51,58	6,66	29,12
Dosagem de PNI (mg.L <sup>-1</sup> )	9,39	9,39	30,61	30,61	35,00	5,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Turbidez 10 min (NTU)	0,10	1,50	0,10	0,21	0,10	0,10	0,16	0,10	0,10	0,13	26,10	4,66	2,78
Remoção turbidez 10 min (%)	99,97	99,50	99,97	99,93	99,97	99,97	99,95	99,97	99,97	99,96	91,29	98,44	99,07
Turbidez 30 min (NTU)	0,15	0,63	0,13	0,25	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10	13,00	4,37	1,59
Remoção turbidez 30 min (%)	99,95	99,79	99,96	99,92	99,97	99,97	99,97	99,97	99,97	99,97	95,66	98,54	99,47
pH pós tratamento (10 min)	7,18	6,48	7,18	6,39	6,85	6,84	7,02	6,83	6,80	6,86	6,00	7,38	6,82
pH pós tratamento (30 min)	7,13	6,32	7,08	6,19	6,60	6,73	6,96	6,77	6,72	6,74	5,95	7,16	6,70

Fonte: Autoria Própria (2019).

Nos ensaios com polímero não-iônico, a maior dosagem de coagulante (entre 5 e 35 mg.L<sup>-1</sup>) se justifica por estes terem sido os primeiros ensaios a serem realizados. Após uma breve análise dos resultados, decidiu-se pela redução das dosagens de polímeros para a faixa entre 1 e 19 mg.L<sup>-1</sup>. Pela Tabela 24, observamos que a diferença no tempo de sedimentação não significância para o pH pós coagulação (pH médio reduziu de 7,38 para 7,16 ao aumentar de 10 para 30 minutos). A faixa de valores de pH para os tempos de sedimentação avaliados foram de 5,95 a 7,38, com pH médio de 6,76 ± 0,38.

Para a remoção de turbidez o tempo de sedimentação de 30 minutos mostrou superioridade se comparado ao tempo de 10 minutos (remoção de 42,66% da turbidez residual encontrada com 10 minutos). A turbidez média para 30 minutos de sedimentação foi de 1,59 NTU, com o menor valor obtido para a turbidez de 0,10 NTU. A faixa de eficiência de remoção de turbidez para 30 minutos de sedimentação foi de 95,66 a 99,97%, com remoção média de 99,47%. Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 24.

**Figura 24**– Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 10 minutos.

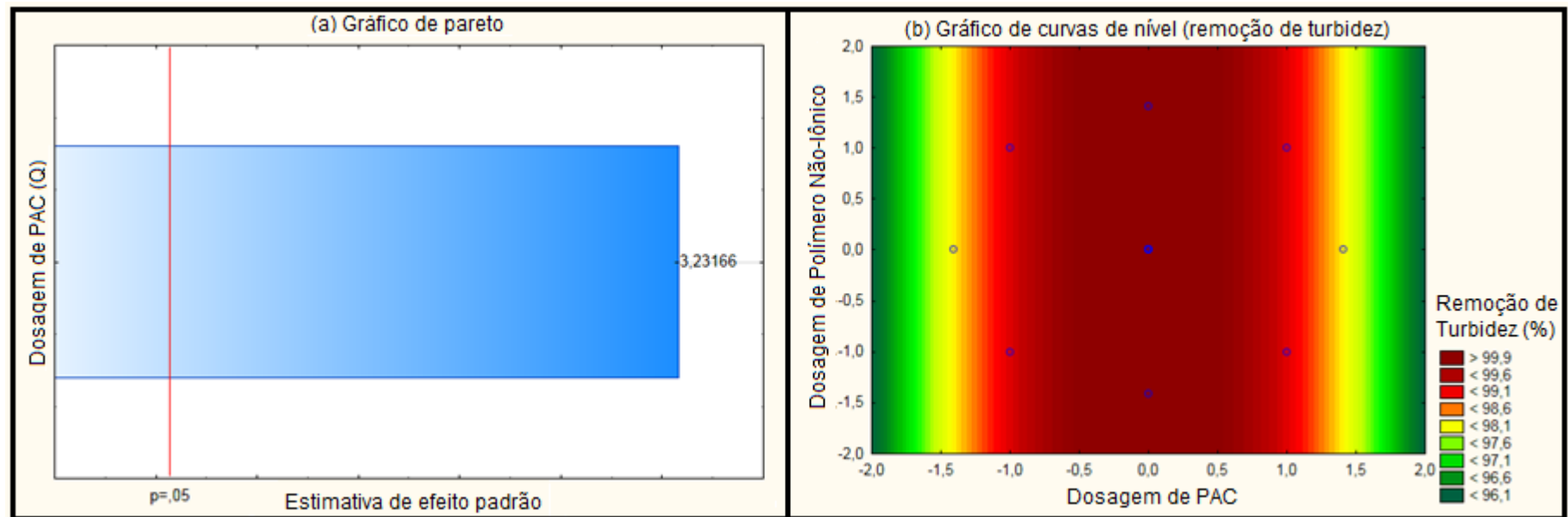


Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela Figura 24, verifica-se que a variável significativa para remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos foi a dosagem de PAC quadrática (gráfico de pareto), enquanto os gráficos de curva de nível indicam remoções de turbidez superiores a 99,75% ao aplicar dosagem de PAC entre 21,18 e 37,06 mg. L<sup>-1</sup> (códigos do DCCR entre -0,5 até 0,5).

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 25.

**Figura 25** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela Figura 25, verifica-se que a variável significativa para remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 30 minutos foi a dosagem de PAC quadrática (vide gráfico de pareto). Os gráficos de curva de nível indicam remoções de turbidez superiores a 99,95% ao aplicar dosagem de coagulante entre 21,18 e 37,06 mg. L<sup>-1</sup> (códigos do DCCR entre -0,5 e 0,5).

Os resultados de para remoção de cor aparente, obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de cloreto de polialumínio e polímero não-iônico são apresentados pela Tabela 25.

**Tabela 25** – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC e PNI com 10 e 30 minutos de sedimentação.

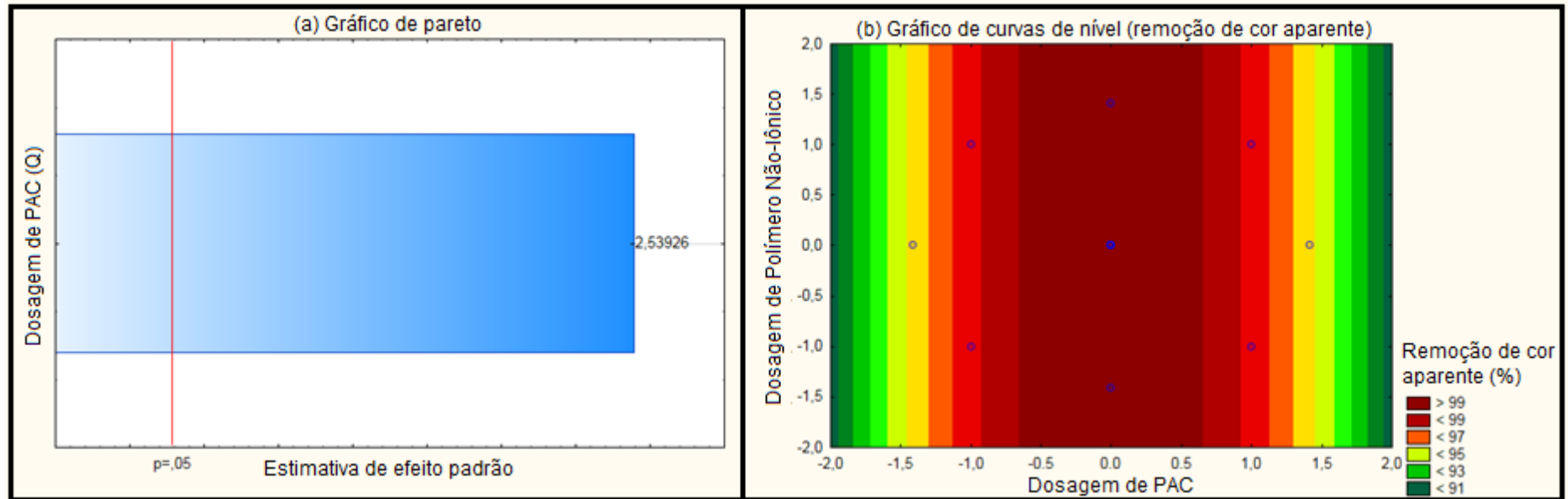
Efluente bruto: 785 uH	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	13,24	45,00	13,24	45,00	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	51,58	6,66	29,12
Dosagem de PNI (mg.L <sup>-1</sup> )	9,39	9,39	30,61	30,61	35,00	5,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
Cor aparente 10 min (uH)	4	4	4	7	4	3	4	4	4	5	85	16	12,00
Remoção cor aparente 10 min (%)	99,49	99,49	99,49	99,11	99,49	99,62	99,49	99,49	99,49	99,36	89,17	97,96	98,47
Cor aparente 30 min (uH)	4	3	3	4	3	1	4	3	4	3	81	16	10,75
Remoção cor aparente 30 min (%)	99,49	99,62	99,62	99,49	99,62	99,87	99,49	99,62	99,49	99,62	89,68	97,96	98,63
pH pós tratamento (10 min)	7,18	6,48	7,18	6,39	6,85	6,84	7,02	6,83	6,80	6,86	6,00	7,38	6,82
pH pós tratamento (30 min)	7,13	6,32	7,08	6,19	6,60	6,73	6,96	6,77	6,72	6,74	5,95	7,16	6,70

Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela Tabela 25, verifica-se que o tempo de sedimentação de 30 minutos mostrou-se em média 10,42% superior ao tempo de 10 minutos (cor aparente média reduzida de 12 para 10,75 uH). O menor valor de cor aparente residual obtido para estes ensaios foi de 1 uH, sendo que a faixa de percentuais de remoção obtida ficou entre 89,17 e 99,87%.

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 26.

**Figura 26** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 10 minutos.

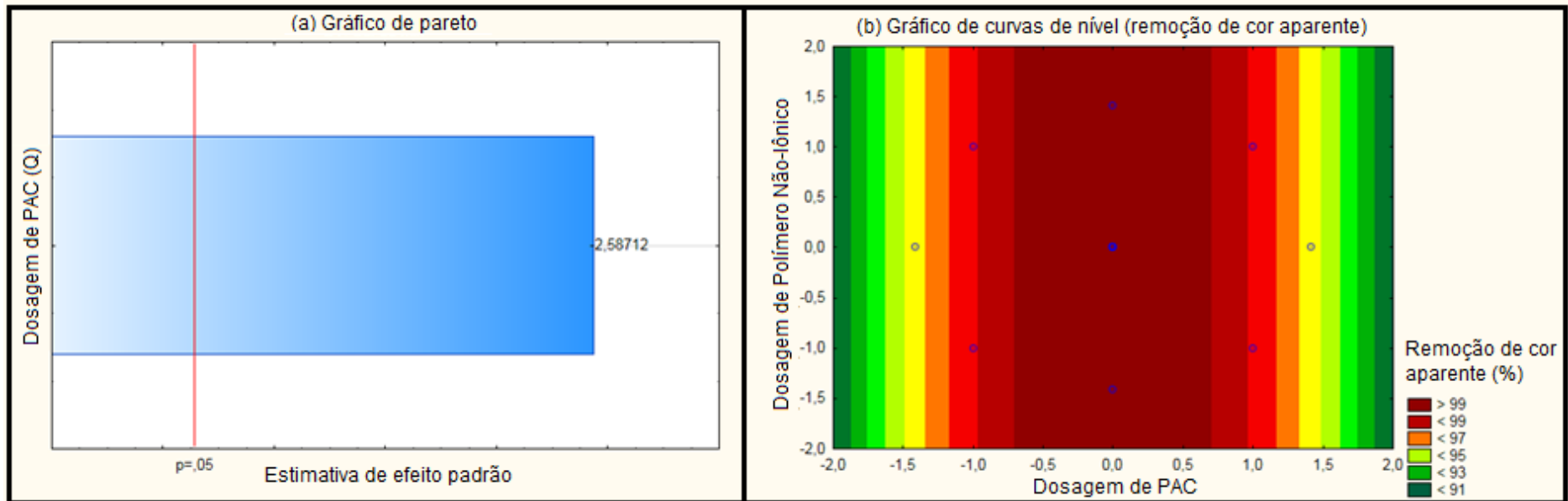


Fonte: Autoria Própria (2019).

Para o parâmetro de cor aparente com o tempo de sedimentação de 10 minutos, a variável significativa foi exclusivamente a dosagem de PAC, como se pode observar pelo gráfico de pareto (Figura 26a). Pelo gráfico de curvas de nível, podemos observar remoção superior a 99% com dosagem de PAC entre 21,18 e 37,06 mg.L<sup>-1</sup> (pelos códigos do modelo matemático presentes no gráfico, valores entre -0,5 e 0,5).

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 27.

**Figura 27** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de pareto, tem-se que para o parâmetro de cor aparente com o tempo de sedimentação de 30 minutos, a variável significativa foi exclusivamente a dosagem de PAC. O gráfico de curvas de nível indicar remoção de cor aparente superior a 99% com dosagem de PAC entre 21,18 e 37,06 mg.L<sup>-1</sup> (códigos entre -0,5 e 0,5 do DCCR).

Os resultados de para remoção de DQO obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de cloreto de polialumínio e polímero não-iônico são apresentados pela Tabela 26.



**Tabela 26** – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC e PNI com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 2521,65 mg.L <sup>-1</sup>	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	13,24	45,00	13,24	45,00	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	51,58	6,66	29,12
Dosagem de PNI (mg.L <sup>-1</sup> )	9,39	9,39	30,61	30,61	35,00	5,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00
DQO 10 min (mg.L <sup>-1</sup> )	35,96	26,97	28,47	21,73	26,22	23,98	19,48	16,48	21,73	20,23	103,25	35,96	31,71
Remoção de DQO 10 min (%)	95,42	96,56	96,37	97,23	96,66	96,95	97,52	97,90	97,23	97,42	86,85	95,42	95,96
DQO 30 min (mg.L <sup>-1</sup> )	20,98	16,48	20,98	10,49	26,97	16,48	14,99	23,98	17,98	17,98	28,47	34,47	20,85
Remoção de DQO 30 min (%)	97,33	97,90	97,33	98,66	96,56	97,90	98,09	96,95	97,71	97,71	96,37	95,61	97,34
pH pós tratamento (10 min)	7,18	6,48	7,18	6,39	6,85	6,84	7,02	6,83	6,80	6,86	6,00	7,38	6,82
pH pós tratamento (30 min)	7,13	6,32	7,08	6,19	6,60	6,73	6,96	6,77	6,72	6,74	5,95	7,16	6,70

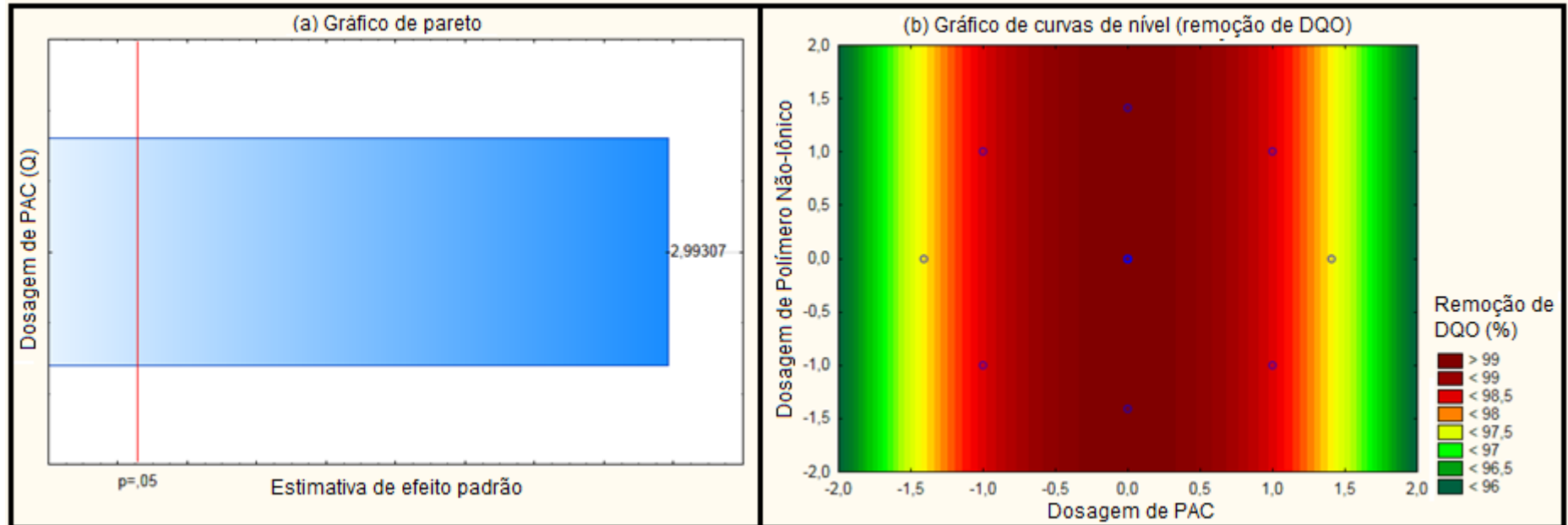
Fonte: Autoria Própria (2019).

De acordo com a Tabela 26, verifica-se que a DQO residual após o tempo de sedimentação de 10 minutos ficou entre 16,48 e 103,25 mg.L<sup>-1</sup>, com média de 31,71 mg.L<sup>-1</sup> (remoção entre 86,85 e 97,90%, com média de 95,96%). Para o tempo de sedimentação de 30 minutos, observa-se uma considerável melhoria dos resultados, com valores residuais de DQO entre 10,49 e 34,47 mg.L<sup>-1</sup>, e média residual de 20,85 mg.L<sup>-1</sup>, ou seja, remoção média de 97,34% da DQO do efluente bruto.

Outro ponto importante a ser analisado é que os piores resultados foram obtidos pelos ensaios com as dosagens de coagulante nos pontos axiais máximos (código  $\sqrt{2}$  que configura dosagem de 51,58 mg.L<sup>-1</sup>) e mínimos (código  $-\sqrt{2}$ , que considera a dosagem de 6,66 mg.L<sup>-1</sup>).

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 28.

**Figura 28** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 10 minutos.

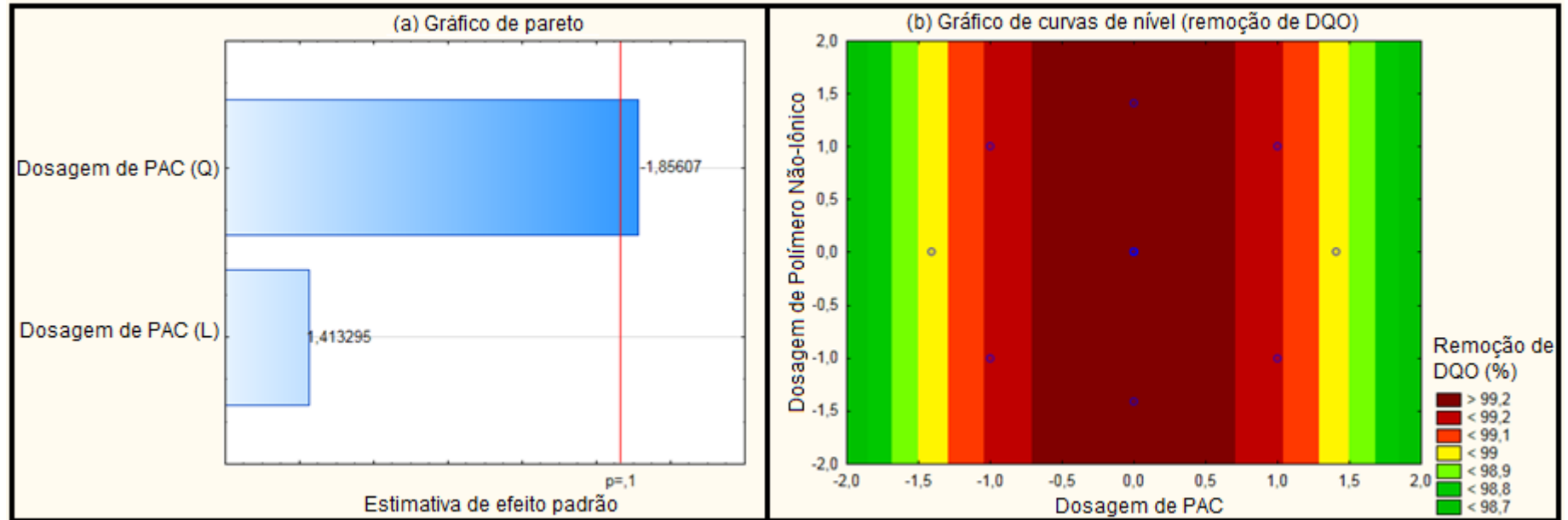


Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de pareto apresentado na Figura 28, verifica-se que a variável significativa para a remoção de DQO nestes ensaios foi a dosagem de coagulante PAC. Com o auxílio do gráfico de curvas de nível, tem-se que para o tempo de sedimentação de 10 minutos, remoções de DQO superiores a 99% são atingidas ao aplicar a dosagem de coagulante PAC próxima ao ponto central (0,0) determinado pelo modelo estatístico utilizado, que correspondem a 29,12 mg. L<sup>-1</sup>.

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 29.

**Figura 29** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 29a indica pelo gráfico de pareto que a variável significativa para remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos nestes ensaios foi a dosagem quadrática de PAC. O gráfico de curvas de nível (Figura 29b) indica que percentuais de remoção de DQO superiores a 99,2% são encontrados ao utilizar dosagens de coagulante entre 21,18 e 37,06 mg.L<sup>-1</sup>, que são as dosagens correspondentes aos códigos -0,5 a 0,5 do modelo matemático.

Nas Figuras 30 a 36 e Tabelas 27 a 29 são apresentados os resultados referentes ao tratamento do efluente utilizando tanino como coagulante e variando pH de coagulação. Os resultados de para remoção de turbidez, obtidos ao utilizar como variáveis independentes a dosagem de tanino e o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 são apresentados pela Tabela 27.

**Tabela 27** – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com tanino com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 327,50 NTU	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	Média
Dosagem de tanino (mg.L <sup>-1</sup> )	37,5	122,5	37,5	122,5	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	140,10	19,90	80,00
pH de coagulação	6,19	6,19	8,09	8,09	8,48	5,80	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14
Turbidez 10 min (NTU)	31,70	18,40	22,00	5,71	3,26	11,70	5,70	2,31	5,28	4,49	12,80	5,70	10,75
Remoção turbidez 10 min (%)	90,32	94,38	93,28	98,26	99,00	96,43	98,26	99,29	98,39	98,63	96,09	98,26	96,72
Turbidez 30 min (NTU)	2,95	6,12	4,58	1,35	1,34	3,22	1,37	0,75	1,80	0,99	12,60	3,07	3,35
Remoção turbidez 30 min (%)	99,10	98,13	98,60	99,59	99,59	99,02	99,58	99,77	99,45	99,70	96,15	99,06	98,98
pH pós tratamento (10 min)	6,89	6,76	7,62	7,49	7,77	6,98	7,22	7,12	7,11	7,13	6,95	7,28	7,19
pH pós tratamento (30 min)	7,05	6,81	7,62	7,50	7,85	6,78	7,31	7,23	7,25	7,25	7,12	7,30	7,26

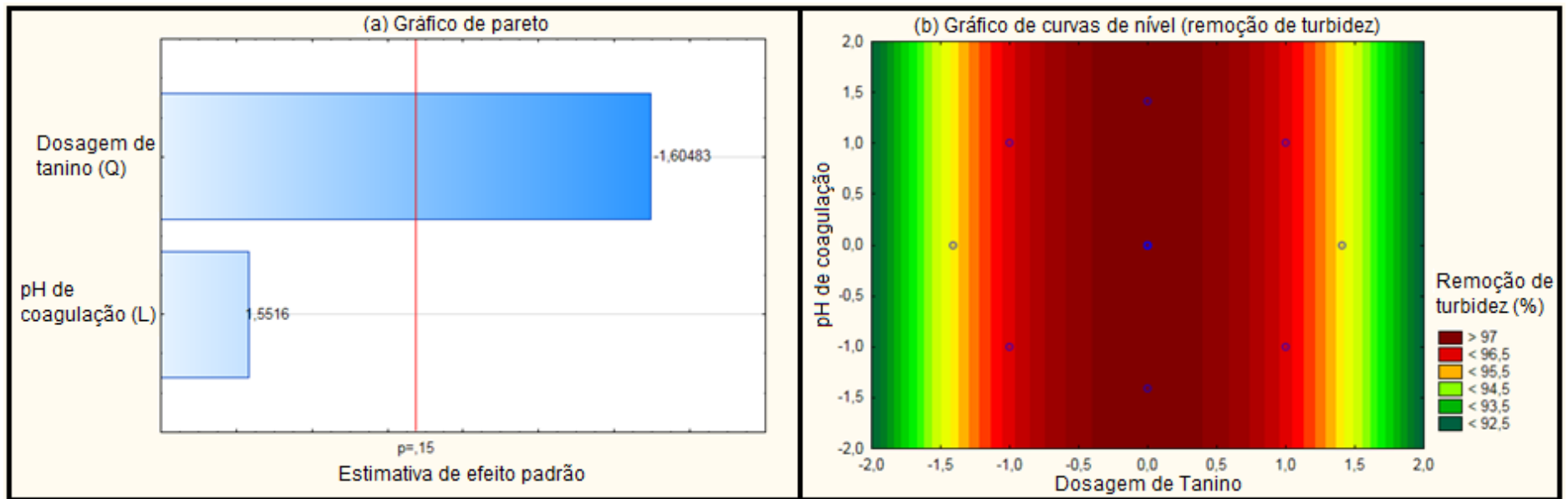
Fonte: Autoria Própria (2019).

A Tabela 27 nos indica que o tempo de sedimentação não foi um fator relevante para a alteração do pH do efluente, já que em média este parâmetro variou de 7,19 para 7,26 ao aumentar o tempo de 10 para 30 minutos. O pH médio do efluente após o tratamento nos tempos de sedimentação trabalhados foi de  $7,22 \pm 0,30$ . A faixa de pH obtida foi de 6,76 a 7,85.

Para a remoção de turbidez, verifica-se que o tempo de sedimentação de 30 minutos obteve resultados significativamente superiores aos obtidos com 10 minutos (turbidez média reduzida de 10,75 para 3,35 NTU). O percentual de remoção de turbidez para estes ensaios ficou entre 90,32 e 99,77%. A remoção média foi de 96,72% para o tempo de sedimentação de 10 minutos e 98,98 para o tempo de sedimentação de 30 minutos. O menor valor de turbidez residual encontrado foi de 0,75 NTU.

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com tanino e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 30.

**Figura 30** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de tanino.

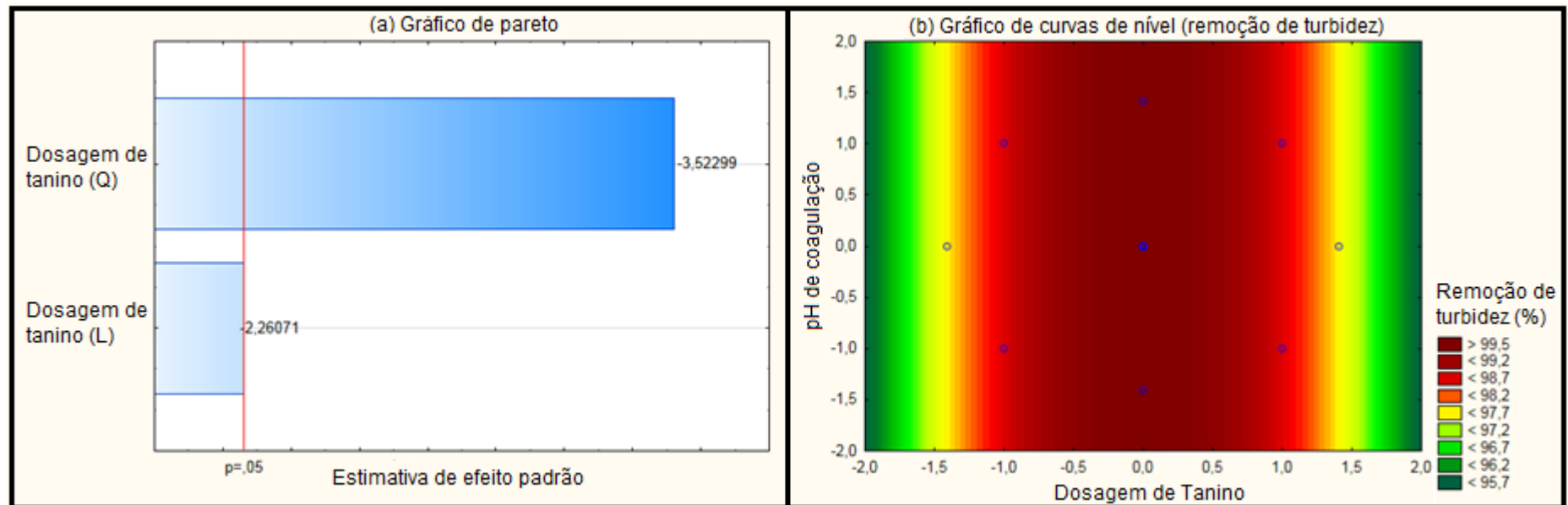


Fonte: Autoria Própria (2019).

Na Figura 30, no gráfico de pareto verifica-se que a única variável significativa para a remoção de turbidez foi a dosagem do coagulante tanino, o pH de coagulação não apresentou relevância para o tratamento se aplicado na faixa de 5,80 a 8,48. Pelo gráfico de curvas de nível, verifica-se que os melhores percentuais de remoção de turbidez (superiores a 97%) são atingidos ao utilizar dosagens de coagulante próximas ao ponto central (0,0 do DCCR), que correspondem a 80,00 mg.L<sup>-1</sup>.

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com tanino e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 31.

**Figura 31** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de tanino.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Para o tempo de sedimentação de 30 minutos, o gráfico de pareto (Figura 31a) indica que a variável significativa para remoção de turbidez foi a dosagem de coagulante. Pelo gráfico de curvas de nível (Figura 31b), observamos que dosagens de tanino entre 58,75 e 101,25 mg.L<sup>-1</sup> (que correspondem aos códigos -0,5 e 0,5) resultam em remoções de turbidez superiores a 99,5%.

Os resultados de para remoção de cor aparente, obtidos ao utilizar como variáveis independentes a dosagem de tanino e o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 são apresentados pela Tabela 28.

**Tabela 28** – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com tanino com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 715 uH	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	Média
Dosagem de tanino (mg.L <sup>-1</sup> )	37,5	122,5	37,5	122,5	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	140,10	19,90	80,00
pH de coagulação	6,19	6,19	8,09	8,09	8,48	5,80	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14
Cor aparente 10 min (uH)	63	69	38	22	10	26	15	13	17	14	150	21	38,17
Remoção cor aparente 10 min (%)	91,19	90,35	94,69	96,92	98,60	96,36	97,90	98,18	97,62	98,04	79,02	97,06	94,66
Cor aparente 30 min (uH)	4	9	6	1	2	5	13	14	13	15	136	23	20,08
Remoção cor aparente 30 min (%)	99,44	98,74	99,16	99,86	99,72	99,30	98,18	98,04	98,18	97,90	80,98	96,78	97,19
pH pós tratamento (10 min)	6,89	6,76	7,62	7,49	7,77	6,98	7,22	7,12	7,11	7,13	6,95	7,28	7,19
pH pós tratamento (30 min)	7,05	6,81	7,62	7,50	7,85	6,78	7,31	7,23	7,25	7,25	7,12	7,30	7,26

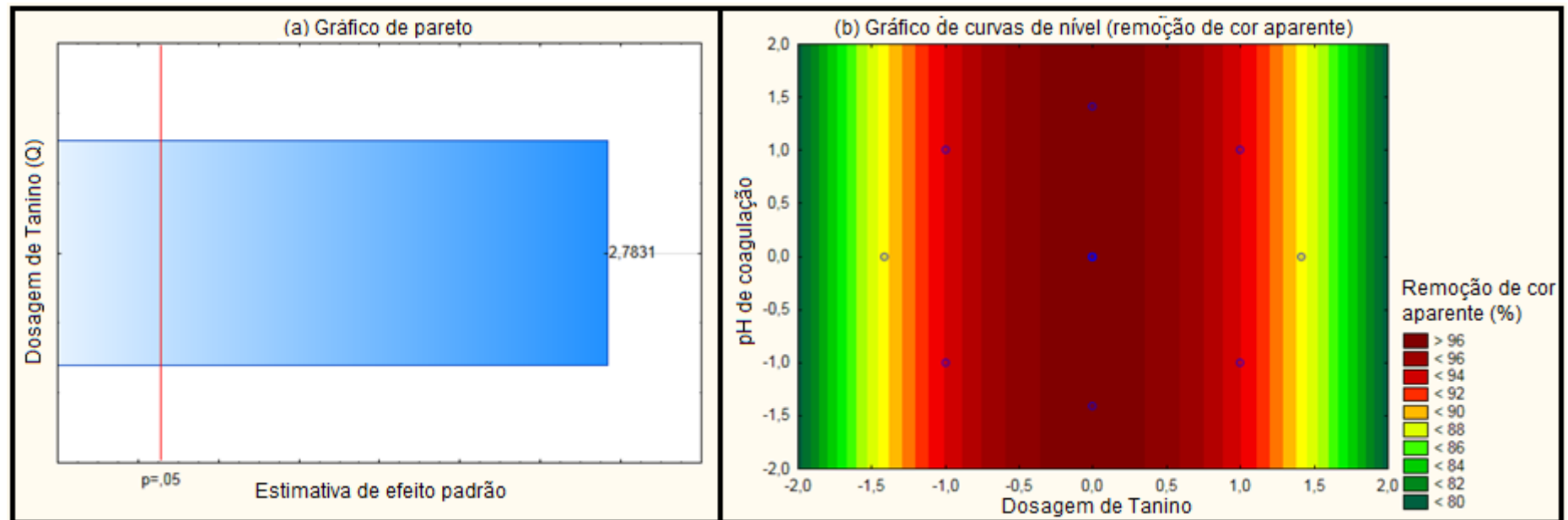
Fonte: Aatoria Própria (2019).

Verifica-se pela Tabela 28 que para o parâmetro de cor aparente, o tempo de sedimentação é um fator significativo para a melhoria dos resultados (redução média de 38,17 para 20,08 uH). Destaca-se ainda que o ensaio no ponto axial de dosagem de coagulante máxima (140,10 mg.L<sup>-1</sup>, que corresponde ao código  $\sqrt{2}$ ) atingiu um resultado de cor aparente residual significativamente inferior ao apresentado pelos outros ensaios (150 e 138 uH, para 10 e 30 minutos de sedimentação, respectivamente), ou seja, dosagens de coagulante acima de 122,50 (código 1,0) devem ser evitadas.

O valor residual de cor aparente mínimo atingido foi de 1 uH, com o percentual de remoção de cor aparente entre 79,02 e 99,86%. A remoção de cor aparente média foi de 94,66% para o tempo de sedimentação de 10 minutos e 97,19% para o tempo de 30 minutos.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com tanino e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 32.

**Figura 32** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de tanino.



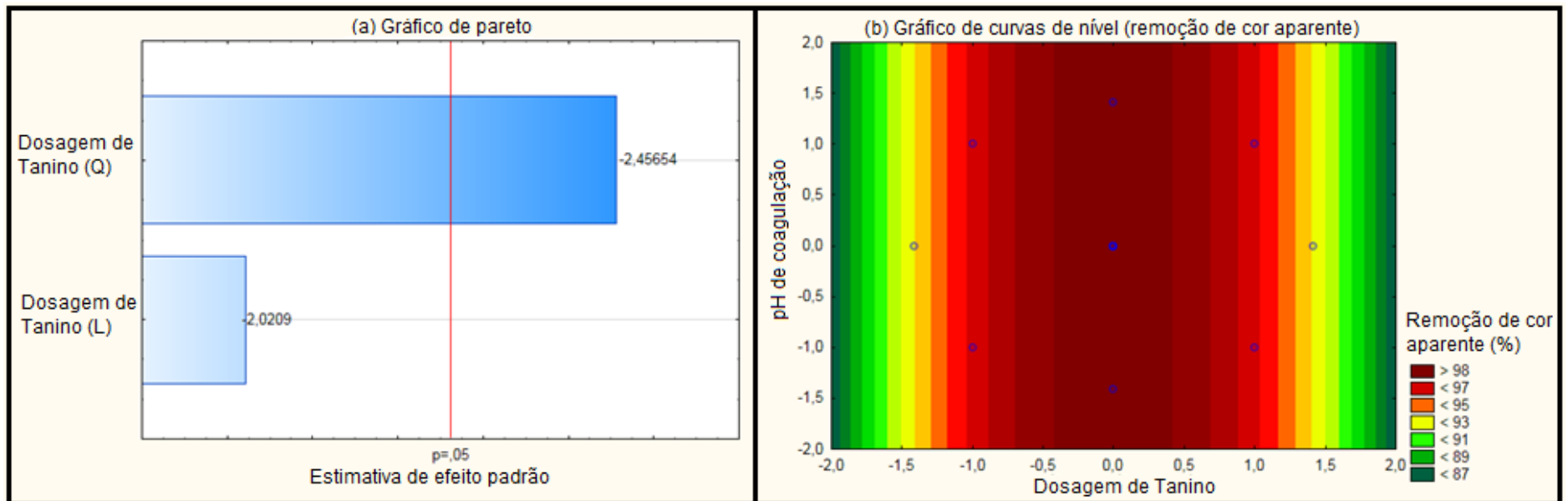
Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela Figura 32, verifica-se no gráfico de pareto que a variável significativa para a remoção de cor aparente com o tempo de sedimentação de 10 minutos foi exclusivamente a dosagem de coagulante. Pelo gráfico de curvas de nível, percentuais de remoção de cor aparente superiores a 96% são atingidos ao utilizar dosagens de tanino próximas ao ponto central (0,0 do DCCR), que correspondem a 80,00 mg.L<sup>-1</sup>.



Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com tanino e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 33.

**Figura 33** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de tanino.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelos resultados obtidos para o tempo de sedimentação de 30 minutos, verifica-se que a variável significativa para a remoção de cor aparente destes ensaios foi a dosagem de tanino (Figura 33a), desde que o pH de coagulação seja mantido na faixa estudada (de 5,80 a 8,48). Pelo gráfico de curvas de nível (Figura 33b), remoções de cor aparente superiores a 98% são atingidas ao utilizar dosagem de coagulante superior a 58,75 (código -0,5 do DCCR) e inferior a 101,25 mg.L<sup>-1</sup> (código 0,5).

Os resultados de para remoção de DQO, obtidos ao utilizar como variáveis independentes a dosagem de tanino e o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 são apresentados pela Tabela 29.

**Tabela 29** – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com tanino com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 1993,70 mg.L <sup>-1</sup>	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	J12	Média
Dosagem de tanino (mg.L <sup>-1</sup> )	37,5	122,5	37,5	122,5	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	80,00	140,10	19,90	80,00
pH de coagulação	6,19	6,19	8,09	8,09	8,48	5,80	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14
DQO 10 min (mg.L <sup>-1</sup> )	172,35	163,71	113,62	46,24	33,72	44,52	29,97	37,46	31,47	23,98	49,70	37,46	65,35
Remoção de DQO 10 min (%)	91,36	91,79	94,30	97,68	98,31	97,77	98,50	98,12	98,42	98,80	97,51	98,12	96,72
DQO 30 min (mg.L <sup>-1</sup> )	24,73	82,52	35,96	26,97	27,72	18,73	14,24	11,24	16,48	15,73	60,06	23,98	29,86
Remoção de DQO 30 min (%)	98,76	95,86	98,20	98,65	98,61	99,06	99,29	99,44	99,17	99,21	96,99	98,80	98,50
pH pós tratamento (10 min)	6,89	6,76	7,62	7,49	7,77	6,98	7,22	7,12	7,11	7,13	6,95	7,28	7,19
pH pós tratamento (30 min)	7,05	6,81	7,62	7,50	7,85	6,78	7,31	7,23	7,25	7,25	7,12	7,30	7,26

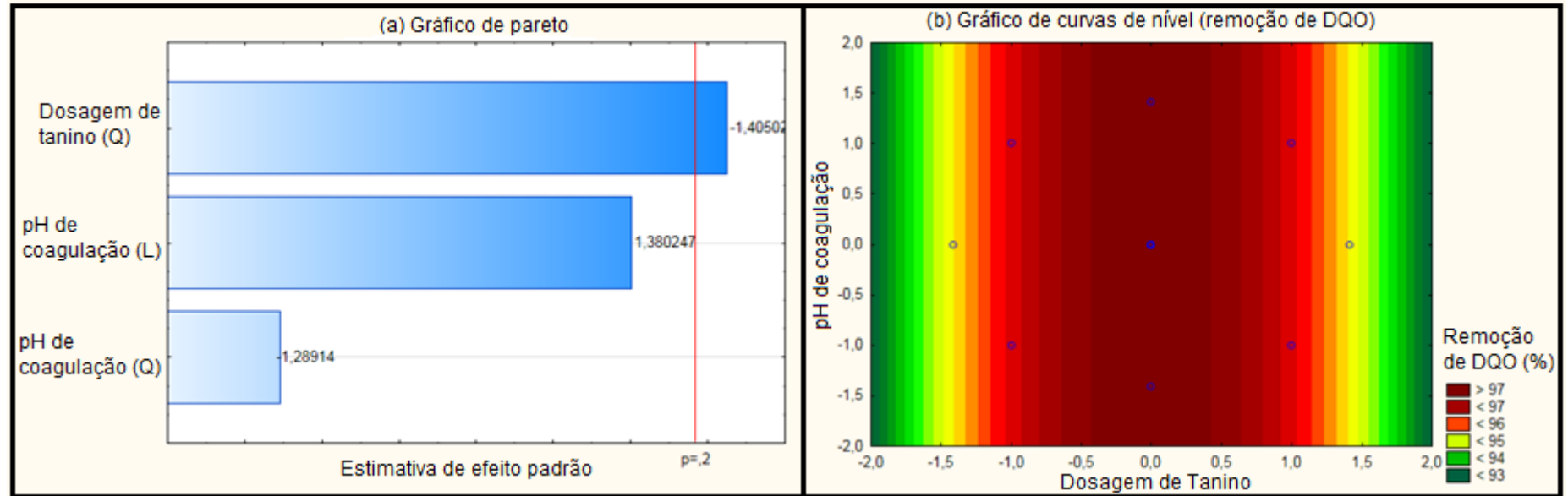
Fonte: Aatoria Própria (2019).

A Tabela 29 demonstra as melhores faixas de trabalho para a remoção de DQO do efluente bruto ao utilizar o coagulante tanino na faixa de pH de coagulação entre 5,80 a 8,48. Observa-se que o tempo de sedimentação foi um parâmetro significativo para a eficiência de remoção de DQO, já que enquanto a DQO média após 10 minutos de sedimentação foi de 65,35 mg.L<sup>-1</sup>, após 30 minutos a DQO média foi de 29,86 mg.L<sup>-1</sup>.

O percentual de remoção de DQO ficou entre 91,36 e 99,44%, com percentual médio de remoção de 96,72 para o tempo de sedimentação de 10 minutos e 98,50 mg.L<sup>-1</sup> para 30 minutos. O menor valor obtido para DQO foi de 11,24 mg.L<sup>-1</sup>.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com tanino e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 34.

**Figura 34** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de tanino.

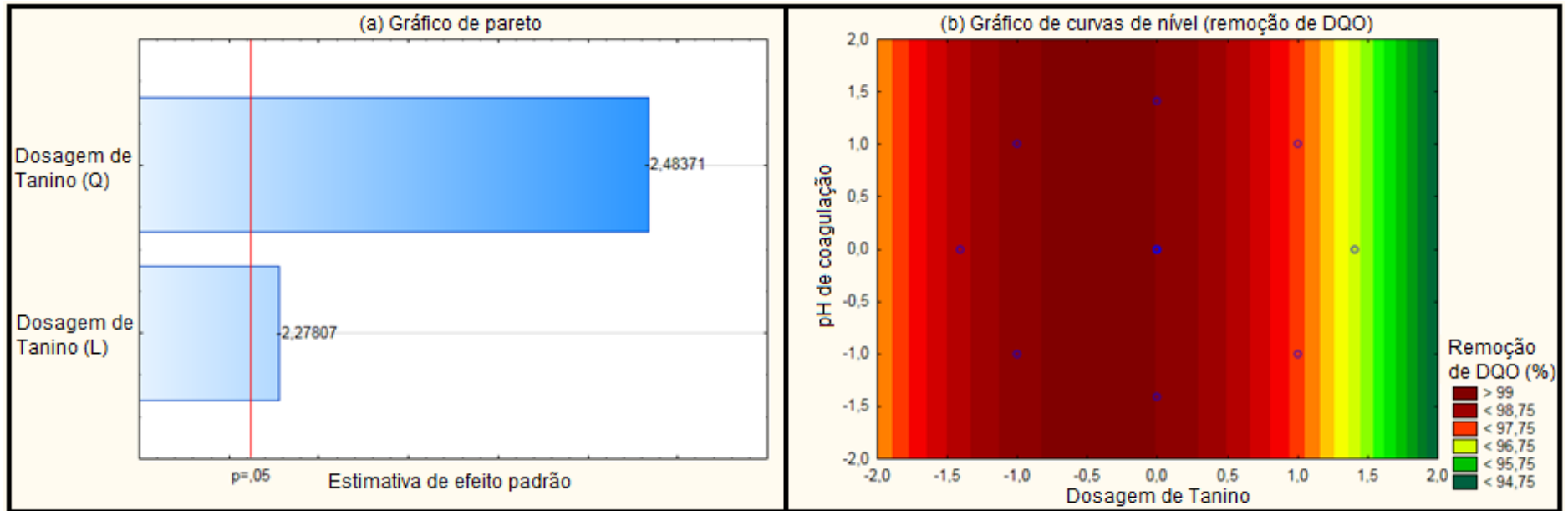


Fonte: Autoria Própria (2019).

Para a remoção de DQO com o tempo de sedimentação de 10 minutos, verifica-se pelo gráfico de pareto (Figura 34a) que a variável significativa foi a dosagem de tanino. A dosagem ideal de coagulante para este tratamento é verificada pelo gráfico de curvas de nível (Figura 34b), que indica remoção superior a 97% de DQO entre os códigos do modelo matemático -0,5 e 0,5, que correspondem a 60 a 100 mg.L<sup>-1</sup>.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com tanino e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 35.

**Figura 35** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de tanino.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela Figura 35, verifica-se pelo gráfico de pareto que para o tempo de sedimentação de 30 minutos a variável significativa para remoção de DQO é a dosagem de coagulante. Pelo gráfico de curvas de nível, observa-se que percentuais de remoção de DQO superiores a 99% são encontrados pela faixa de dosagem de coagulante superiores a  $37,5 \text{ mg L}^{-1}$  (código -1,0 do modelo matemático) e superiores a  $80 \text{ mg L}^{-1}$  (ponto central 0,0).

Entre as Figuras 36 a 41, e nas Tabelas 30, 31 e 32 são apresentados os resultados referentes ao tratamento do efluente utilizando as variáveis pH de coagulação e a dosagem de cloreto férrico. Os resultados de para remoção de turbidez, obtidos ao utilizar como variáveis independentes a dosagem de cloreto férrico e o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 são apresentados pela Tabela 30.

**Tabela 30** – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com cloreto férrico com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 336,25 NTU	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de FeCl <sub>3</sub> (mg Fe.L <sup>-1</sup> )	18,08	66,28	18,08	66,28	42,18	42,18	42,18	42,18	42,18	76,27	8,09	42,18
pH de coagulação	6,19	6,19	8,09	8,09	8,48	5,80	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14
Turbidez 10 min (NTU)	29,00	44,00	24,00	35,00	31,00	56,00	16,60	27,80	17,20	43,20	55,80	34,51
Remoção turbidez 10 min (%)	91,38	86,91	92,86	89,59	90,78	83,35	95,06	91,73	94,88	87,15	83,41	90,59
Turbidez 30 min (NTU)	9,00	20,00	12,00	15,00	8,00	21,00	18,30	5,33	7,23	11,30	35,30	14,77
Remoção turbidez 30 min (%)	97,32	94,05	96,43	95,54	97,62	93,75	94,56	98,41	97,85	96,64	89,50	95,97
pH pós tratamento (10 min)	5,59	2,79	6,47	3,45	5,75	3,05	4,91	4,97	4,66	2,67	7,13	4,68
pH pós tratamento (30 min)	6,10	2,68	6,41	3,41	5,62	3,07	4,90	4,97	4,47	2,66	7,08	4,67

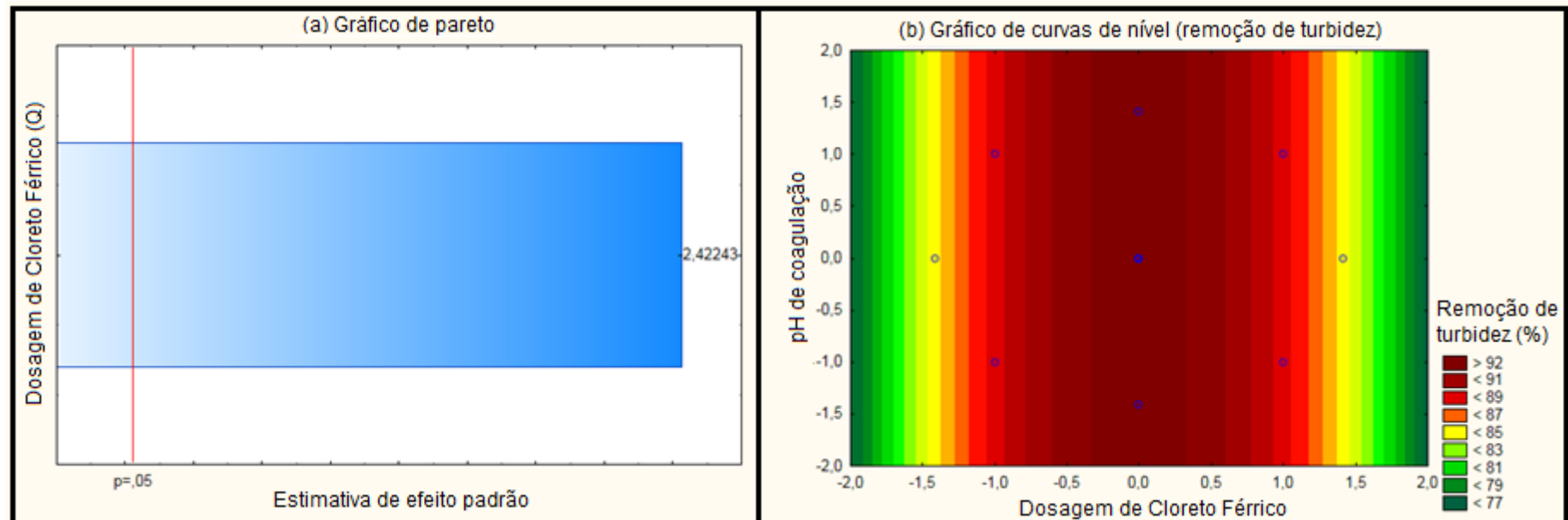
Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela Tabela 30, verifica-se que o tempo de sedimentação não apresentou significância para o pH pós tratamento, reduzindo em média de 4,68 para 4,67, ou seja, aumentando o tempo o pH manteve-se praticamente estável. A faixa de valores de pH para os tempos de sedimentação avaliados foram de 2,66 a 7,13.

Já para o parâmetro turbidez, o tempo de sedimentação de 30 minutos atingiu resultados médios 57,20% superiores aos encontrados com 10 minutos, o que incorre na redução da turbidez residual média de 34,51 para 14,77 NTU. O menor valor obtido para a turbidez foi de 5,33 NTU, e a faixa de eficiência de remoção de turbidez ficou entre 83,35 e 98,41%.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto férrico e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 36.

**Figura 36** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.

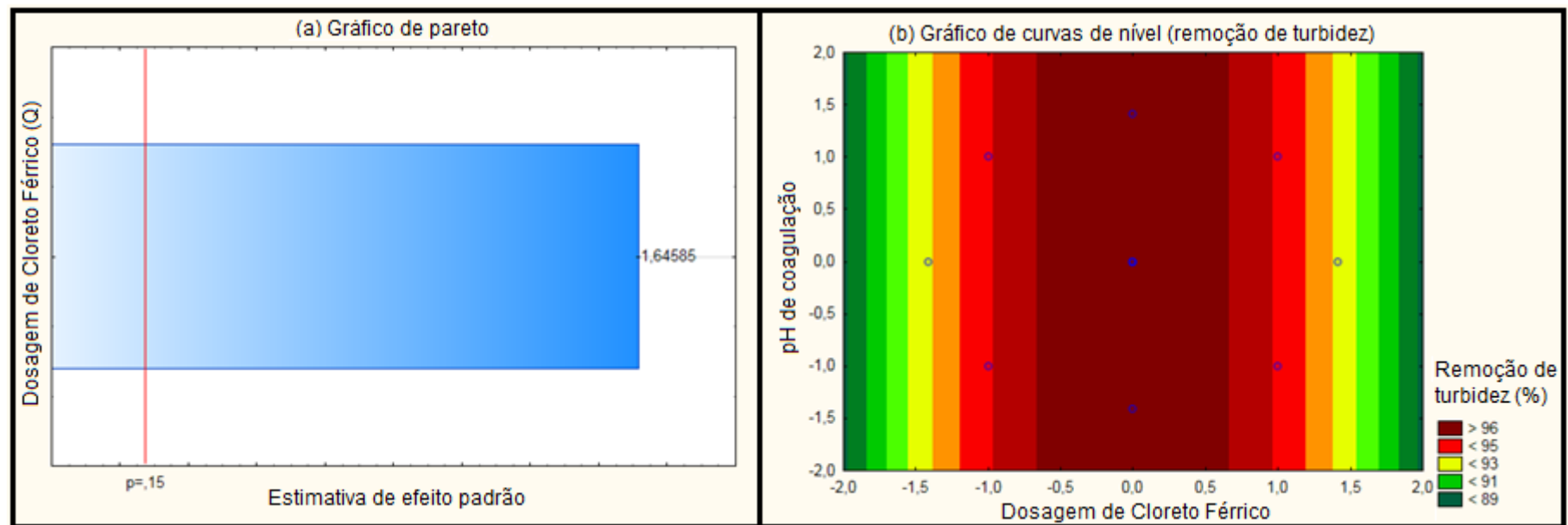


Fonte: Autoria Própria (2019).

As análises realizadas para o parâmetro turbidez apresentaram como variável significativa apenas a dosagem de cloreto férrico (vide gráficos de pareto, Figura 36), Os melhores resultados foram obtidos ao aplicar a dosagem de coagulante próxima a  $42,18 \text{ mg L}^{-1}$ , que corresponde ao ponto central do DCCR (0,0), superando os 92% de remoção após 10 minutos de sedimentação.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto férrico e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 37.

**Figura 37** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de pareto (Figura 37a), verifica-se que a variável significativa para a remoção de turbidez destes ensaios com o tempo de sedimentação de 30 minutos foi a dosagem quadrática de cloreto férrico. Pelo gráfico de curvas de nível (Figura 37b), verifica-se que percentuais de remoção de turbidez superiores a 96% são encontrados ao utilizar a dosagem de coagulante entre 18 e 66 mg.Fe.L<sup>-1</sup>, que correspondem aos códigos -0,5 e 0,5 do modelo matemático utilizado.

Os resultados de para remoção de cor aparente, obtidos ao utilizar como variáveis independentes a dosagem de cloreto férrico e o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 são apresentados pela Tabela 31.

**Tabela 31** – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com cloreto férrico com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 807,50 uH	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de FeCl <sub>3</sub> (mg Fe.L <sup>-1</sup> )	18,08	66,28	18,08	66,28	42,18	42,18	42,18	42,18	42,18	76,27	8,09	42,18
pH de coagulação	6,19	6,19	8,09	8,09	8,48	5,80	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14
Cor aparente 10 min (uH)	49	153	145	257	63	152	65	62	79	387	258	151,82
Remoção cor aparente 10 min (%)	93,93	81,05	82,04	68,17	92,20	81,18	91,95	92,32	90,22	52,07	68,05	82,77
Cor aparente 30 min (uH)	21	101	106	227	20	85	28	20	35	328	195	106,00
Remoção cor aparente 30 min (%)	97,40	87,49	86,87	71,89	97,52	89,47	96,53	97,52	95,67	59,38	75,85	87,97
pH pós tratamento (10 min)	5,59	2,79	6,47	3,45	5,75	3,05	4,91	4,97	4,66	2,67	7,13	4,68
pH pós tratamento (30 min)	6,10	2,68	6,41	3,41	5,62	3,07	4,90	4,97	4,47	2,66	7,08	4,67

Fonte: Aatoria Própria (2019).

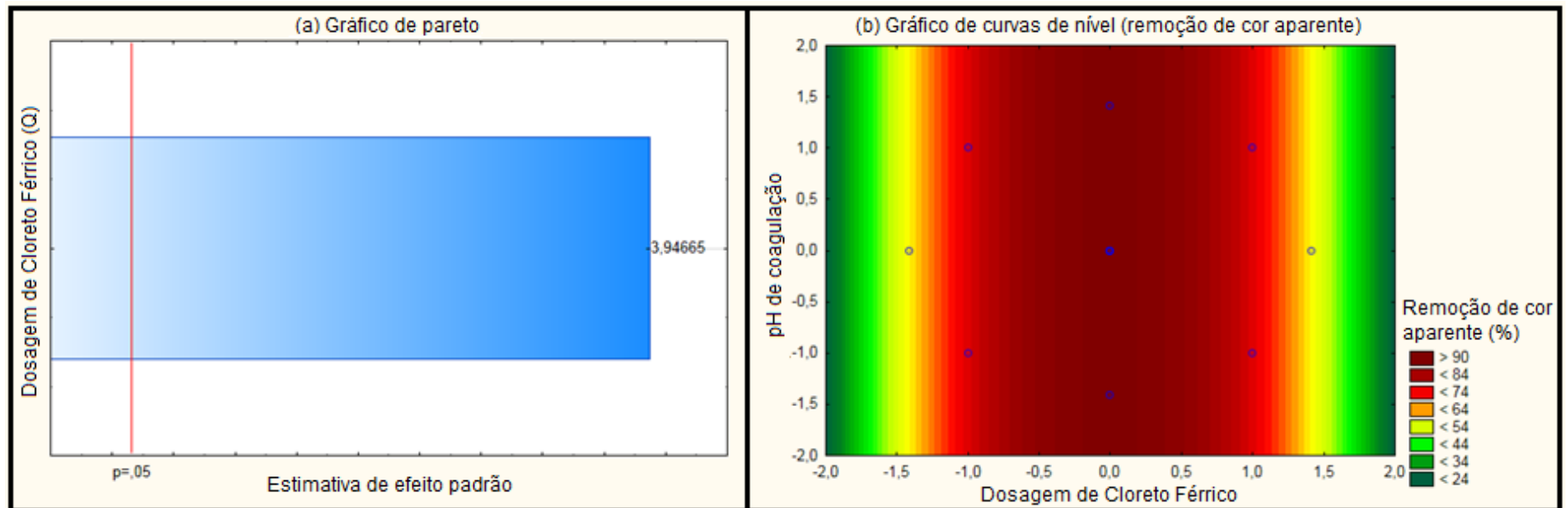
Através da Tabela 31, verifica-se que para aumentar o percentual de cor aparente removida, o tempo de sedimentação é um parâmetro importante, já que a cor residual média com 10 minutos foi de 151,82 uH e com 30 minutos foi reduzida para 106,00 uH (redução de 30,18%). A faixa de cor aparente residual ficou entre 20 e 387 uH. O percentual de remoção de cor aparente destes ensaios ficou entre 52,07 e 97,52%, com eficiência média de remoção de 82,77 e 87,97% para os tempos de sedimentação de 10 e 30 minutos, respectivamente.

As variações no pH pós-tratamento indicam a baixa alcalinidade do efluente, já que a variação na dosagem de coagulante apresenta considerável queda do pH pós tratamento. Também verifica-se que os ensaios com cloreto férrico resultam em remoções de cor aparente inferiores as obtidas por outros coagulantes, característica de coagulantes com compostos férricos.



Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto férrico e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 38.

**Figura 38** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.

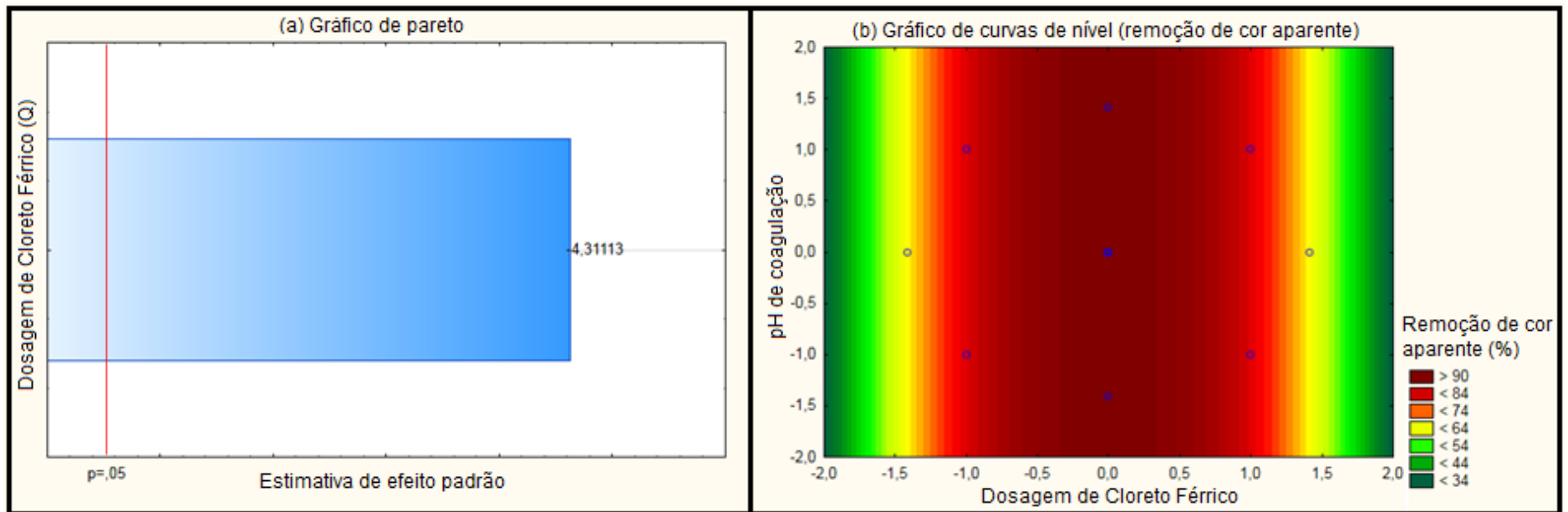


Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela Figura 38, verifica-se pelo gráfico de pareto que a variável significativa para remoção de cor aparente foi a dosagem de cloreto férrico. Pelo gráfico de curvas de nível, percentuais de remoção de cor aparente superiores a 90% são atingidos ao utilizar dosagens de coagulante próximas ao ponto central 0,0 ( $42,18 \pm 10,00 \text{ mg Fe.L}^{-1}$ )

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto férrico e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 39.

**Figura 39** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.



Fonte: Autoria Própria (2019).

O gráfico de pareto (Figura 39a) indica que a variável significativa para remoção de cor aparente com o tempo de sedimentação de 30 minutos foi a dosagem de coagulante. Através do gráfico de curvas de nível, temos que remoções de cor aparente superiores a 90% são alcançadas ao utilizar dosagem de cloreto férrico próximas ao ponto central (0,0), que correspondem a 42,18 mg Fe.L<sup>-1</sup>.

Os resultados de para remoção de DQO, obtidos ao utilizar como variáveis independentes a dosagem de cloreto férrico e o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 são apresentados pela Tabela 32.

**Tabela 32 – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com cloreto férrico com 10 e 30 minutos de sedimentação.**

Efluente bruto: 1696,85 mg.L <sup>-1</sup>	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de FeCl <sub>3</sub> (mg Fe.L <sup>-1</sup> )	18,08	66,28	18,08	66,28	42,18	42,18	42,18	42,18	42,18	76,27	8,09	42,18
pH de coagulação	6,19	6,19	8,09	8,09	8,48	5,80	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14
DQO 10 min (mg.L <sup>-1</sup> )	73,88	168,89	118,80	61,79	85,98	146,44	44,52	37,46	36,71	220,72	220,72	110,54
Remoção de DQO 10 min (%)	95,65	90,05	93,00	96,36	94,93	91,37	97,38	97,79	97,84	86,99	86,99	94,03
DQO 30 min (mg.L <sup>-1</sup> )	46,24	31,47	26,97	26,97	20,98	31,47	32,97	24,73	29,97	79,07	66,97	37,98
Remoção de DQO 30 min (%)	97,27	98,15	98,41	98,41	98,76	98,15	98,06	98,54	98,23	95,34	96,05	97,95
pH pós tratamento (10 min)	5,59	2,79	6,47	3,45	5,75	3,05	4,91	4,97	4,66	2,67	7,13	4,68
pH pós tratamento (30 min)	6,10	2,68	6,41	3,41	5,62	3,07	4,90	4,97	4,47	2,66	7,08	4,67

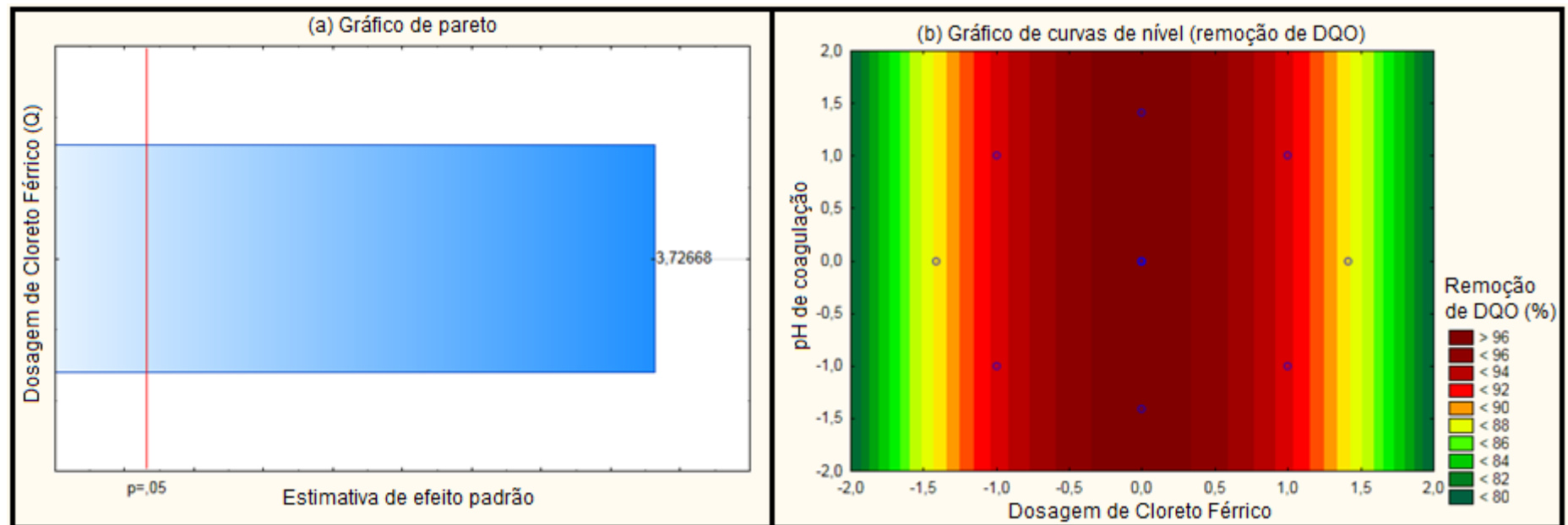
Fonte: Autoria Própria (2019).

A Tabela 32 apresenta os resultados de DQO, com percentuais de remoção na faixa entre 86,99 e 98,76%. A remoção média obtida foi de 94,03 e 97,95% para os tempos de sedimentação de 10 e 30 minutos, respectivamente. Os valores de DQO residual encontrados foram de 20,98 a 220,72 mg.L<sup>-1</sup>, sendo a DQO média obtida após 10 minutos de sedimentação de 110,54 mg.L<sup>-1</sup> e após 30 minutos 37,98 mg.L<sup>-1</sup>.

O tempo de sedimentação de 30 minutos se mostra como mais adequado para a remoção de DQO, já que todos os ensaios apresentaram resultados melhores se comparados aos obtidos com o tempo de 10 minutos. Também verifica-se que os ensaios com dosagens de coagulante nos pontos axiais mínimo (8,09 mg Fe.L<sup>-1</sup>) e máximo (76,27 mg Fe.L<sup>-1</sup>) foram os que apresentaram os piores resultados de DQO residual.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto férrico e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 40.

**Figura 40** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.

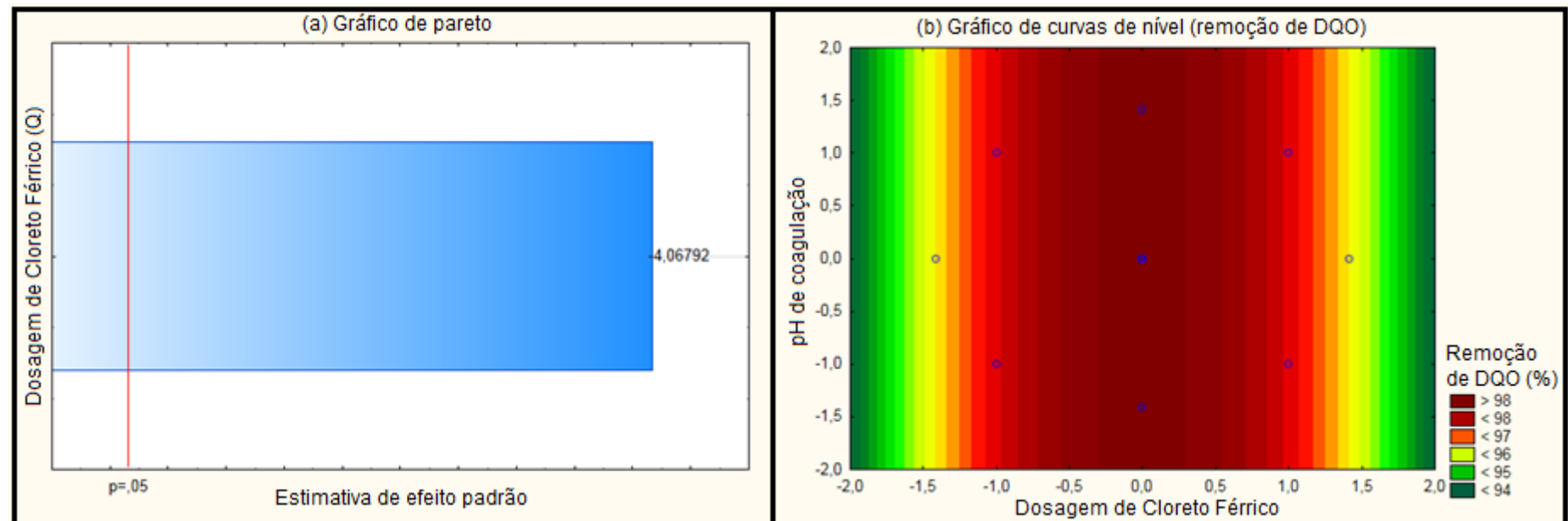


Fonte: Autoria Própria (2019).

O gráfico de pareto (Figura 40a) indica que a variável significativa para remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos nestes ensaios foi a dosagem de cloreto férrico. Já o gráfico de curvas de nível (Figura 40b) apresenta que percentuais de remoção de DQO superiores a 96% podem ser atingidos ao utilizar dosagens de coagulante próximas ao ponto central (0,0) definido pelo DCCR, que correspondem a 42,18 mg Fe.L<sup>-1</sup>.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto férrico e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 41.

**Figura 41** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Como a variável significativa para remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos foi à dosagem de coagulante (gráfico de pareto, Figura 41a), podemos verificar pelos gráficos de curvas de nível (Figura 41b) que remoções de DQO superando 98% foram encontradas ao utilizar dosagens próximas  $42,18 \text{ mg L}^{-1}$  (código 0,0 do modelo matemático).

Entre as Figuras 42 a 47, e nas Tabelas 33, 34 e 35 são apresentados os resultados referentes ao tratamento do efluente utilizando as variáveis pH de coagulação e a dosagem de cloreto de polialumínio. Os resultados de para remoção de turbidez, obtidos ao utilizar como variáveis a dosagem de PAC e o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 são apresentados pela Tabela 33.

**Tabela 33** – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 281,75 NTU	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	29,12	103,24	29,12	103,24	66,18	66,18	66,18	66,18	118,59	13,77	66,18
pH de coagulação	6,19	6,19	8,09	8,09	8,48	5,8	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14
Turbidez 10 min (NTU)	76	39	57	40	8	33	50	44	96	7	45,00
Remoção turbidez 10 min (%)	73,03	86,16	79,77	85,80	97,16	88,29	82,25	84,38	65,93	97,52	86,69
Turbidez 30 min (NTU)	18	19	6	21	5	27	19	17	39	2	17,30
Remoção turbidez 30 min (%)	93,61	93,26	97,87	92,55	98,23	90,42	93,26	93,97	86,16	99,29	94,88
pH pós tratamento (10 min)	4,74	3,64	6,13	3,98	4,86	3,95	4,95	4,62	4,17	7,12	4,82
pH pós tratamento (30 min)	5,16	3,69	5,87	3,87	4,81	4,00	4,53	4,51	4,15	6,39	4,70

Fonte: Autoria Própria (2019).

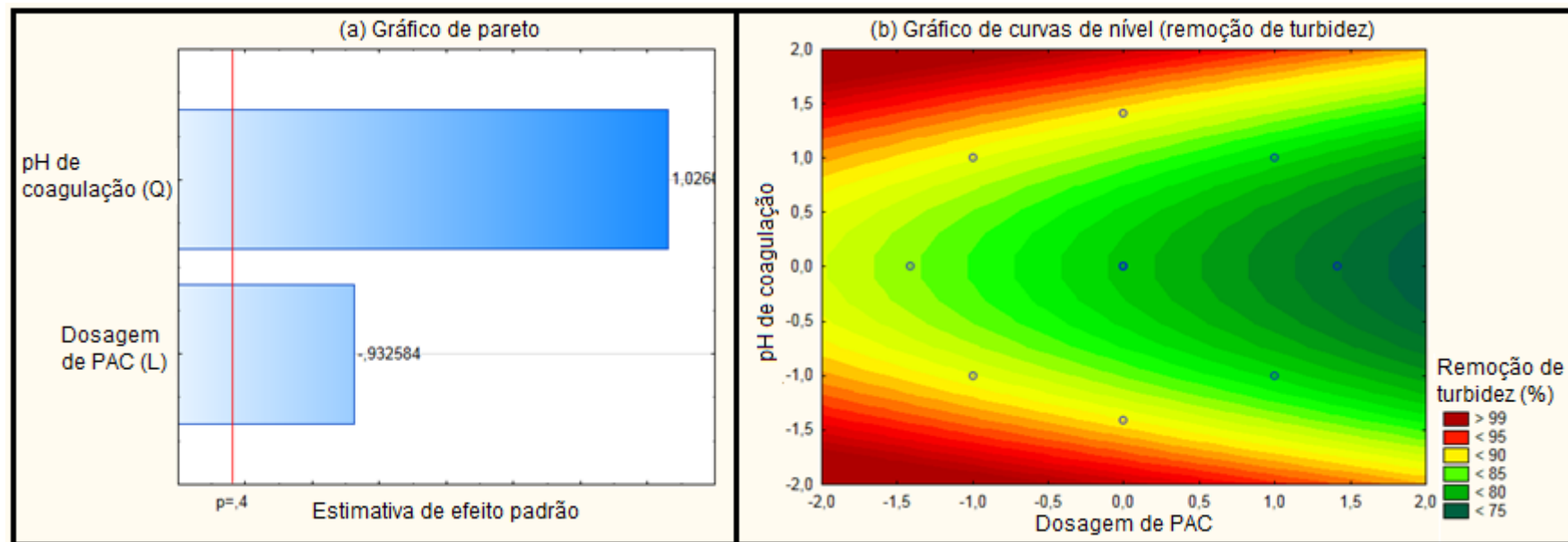
Pela Tabela 33, verifica-se que o tempo de sedimentação não é um fator relevante para a variação do pH pós tratamento, já que foi reduzido em média de 4,82 para 4,70 ao aumentar de 10 para 30 minutos. O pH médio do efluente após o tratamento nos tempos de sedimentação trabalhados foi de 4,76, com faixa de pH entre 3,64 e 7,12.

Para a remoção de turbidez, observa-se a importância de utilizar o tempo de sedimentação de 30 minutos (residual média de 17,30 NTU, perante os 45,00 NTU encontrados com 10 minutos), ou seja, melhoria de 61,56%.

Considerando o tempo de sedimentação de 30 minutos, os valores de turbidez remanescentes encontrados ficaram entre 2,00 NTU (remoção de 99,29%) e 39,00 NTU (remoção de 65,71%) e a remoção média foi de 94,88%

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto de polialumínio e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 42.

**Figura 42** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.

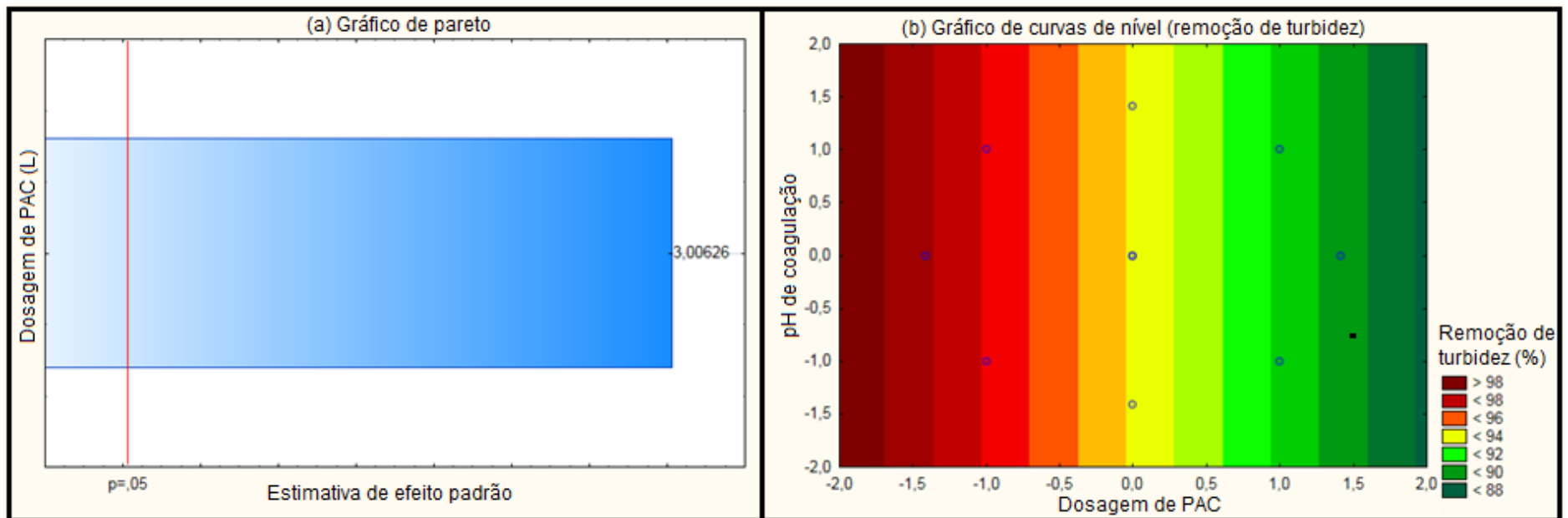


Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela Figura 42, verifica-se pelo gráfico de pareto que com 10 minutos de sedimentação são variáveis significativas o pH de coagulação e a dosagem de PAC. O gráfico de curvas indica que percentuais de remoção de turbidez superiores a 99% são atingidos ao realizar o tratamento com pH de coagulação inferior a 5,80 (código  $-\sqrt{2}$  do DCCR) ou superior a 8,48 (código  $\sqrt{2}$ ), com dosagens de coagulante inferiores a  $29,12 \text{ mg.L}^{-1}$  (código -1).

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto de polialumínio e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 43.

**Figura 43** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.



Fonte: Autoria Própria (2019)

Pelo gráfico de pareto (Figura 43a), verifica-se que para a remoção de turbidez com o tempo de sedimentação de 30 minutos a variável independente significativa foi a dosagem de coagulante. Pelo gráfico de curvas de nível (Figura 43b), tem-se que os melhores percentuais de remoção de turbidez (superiores a 98%) podem ser atingidos ao utilizar dosagens de PAC inferiores a 13,24 mg Al.L<sup>-1</sup>, que foi o ponto axial mínimo utilizado para estes ensaios (código -  $\sqrt{2}$  do DCCR).



Os resultados de para remoção de cor aparente, obtidos ao utilizar como variáveis a dosagem de cloreto de polialumínio e o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 são apresentados pela Tabela 34

**Tabela 34** – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 715,25 uH	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	29,12	103,24	29,12	103,24	66,18	66,18	66,18	66,18	118,59	13,77	66,18
pH de coagulação	6,19	6,19	8,09	8,09	8,48	5,8	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14
Cor aparente 10 min (uH)	127	136	56	147	41	122	200	188	350	52	141,90
Remoção cor aparente 10 min (%)	82,24	80,99	92,17	79,45	94,27	82,94	72,04	73,72	51,07	92,73	83,47
Cor aparente 30 min (uH)	41	100	16	138	35	107	115	114	221	15	90,20
Remoção cor aparente 30 min (%)	94,27	86,02	97,76	80,71	95,11	85,04	83,92	84,06	69,10	97,90	89,49
pH pós tratamento (10 min)	4,74	3,64	6,13	3,98	4,86	3,95	4,95	4,62	4,17	7,12	4,82
pH pós tratamento (30 min)	5,16	3,69	5,87	3,87	4,81	4,00	4,53	4,51	4,15	6,39	4,70

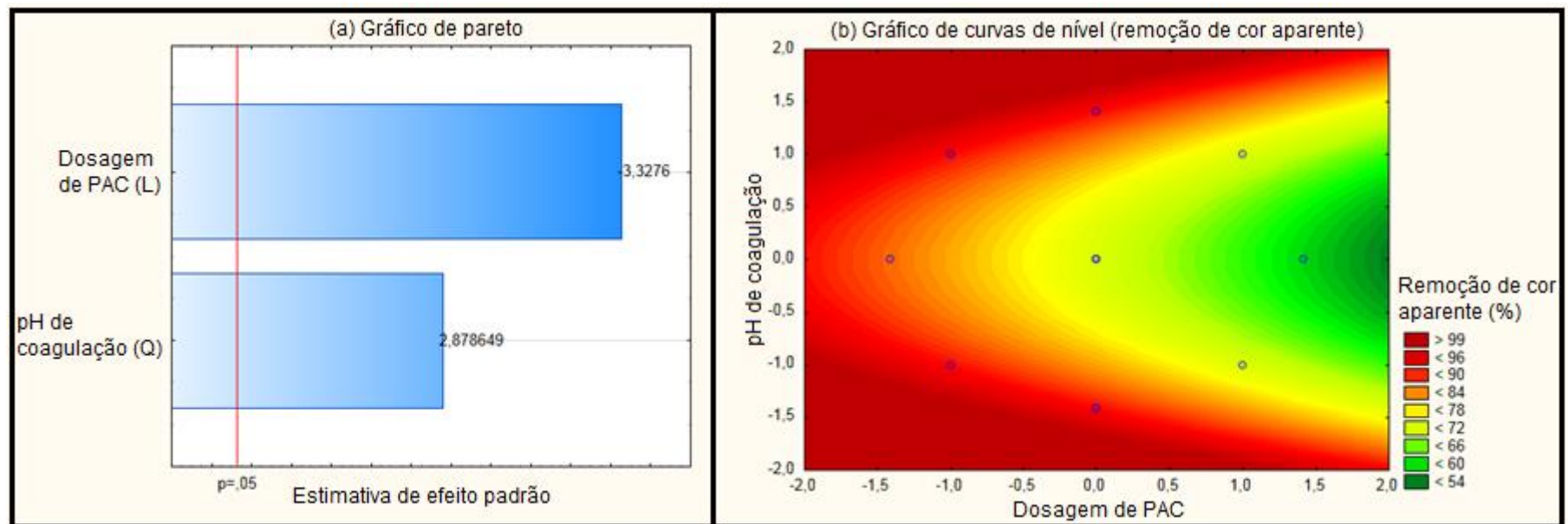
Fonte: Aatoria Própria (2019).

Pela Tabela 34, observa-se que a eficiência de remoção de cor aparente ficou entre 51,07 e 97,90%. A cor aparente residual média encontrada para o tempo de sedimentação de 10 minutos foi de 141,90 uH, enquanto para o tempo de sedimentação de 30 minutos foi de 90,20 uH, ou seja, ao utilizar o maior tempo de sedimentação, houve uma redução média de 36,43% da cor aparente residual.

Para todos os jarros ensaiados com o coagulante PAC e utilizando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48, o tempo de sedimentação de 30 minutos incorreu em resultados melhores do que os obtidos com 10 minutos. A remoção média foi de 83,47 e 89,49% para os tempos de sedimentação de 10 e 30 minutos, e os valores de cor aparente residual ficaram na faixa entre 15 e 350 uH.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 44.

**Figura 44** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.

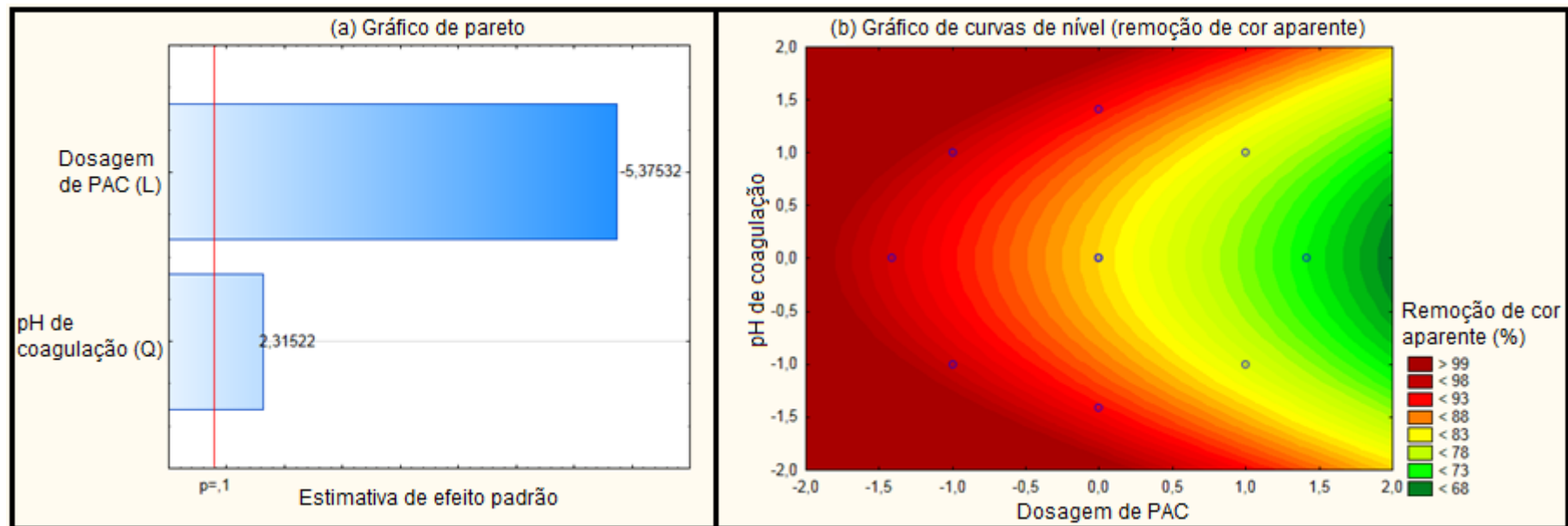


Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de curvas de nível da Figura 44, temos que dosagens de PAC inferiores a  $29,12 \text{ mg.L}^{-1}$  (código -1 do DCCR) combinados a faixas de pH superiores a 8,09 (código 1,0) ou inferiores a 6,19 (código -1,0) apresentam as melhores remoções de cor aparente (superiores a 99%). Já o gráfico de pareto nos indica que as variáveis significativas para remoção de cor aparente com 10 minutos de sedimentação foram a dosagem de coagulante linear e o pH de coagulação quadrático.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 45.

**Figura 45** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.



Fonte: Autoria Própria (2019).

O gráfico de pareto da Figura 45 indica que para remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 30 minutos, o pH de coagulação e a dosagem de coagulante são variáveis significativas. Pelo gráfico de curvas de nível, tem-se que percentuais de remoção de cor aparente superiores a 99% são atingidos ao combinar dosagens de PAC inferiores a 29,12 mg Al.L<sup>-1</sup> (código -1 do DCCR) com pH de coagulação inferior a 6,19 (código -1) ou superior a 8,09 (código 1).

Os resultados de para remoção de DQO, obtidos ao utilizar como variáveis a dosagem de cloreto de polialumínio e o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 são apresentados pela Tabela 35

**Tabela 35** – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 1993,80 mg.L <sup>-1</sup>	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	29,12	103,24	29,12	103,24	66,18	66,18	66,18	66,18	118,59	13,77	66,18
pH de coagulação	6,19	6,19	8,09	8,09	8,48	5,8	7,14	7,14	7,14	7,14	7,14
DQO 10 min (mg.L <sup>-1</sup> )	377,92	168,89	160,26	194,81	29,97	110,16	129,16	139,53	345,09	22,48	167,83
Remoção de DQO 10 min (%)	81,05	91,53	91,96	90,23	98,50	94,47	93,52	93,00	82,69	98,87	92,99
DQO 30 min (mg.L <sup>-1</sup> )	33,72	14,99	39,71	35,22	32,97	34,47	42,79	33,72	96,34	26,97	39,09
Remoção de DQO 30 min (%)	98,31	99,25	98,01	98,23	98,35	98,27	97,85	98,31	95,17	98,65	98,37
pH pós tratamento (10 min)	4,74	3,64	6,13	3,98	4,86	3,95	4,95	4,62	4,17	7,12	4,82
pH pós tratamento (30 min)	5,16	3,69	5,87	3,87	4,81	4,00	4,53	4,51	4,15	6,39	4,70

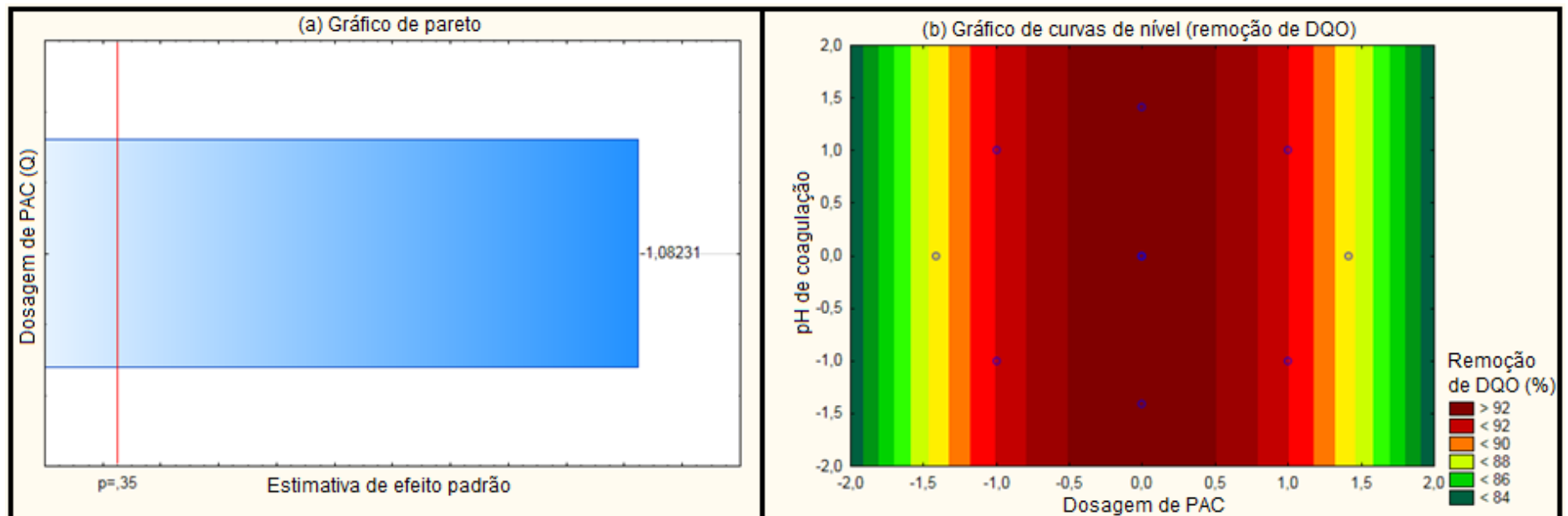
Fonte: Autoria Própria (2019).

Para a remoção de DQO nos ensaios em que as variáveis foram a dosagem do coagulante PAC e o pH de coagulação, verifica-se pela Tabela 35 que o tempo de sedimentação de 10 minutos obteve como DQO residual média 167,83 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto com 30 minutos de sedimentação a média foi de 39,09 mg.L<sup>-1</sup>, ou seja, ao aumentar o tempo de sedimentação houve uma redução média de 76,71% da DQO.

A menor DQO encontrada por estes ensaios foi de 14,99 mg.L<sup>-1</sup>, sendo que a remoção de DQO ficou na faixa de 81,05 a 99,25%. Também verifica-se que a dosagem de coagulante máxima (118,59 mg Al.L<sup>-1</sup>, que corresponde ao código  $\sqrt{2}$ ) atingiu 96,34 mg.L<sup>-1</sup> de DQO residual e o pior resultado deste parâmetro para o tempo de sedimentação de 30 minutos.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 46.

**Figura 46** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.

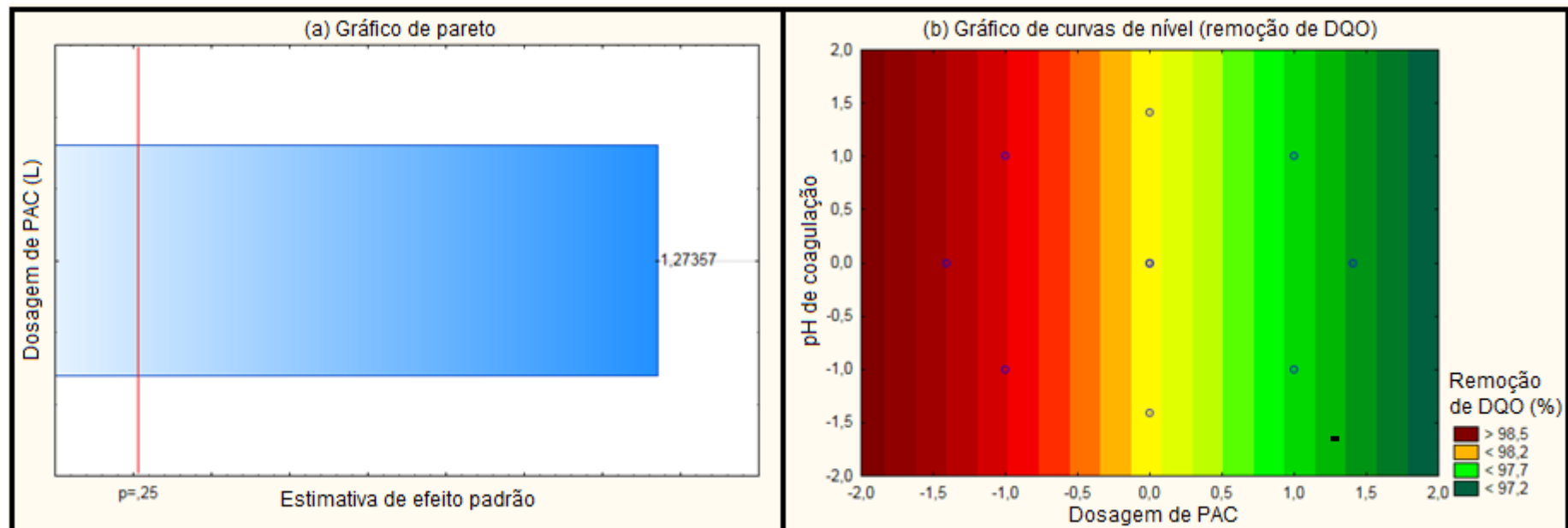


Fonte: Autoria Própria (2019).

Para o tempo de sedimentação de 30 minutos, verifica-se no gráfico de pareto (Figura 46a) que a variável significativa para remoção de DQO foi a dosagem de coagulante. Pelo gráfico de curvas de nível, tem-se que percentuais de remoção de DQO superiores a 92% podem ser atingidos ao utilizar dosagem de PAC entre 47,65 a 84,71 mg.L<sup>-1</sup>, que correspondem aos códigos -0,5 e 0,5 do modelo matemático.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e variando o pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 47.

**Figura 47** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.

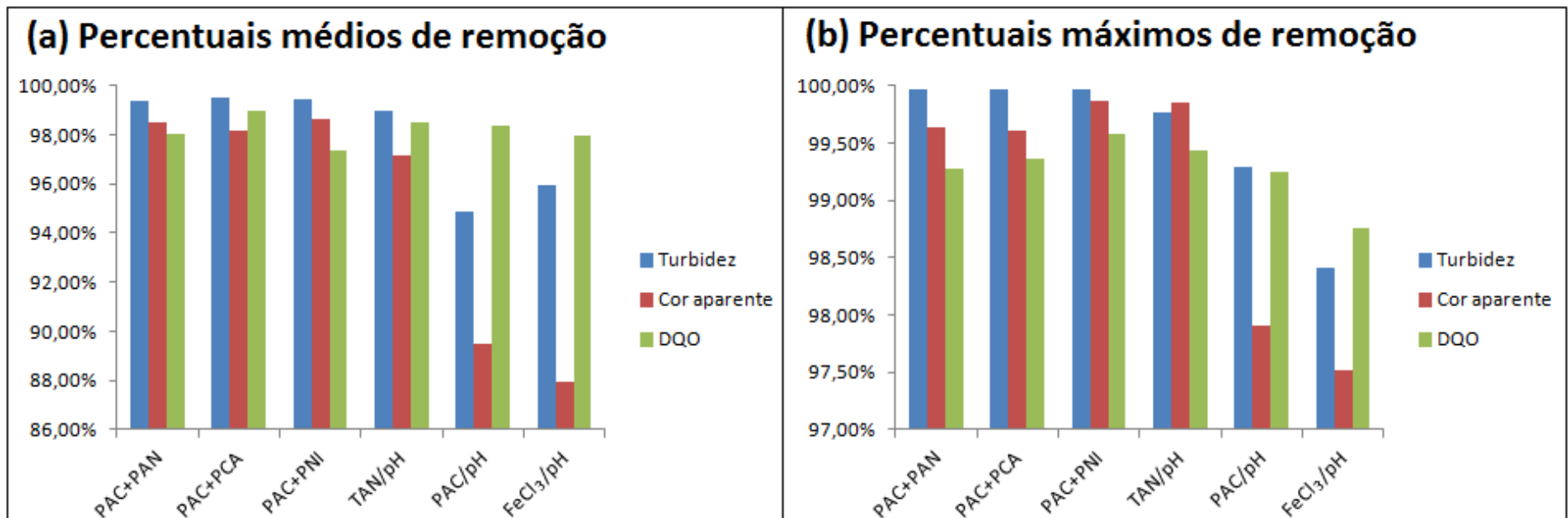


Fonte: Autoria Própria (2019).

Para o tempo de sedimentação de 30 minutos, o gráfico de pareto (Figura 47a) indica que a dosagem de PAC linear foi a variável significativa para a remoção de DQO. O gráfico de curvas de nível indica que percentuais de remoção de DQO superiores a 98% podem ser alcançados ao utilizar dosagens de coagulante inferiores  $66,18 \text{ mg.L}^{-1}$ , que corresponde ao ponto central do modelo matemático utilizado (código 0,0).

Os resultados apresentados durante o presente capítulo são resumidos pela Figura 48, através dos índices médios e máximos de remoção de turbidez, cor aparente e DQO obtidos pela combinação das variáveis independentes (dosagem de coagulante com dosagem de floculante ou pH de coagulação) com o tempo de sedimentação de 30 minutos.

**Figura 48** – Percentuais (a) médios e (b) máximos de remoção de turbidez, cor aparente e DQO com o efluente da primeira coleta.



Fonte: Autoria própria (2019)

Através da Figura 48, verifica-se que os ensaios com o coagulante tanino ou PAC combinado aos polímeros floculantes apresentaram remoções médias e máximas semelhantes, alternando entre si a superioridade perante turbidez, cor aparente e DQO. Por outro lado, verifica-se a inferioridade dos ensaios com cloreto férrico e PAC sem polímeros. Partindo destes resultados, realizou-se uma nova coleta de efluente para tentar reduzir as dosagens de coagulantes e polímeros floculantes.

---

**5.2.****RESULTADOS DOS ENSAIOS REALIZADOS COM O EFLUENTE DA  
SEGUNDA COLETA NA INDÚSTRIA DE RECICLAGEM**

---



Entre as Figuras 49 e 54 são apresentados os resultados atingidos pelo tratamento utilizando cloreto de polialumínio e polímero catiônico, com a complementação das informações dispostas nas Tabelas 36, 37 e 38. Os resultados de turbidez obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de coagulante (PAC) e polímero aniônico são apresentados pela Tabela 36.

**Tabela 36** – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC e PAN com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 1275,91 NTU	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	45,95	12,28	12,28	45,95	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	52,93	5,31	29,12
Dosagem PAN (mg.L <sup>-1</sup> )	0,92	0,92	3,88	3,88	4,49	0,31	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Turbidez 10 min (NTU)	3,69	41,30	12,00	20,80	7,30	33,10	42,60	38,50	52,50	61,90	46,60	32,75
Remoção turbidez 10 min (%)	99,71	96,76	99,06	98,37	99,43	97,41	96,66	96,98	95,89	95,15	96,35	97,43
Turbidez 30 min (NTU)	1,81	13,30	4,70	3,46	5,37	19,40	6,69	9,83	7,30	17,90	27,50	10,66
Remoção turbidez 30 min (%)	99,86	98,96	99,63	99,73	99,58	98,48	99,48	99,23	99,43	98,60	97,84	99,16
pH pós tratamento (10 min)	5,92	6,71	6,70	5,98	6,41	6,39	6,60	6,50	6,51	5,66	6,86	6,39
pH pós tratamento (30 min)	5,84	6,60	6,64	5,92	6,41	6,44	6,33	6,31	6,35	5,50	6,77	6,28

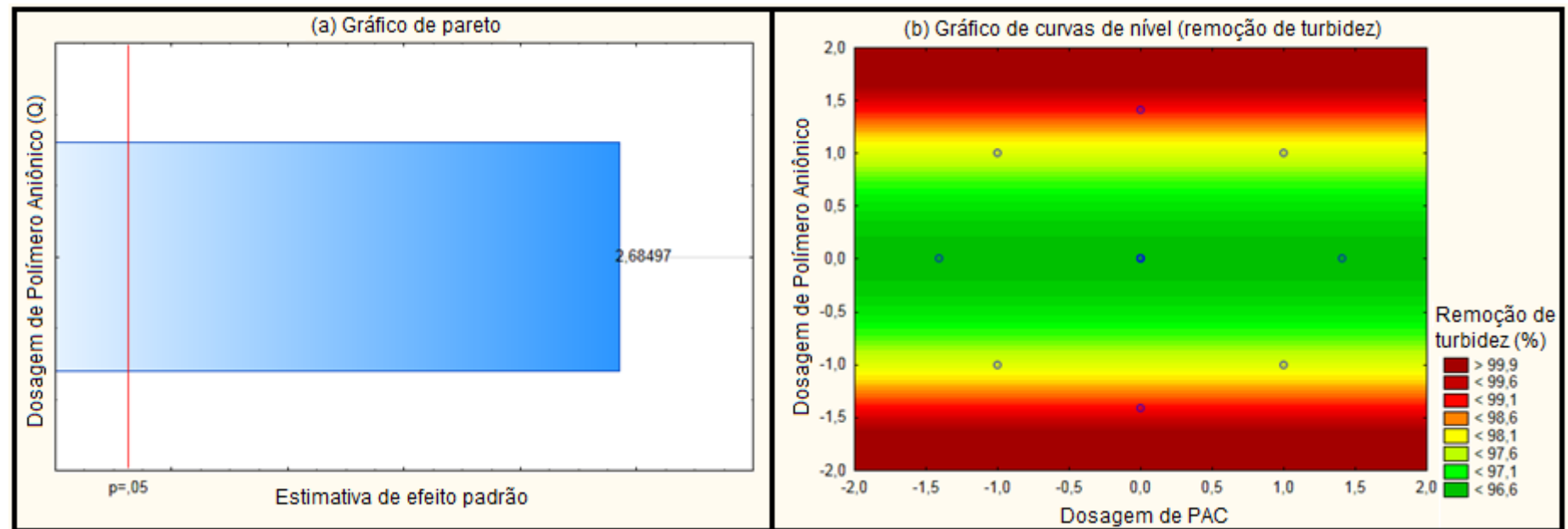
Fonte: Autoria Própria (2019).

A Tabela 36 indica que a variação do tempo de sedimentação entre 10 e 30 minutos teve como efeito uma redução no pH pós tratamento de 6,39 para 6,28, ou seja, o tempo não é um fator relevante para a variação de pH. A faixa de valores de pH para os tempos de sedimentação avaliados foram de 5,50 a 6,86.

Para a remoção de turbidez, verifica-se que a média de 32,75 NTU encontrada após 10 minutos de sedimentação foi reduzida para 10,66 NTU com 30 minutos. Os valores de turbidez residual ficaram entre 1,81 e 61,90 NTU, que correspondem a faixa de remoção percentual entre 95,15 e 99,86%.

A Figura 49 apresenta os gráficos de pareto e de curva de nível relacionados a remoção de turbidez obtida pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero aniônico, com tempo de sedimentação de 10 minutos.

**Figura 49** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 10 minutos.

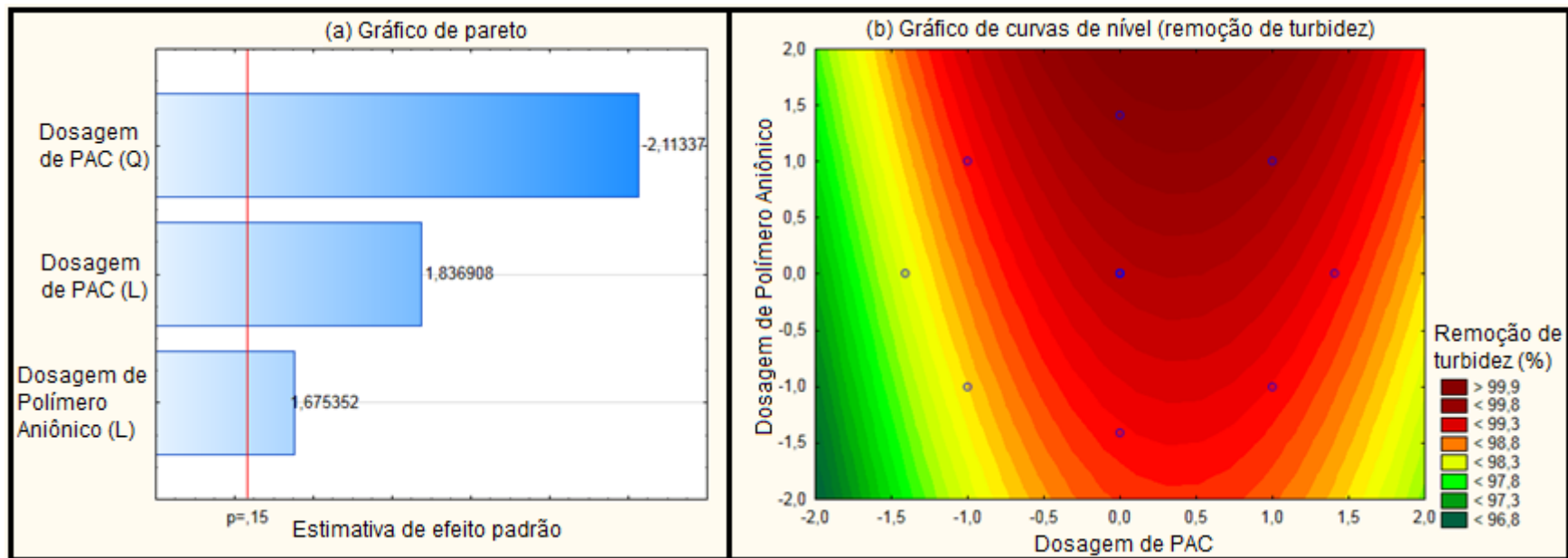


Fonte: Autoria Própria (2019).

O gráfico de pareto (Figura 49a) indica que a variável significativa para remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos foi a dosagem quadrática de polímero aniônico. O gráfico de curvas de nível indica que percentuais de remoção superiores a 99% podem ser encontrados ao utilizar dosagens de polímero inferiores a 0,31 ou superiores a 4,49 mg.L<sup>-1</sup> (códigos - $\sqrt{2}$  e  $\sqrt{2}$  do DCCR).

A Figura 50 apresenta os gráficos de pareto e de curva de nível relacionados a remoção de turbidez obtida pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero aniônico, com tempo de sedimentação de 30 minutos.

**Figura 50** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 50 indica pelo gráfico de pareto que as dosagens de coagulante e de floculante foram variáveis significativas para a remoção de turbidez. Pelo gráfico de curvas de nível, verifica-se remoções de turbidez superiores 99,3% ao aplicar a dosagem de PAC entre 29,12 e 45,95 mg L<sup>-1</sup> (códigos 0,0 e 1,0 do DCCR) com doses de polímero superiores a 2,40 mg L<sup>-1</sup> (código 0,0).

A Tabela 37 apresenta os resultados de cor aparente obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de coagulante (cloreto de polialumínio) e floculante (polímero aniônico).

**Tabela 37** – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC e PAN com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 3074 uH	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	45,95	12,28	12,28	45,95	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	52,93	5,31	29,12
Dosagem de PAN (mg.L <sup>-1</sup> )	0,92	0,92	3,88	3,88	4,49	0,31	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Cor aparente 10 min (uH)	10	61	36	20	30	73	45	34	51	97	108	51,36
Remoção cor aparente 10 min (%)	99,67	98,02	98,83	99,35	99,02	97,63	98,54	98,89	98,34	96,84	96,49	98,33
Cor aparente 30 min (uH)	9	44	33	10	12	29	18	19	18	69	83	31,27
Remoção cor aparente 30 min (%)	99,71	98,57	98,93	99,67	99,61	99,06	99,41	99,38	99,41	97,76	97,30	98,98
pH pós tratamento (10 min)	5,92	6,71	6,70	5,98	6,41	6,39	6,60	6,50	6,51	5,66	6,86	6,39
pH pós tratamento (30 min)	5,84	6,60	6,64	5,92	6,41	6,44	6,33	6,31	6,35	5,50	6,77	6,28

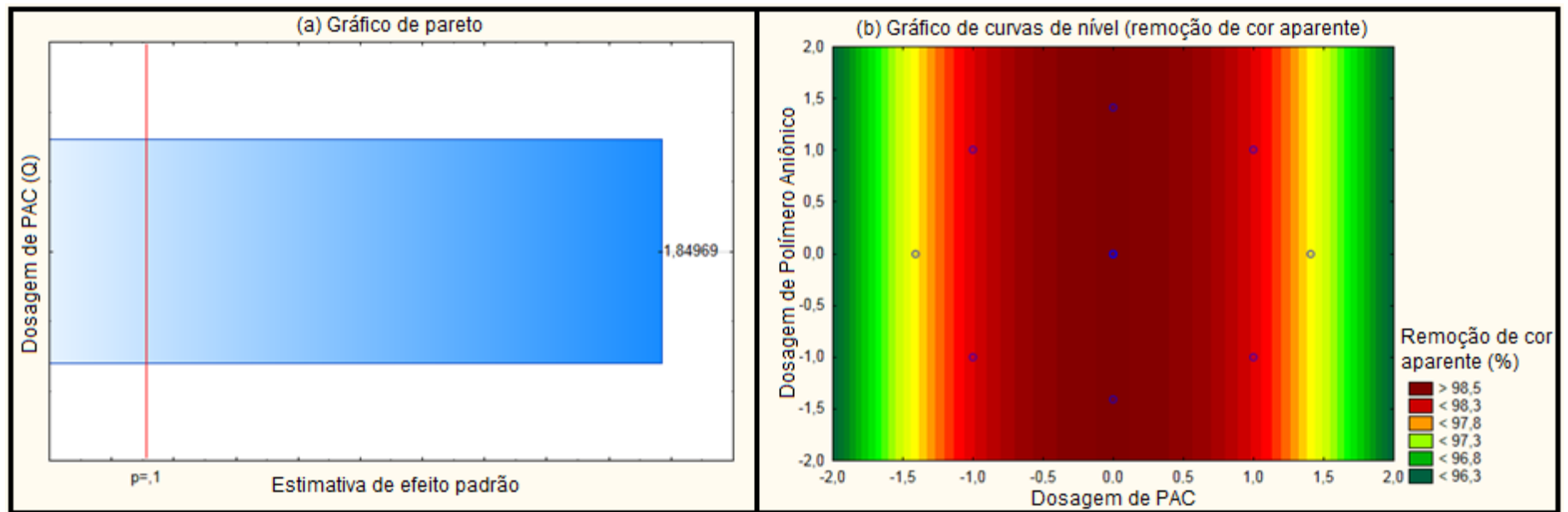
Fonte: Aatoria Própria (2019).

Verifica-se pela Tabela 37 que todos os jarros ensaiados aos 30 minutos de sedimentação obtiveram resultados melhores do que os atingidos com 10 minutos, ou seja, o tempo de sedimentação mostrou-se como um fator relevante para aumentar a eficiência da remoção de cor aparente.

A faixa de cor aparente residual ficou entre 9 e 108 uH, que correspondem a percentuais de remoção de cor aparente na faixa de 96,49 a 99,71%. Outro fator que pode ser observado é a importância da dosagem de coagulante, já que nos pontos axiais mínimo e máximo (5,31 e 52,93 mg Al.L<sup>-1</sup>) foram encontrados os piores resultados de remoção de cor aparente, que foram 97 e 108 uH para o tempo de sedimentação de 10 minutos ou 69 e 83 uH para o tempo de 30 minutos.

A Figura 51 apresenta os gráficos de pareto e de curva de nível relacionados à remoção de cor aparente obtida pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero aniônico, com tempo de sedimentação de 10 minutos.

**Figura 51** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 10 minutos.

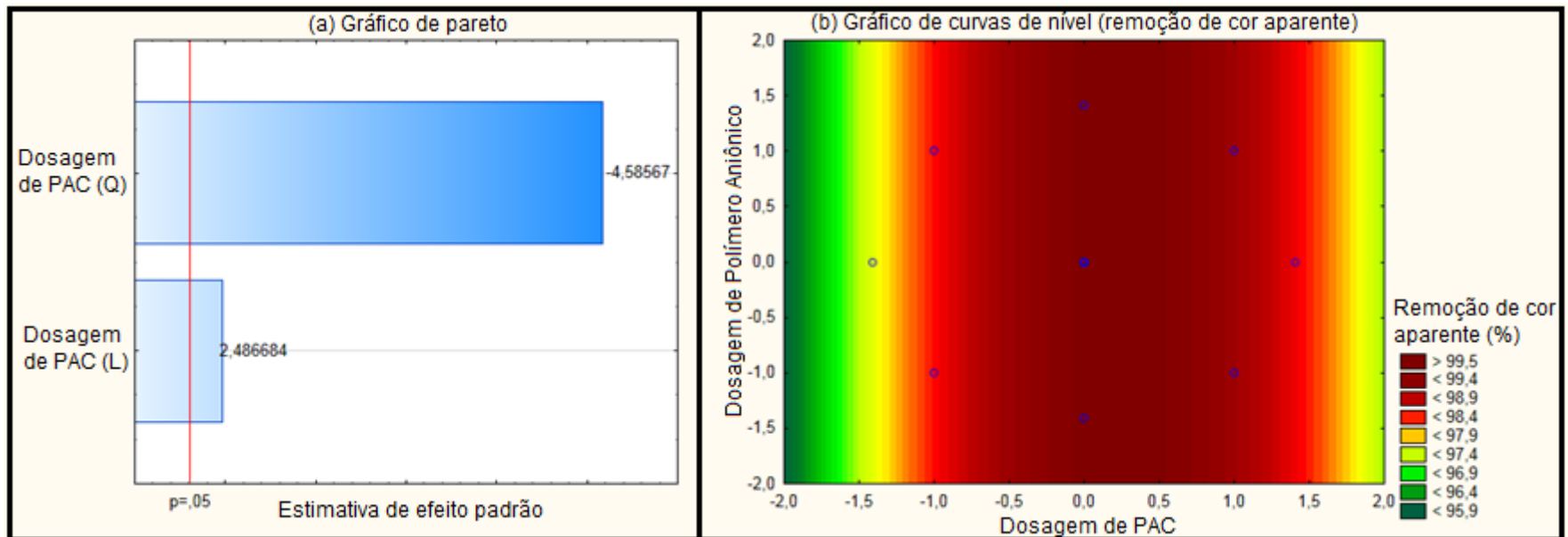


Fonte: Autoria Própria (2019).

O gráfico de pareto da Figura 51 indica que a variável significativa para remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos foi a dosagem de coagulante. Pelo gráfico de curvas de nível, verifica-se que as dosagens de PAC ideais estão na faixa de 20,7 a 37,54 mg L<sup>-1</sup> (que correspondem aos códigos -0,5 e 0,5 do DCCR), com percentuais de remoção de cor aparente superiores a 98,5%.

Os gráficos de pareto e de curva de nível gerados para remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero aniônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 52.

**Figura 52** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

O gráfico de pareto (Figura 52a) indica que para a remoção de cor aparente com o tempo de sedimentação de 30 minutos a variável significativa foi a dosagem de PAC. Pelo gráfico de curvas de nível, verifica-se que percentuais de remoção de cor aparente superiores a 99,5% são encontradas ao utilizar dosagens de coagulante entre 29,12 e 37,54 mg.L<sup>-1</sup>, que correspondem aos códigos 0,0 e 0,5 do DCCR.

Os resultados de DQO obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de coagulante (cloreto de polialumínio) e floculante (polímero aniônico) são apresentados pela Tabela 38.

**Tabela 38** – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC e PAN com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 4099,48 mg.L <sup>-1</sup>	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	45,95	12,28	12,28	45,95	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	52,93	5,31	29,12
Dosagem de PAN (mg.L <sup>-1</sup> )	0,92	0,92	3,88	3,88	4,49	0,31	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
DQO 10 min (mg.L <sup>-1</sup> )	105,10	210,17	125,53	255,27	53,73	429,74	134,34	175,80	137,80	319,18	212,08	196,25
Remoção de DQO 10 min (%)	97,44	94,87	96,94	93,77	98,69	89,52	96,72	95,71	96,64	92,21	94,83	95,21
DQO 30 min (mg.L <sup>-1</sup> )	100,72	134,29	118,23	45,77	49,75	172,35	163,71	79,07	123,98	151,62	144,71	116,75
Remoção de DQO 30 min (%)	97,54	96,72	97,12	98,88	98,79	95,80	96,01	98,07	96,98	96,30	96,47	97,15
pH pós tratamento (10 min)	5,92	6,71	6,70	5,98	6,41	6,39	6,60	6,50	6,51	5,66	6,86	6,39
pH pós tratamento (30 min)	5,84	6,60	6,64	5,92	6,41	6,44	6,33	6,31	6,35	5,50	6,77	6,28

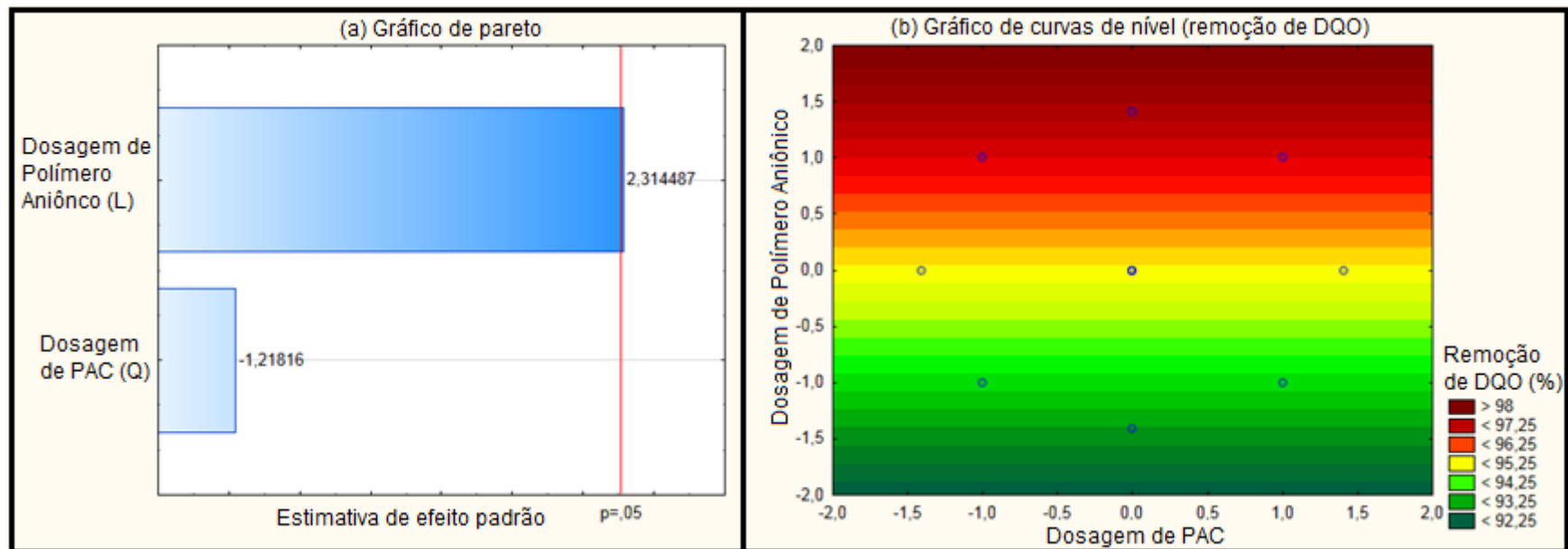
Fonte: Aatoria Própria (2019).

Verifica-se pela Tabela 38 que todos os jarros ensaiados aos 30 minutos de sedimentação obtiveram resultados melhores do que os atingidos com 10 minutos, ou seja, o tempo de sedimentação mostrou-se como um fator relevante para aumentar a eficiência da remoção de DQO.

Para o tempo de sedimentação de 10 minutos, a DQO residual apresentada por estes ensaios ficou entre 53,73 e 429,74 mg.L<sup>-1</sup> (remoção de 89,52 a 98,69% da DQO do efluente bruto), enquanto para o tempo de 30 minutos os resultados ficaram na faixa de 45,77 a 172,35 mg.L<sup>-1</sup> (remoção entre 95,80 e 98,88% da DQO do efluente bruto).

Os gráficos de pareto e de curva de nível gerados para remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero aniônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 53.

**Figura 53** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 10 minutos.



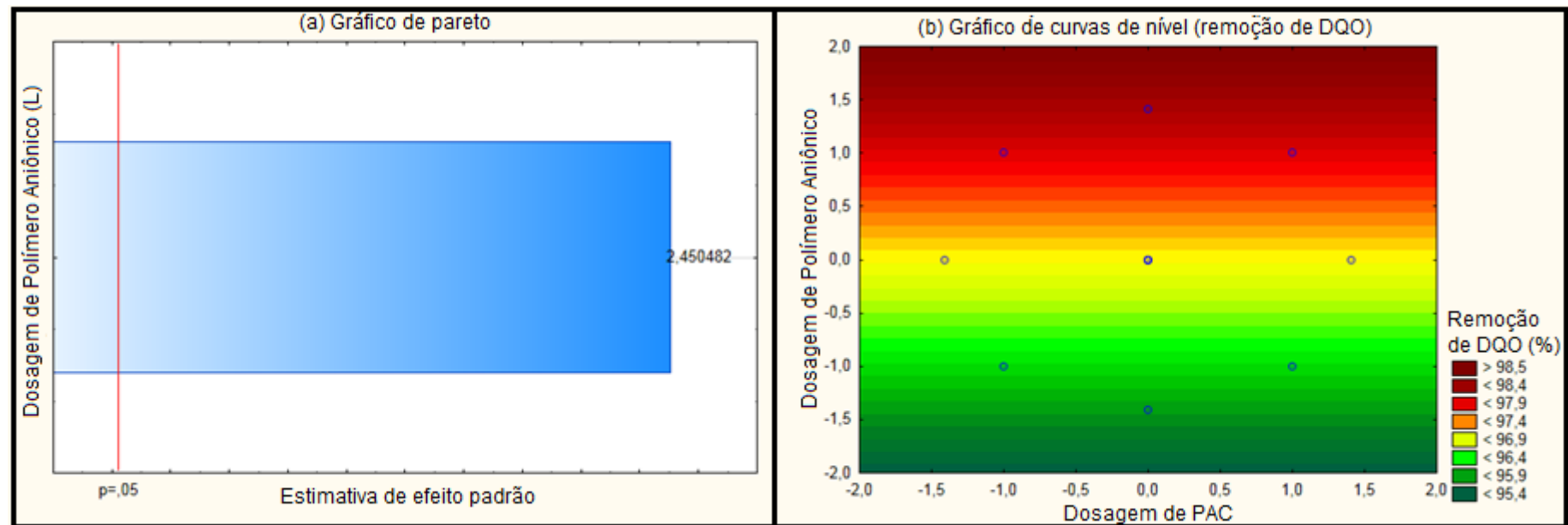
Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de pareto (Figura 53a), verifica-se que para a remoção de DQO com o tempo de sedimentação de 10 minutos a variável significativa foi a dosagem de polímero aniônico. Segundo o gráfico de curvas de nível (Figura 53b), percentuais de remoção de DQO superiores a 97% podem ser atingidos ao utilizar dosagens de polímero aniônico superiores a  $3,88 \text{ mg.L}^{-1}$ , que correspondem ao código 1,0 do DCCR.



Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero aniônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 54.

**Figura 54** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PAN com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelos gráficos de pareto da Figura 54, observa-se que a dosagem de polímero aniônico foi a variável significativa para a remoção de DQO do efluente nestes ensaios. Para a obtenção dos melhores resultados (com percentuais de remoção de DQO superiores a 98%), o gráfico de curvas de nível indica que são necessárias dosagens de polímero floculante superiores a 3,88 mg.L<sup>-1</sup> (código 1,0 do DCCR).

Entre as Figuras 55 e 60 são apresentados os resultados atingidos pelo tratamento utilizando cloreto de polialumínio e polímero catiônico, com a complementação das informações dispostas nas Tabelas 39, 40 e 41. Os resultados de turbidez obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de PAC e PCA são apresentados pela Tabela 39.

**Tabela 39** – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC e PCA com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 1142,27 NTU	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	45,95	12,28	12,28	45,95	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	52,93	5,31	29,12
Dosagem PCA (mg.L <sup>-1</sup> )	0,92	0,92	3,88	3,88	4,49	0,31	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Turbidez 10 min (NTU)	36,70	6,96	11,80	1,30	12,10	53,60	1,33	3,40	15,40	51,80	5,64	18,18
Remoção turbidez 10 min (%)	96,79	99,39	98,97	99,89	98,94	95,31	99,88	99,70	98,65	95,47	99,51	98,41
Turbidez 30 min (NTU)	3,30	2,63	11,40	1,34	2,24	21,40	0,35	0,72	1,46	27,80	4,14	6,98
Remoção turbidez 30 min (%)	99,71	99,77	99,00	99,88	99,80	98,13	99,97	99,94	99,87	97,57	99,64	99,39
pH pós tratamento (10 min)	5,90	6,79	5,92	6,88	6,45	6,46	6,46	6,45	6,44	5,51	6,96	6,38
pH pós tratamento (30 min)	5,79	6,71	5,88	6,77	6,30	6,38	6,32	6,31	6,30	5,46	6,88	6,28

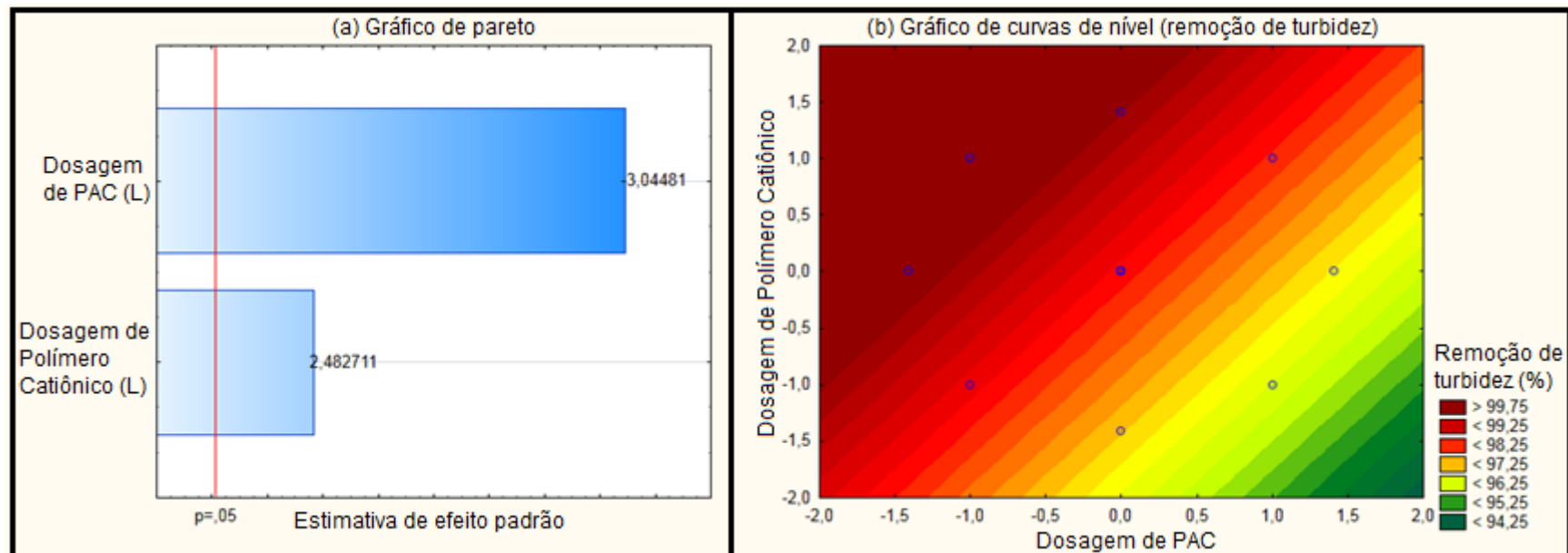
Fonte: Autoria Própria (2019).

Verifica-se pela Tabela 39 que o para o pH pós tratamento, o tempo de sedimentação não é um fator significativo (redução de 6,38 para 6,28 ao passar de 10 para 30 minutos de sedimentação). A faixa de valores de pH para os tempos de sedimentação estudados ficou entre 5,46 e 6,96.

Também pode-se observar a importância de utilizar o tempo de sedimentação de 30 minutos perante o de 10 minutos, já que desta maneira tem-se a melhoria da turbidez residual média de 18,18 para 6,98 NTU, ou seja, uma redução média de aproximadamente 61,61%. A faixa de eficiência de remoção de turbidez ficou entre 95,31 e 99,97%, sendo que o menor valor obtido de turbidez residual foi de 0,35 NTU.

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero catiônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 55.

**Figura 55** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 10 minutos.

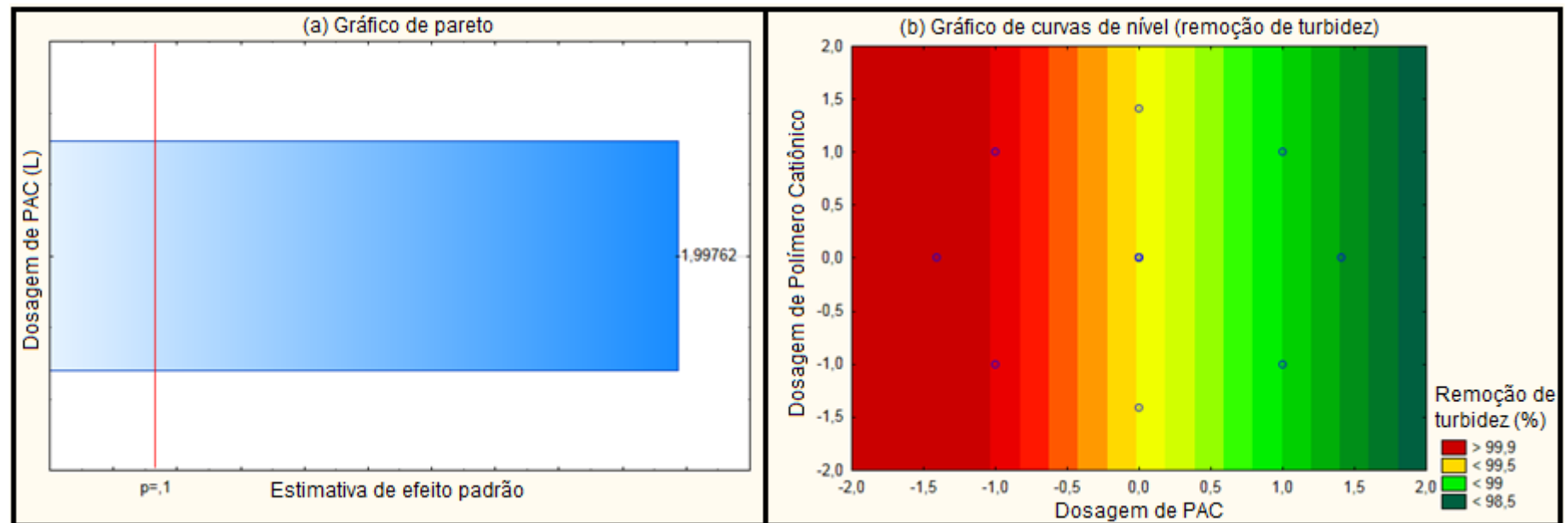


Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de pareto da Figura 55, observa-se que para o parâmetro turbidez com 10 minutos de sedimentação teve como variáveis significativas as dosagens de coagulante e de floculante. Para remoções de turbidez superiores a 99,75%, o gráfico de curvas de nível indica que com 10 minutos a faixa ideal de trabalho foi a dosagem de PAC inferior a  $12,28 \text{ mg.L}^{-1}$  (código -1,0 do DCCR) combinada com dosagem de floculante superior a  $3,88 \text{ mg.L}^{-1}$  (código 1,0).

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero catiônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 56.

**Figura 56** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Para o tempo de sedimentação de 30 minutos, verifica-se que para a remoção de turbidez, apenas a dosagem de coagulante foi a variável significativa (gráfico de pareto, Figura 56a). Pelo gráfico de curvas de nível, dosagens de PAC inferiores a  $12,28 \text{ mg.L}^{-1}$  (código -1,0 do DCCR) são indicadas para atingir remoções de turbidez superiores a 99,9%.

Os resultados de cor aparente obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de cloreto de polialumínio e polímero catiônico são apresentados pela Tabela 40.

**Tabela 40** – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC e PCA com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 2993 uH	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	45,95	12,28	12,28	45,95	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	52,93	5,31	29,12
Dosagem de PCA (mg.L <sup>-1</sup> )	0,92	0,92	3,88	3,88	4,49	0,31	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Cor aparente 10 min (uH)	33	35	27	18	18	76	8	10	20	90	46	34,64
Remoção cor aparente 10 min (%)	98,90	98,83	99,10	99,40	99,40	97,46	99,73	99,67	99,33	96,99	98,46	98,84
Cor aparente 30 min (uH)	13	30	14	13	10	17	6	7	9	49	41	19,00
Remoção cor aparente 30 min (%)	99,57	99,00	99,53	99,57	99,67	99,43	99,80	99,77	99,70	98,36	98,63	99,37
pH pós tratamento (10 min)	5,90	6,79	5,92	6,88	6,45	6,46	6,46	6,45	6,44	5,51	6,96	6,38
pH pós tratamento (30 min)	5,79	6,71	5,88	6,77	6,30	6,38	6,32	6,31	6,30	5,46	6,88	6,28

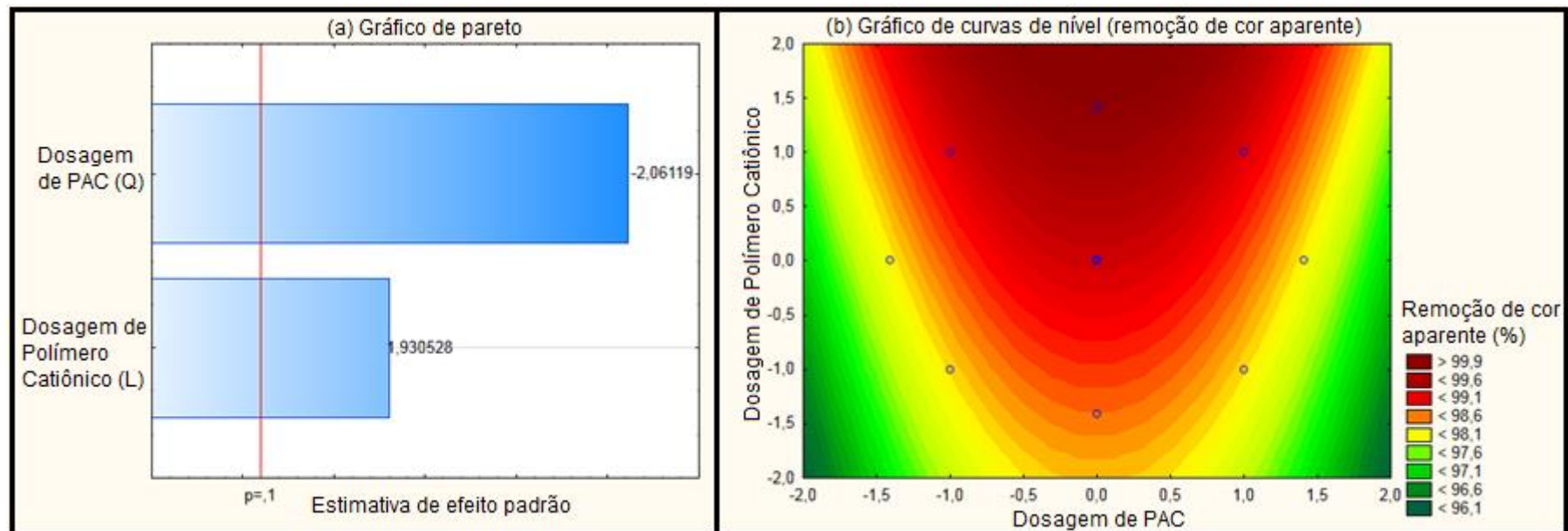
Fonte: Aatoria Própria (2019).

Pela Tabela 40, tem-se que para o tempo de sedimentação de 10 minutos a cor aparente residual média foi de 34,64 uH, enquanto para o tempo de sedimentação de 30 minutos a média foi de 19,00 uH, ou seja, houve uma redução de cor aparente de aproximadamente 45,15% com o aumento do tempo. Sendo assim, observou-se que o tempo de sedimentação de 30 minutos foi o mais indicado para a remoção de cor aparente.

A faixa de cor aparente residual obtida por estes ensaios ficou entre 6 e 90 uH, que correspondem a percentuais de remoção entre 96,99 e 99,80%. Para o tempo de sedimentação de 30 minutos, verifica-se que percentuais de remoção de cor aparente superiores a 99% não foram atingidos apenas nos ensaios com a dosagem de coagulante mínima (5,31 mg Al.L<sup>-1</sup>, código -√2) ou máxima (52,93, código √2).

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero catiônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 57.

**Figura 57** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 10 minutos.

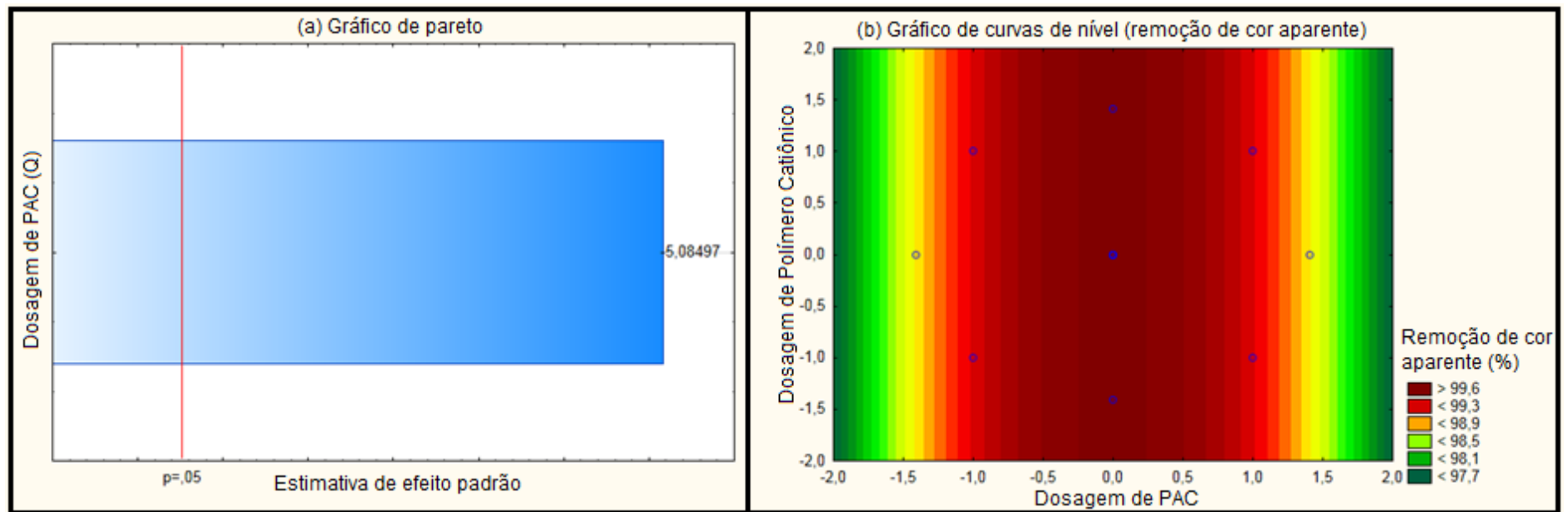


Fonte: Autoria Própria (2019).

As variáveis significantes obtidas para a remoção de cor aparente com o tempo de sedimentação de 10 minutos foram a dosagem quadrática de coagulante, e linear de floculante (gráfico de pareto, Figura 57). Percentuais de remoção de cor aparente superiores a 99,6% ao usar entre 20,7 e 37,54 mg.L<sup>-1</sup> (códigos -0,5 e 0,5 do DCCR) de PAC combinada a uma dosagem de polímero catiônico superior a 3,88 mg.L<sup>-1</sup> (código 1,0).

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero catiônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 58.

**Figura 58** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 58 indica pelo gráfico de pareto que para o tempo de sedimentação de 30 minutos, para a remoção de cor aparente apenas a dosagem de PAC foi relevante. O gráfico de curvas de nível mostra que dosagens de coagulante entre 20,7 e 37,54 (códigos -0,5 a 0,5 do DCCR) geram percentuais de remoção de cor aparente superiores a 99,6%.

Os resultados de DQO obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de cloreto de polialumínio e polímero catiônico são apresentados pela Tabela 41.

**Tabela 41** – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC e PCA com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 3665,11 mg.L <sup>-1</sup>	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	45,95	12,28	12,28	45,95	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	52,93	5,31	29,12
Dosagem de PCA (mg.L <sup>-1</sup> )	0,92	0,92	3,88	3,88	4,49	0,31	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
DQO 10 min (mg.L <sup>-1</sup> )	179,52	157,63	145,96	76,29	110,94	188,28	56,38	170,77	141,58	274,38	128,45	148,20
Remoção de DQO 10 min (%)	95,10	95,70	96,02	97,92	96,97	94,86	98,46	95,34	96,14	92,51	96,50	95,96
DQO 30 min (mg.L <sup>-1</sup> )	166,39	91,96	112,39	48,42	52,40	138,66	35,15	44,44	53,73	138,66	134,29	92,41
Remoção de DQO 30 min (%)	95,46	97,49	96,93	98,68	98,57	96,22	99,04	98,79	98,53	96,22	96,34	97,48
pH pós tratamento (10 min)	5,90	6,79	5,92	6,88	6,45	6,46	6,46	6,45	6,44	5,51	6,96	6,38
pH pós tratamento (30 min)	5,79	6,71	5,88	6,77	6,30	6,38	6,32	6,31	6,30	5,46	6,88	6,28

Fonte: Aatoria Própria (2019).

A Tabela 41 indica que o tempo de sedimentação de 30 minutos mostrou-se mais adequado para a remoção de DQO por estes ensaios, já que todos os jarros obtiveram a DQO residual reduzida ao aumentar o tempo de sedimentação de 10 para 30 minutos.

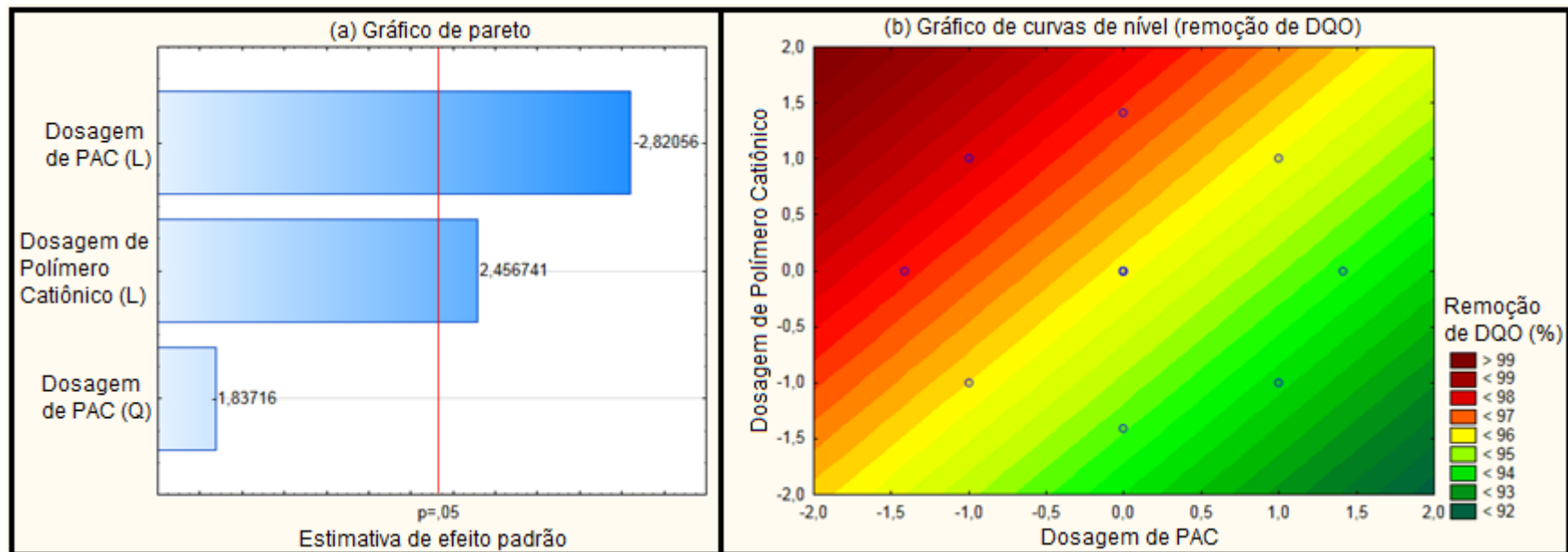
A DQO residual média para o tempo de sedimentação de 10 minutos foi de 148,20 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto para o tempo de 30 minutos foi 92,41 mg.L<sup>-1</sup>.

Os valores de DQO residual ficaram na faixa entre 35,15 e 274,38 mg.L<sup>-1</sup>, que correspondem a percentuais de remoção de DQO na faixa entre 92,51 e 99,04%.



Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero catiônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 59.

**Figura 59** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 10 minutos.

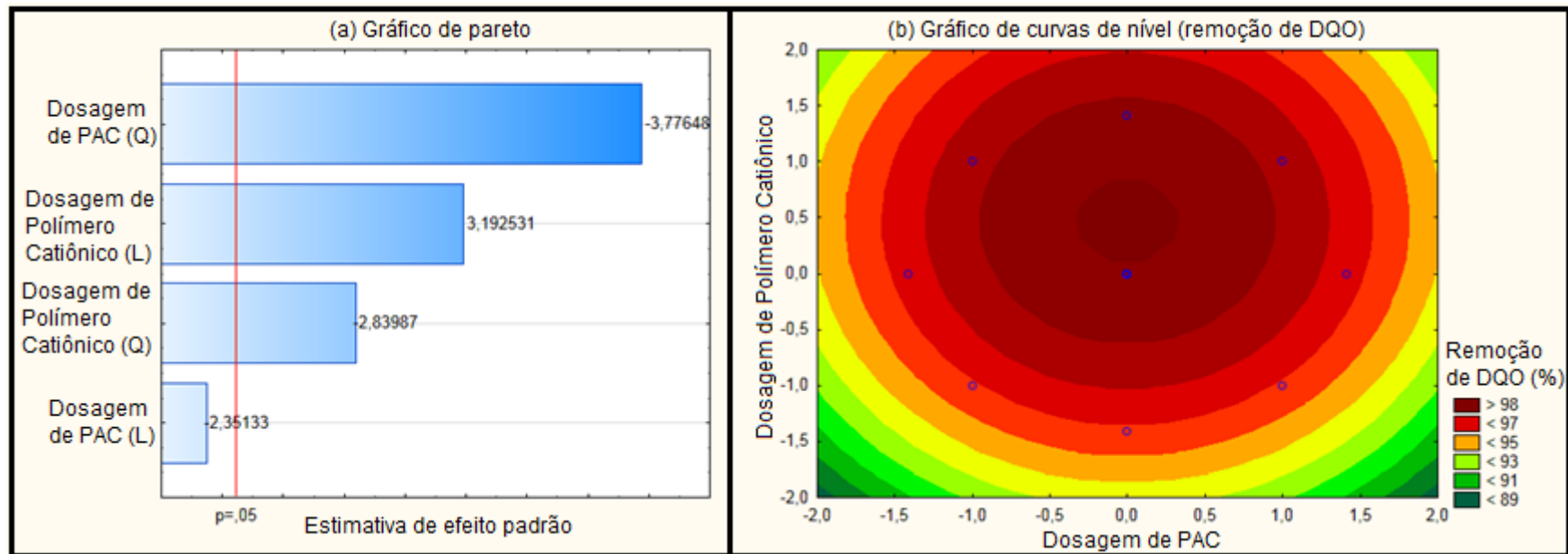


Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de pareto da Figura 59, verifica-se que para a remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos as variáveis significativas foram as dosagens lineares de coagulante e de floculante. O gráfico de curvas de nível indica que dosagens de PAC inferiores a  $12,28 \text{ mg Al.L}^{-1}$  (código -1,0 do DCCR) combinadas a dosagens de polímero catiônico superiores a  $3,88 \text{ mg.L}^{-1}$  (código 1,0) resultam em remoções de DQO superiores a 98%.

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero catiônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 60.

**Figura 60** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PCA com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de Pareto (Figura 60a), observa-se que as dosagens de coagulante e de floculante foram as variáveis significativas para a remoção de DQO do efluente com tempo de sedimentação de 30 minutos. O gráfico de curvas de nível (Figura 60b) indica que dosagens de polímero catiônico entre 2,40 e 3,88  $\text{mg.L}^{-1}$  (código 0,0 e 1,0 do DCCR) combinadas a dosagens de PAC próximas ao ponto central 0,0 ( $29,12 \pm 10 \text{ mg Al.L}^{-1}$ ) atingem percentuais de remoção de DQO superiores a 98%.

Os gráficos referentes aos ensaios de tratamento gerados pelo software para os ensaios que tratam o efluente com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico são demonstradas nas Figuras 61 a 66, com resultados dispostos nas Tabelas 42, 43 e 44. Os resultados de para remoção de turbidez obtida ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de cloreto de polialumínio e polímero não-iônico são apresentados pela Tabela 42.

**Tabela 42** – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC e PNI com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 1117,27 NTU	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	45,95	12,28	12,28	45,95	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	52,93	5,31	29,12
Dosagem de PNI (mg.L <sup>-1</sup> )	0,92	0,92	3,88	3,88	4,49	0,31	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Turbidez 10 min (NTU)	17,10	21,90	36,10	22,30	5,08	47,90	3,03	4,92	5,97	37,40	24,90	20,60
Remoção turbidez 10 min (%)	98,47	98,04	96,77	98,00	99,55	95,71	99,73	99,56	99,47	96,65	97,77	98,16
Turbidez 30 min (NTU)	14,60	23,50	12,10	14,70	4,72	19,10	0,94	1,43	1,29	16,20	13,40	11,09
Remoção turbidez 30 min (%)	98,69	97,90	98,92	98,68	99,58	98,29	99,92	99,87	99,88	98,55	98,80	99,01
pH pós tratamento (10 min)	5,98	6,86	5,97	6,90	6,48	6,40	6,46	6,55	6,43	5,44	7,08	6,41
pH pós tratamento (30 min)	5,92	6,80	5,91	6,81	6,46	6,36	6,29	6,48	6,44	5,57	6,92	6,36

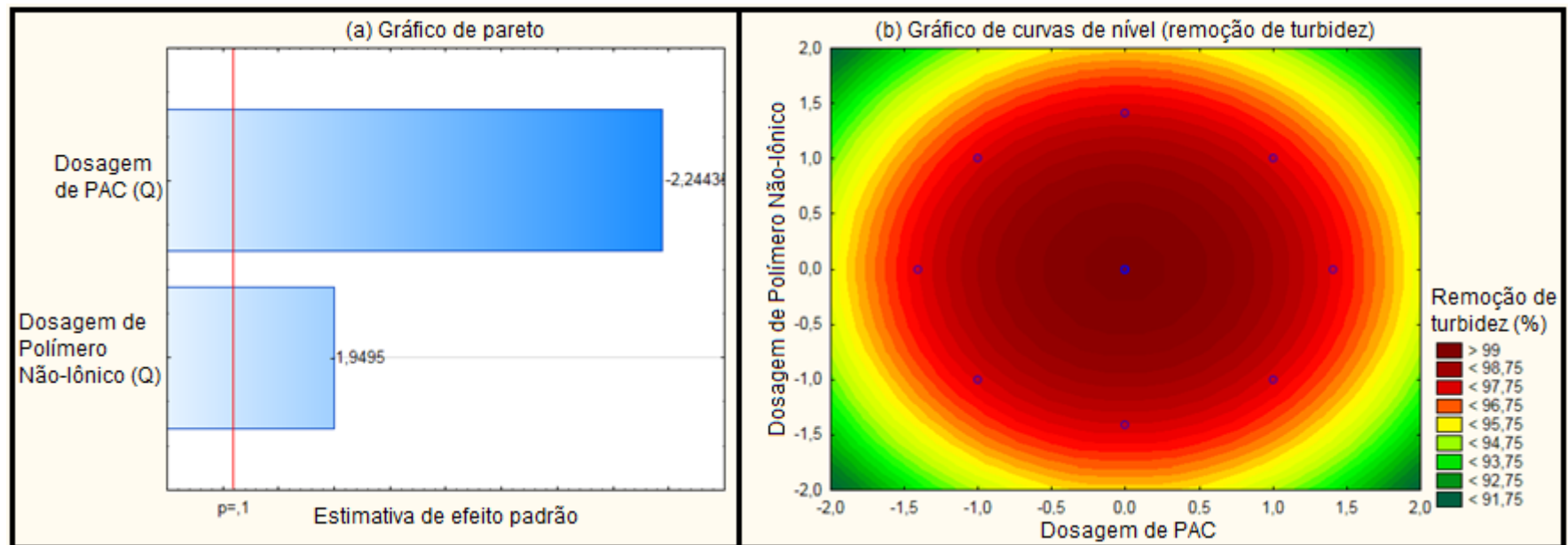
Fonte: Autoria Própria (2019).

A Tabela 42 nos indica que o tempo de sedimentação não foi um fator relevante para a alteração do pH do efluente, já que a alteração de 10 para 30 minutos gerou uma queda do pH médio de apenas 6,41 para 6,36. A faixa de pH obtida pelo efluente após o tratamento nos tempos de sedimentação trabalhados foi de 5,44 a 7,08.

Para o parâmetro de turbidez, tivemos uma considerável melhoria dos resultados obtidos após 30 minutos de sedimentação, em face aos de 10 minutos (redução da turbidez média de 20,60 para 11,09 NTU). Os valores remanescentes encontrados ficaram entre 0,94 e 47,90 NTU, que correspondem a remoções entre 95,71 e 99,92%.

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 61.

**Figura 61** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 10 minutos.

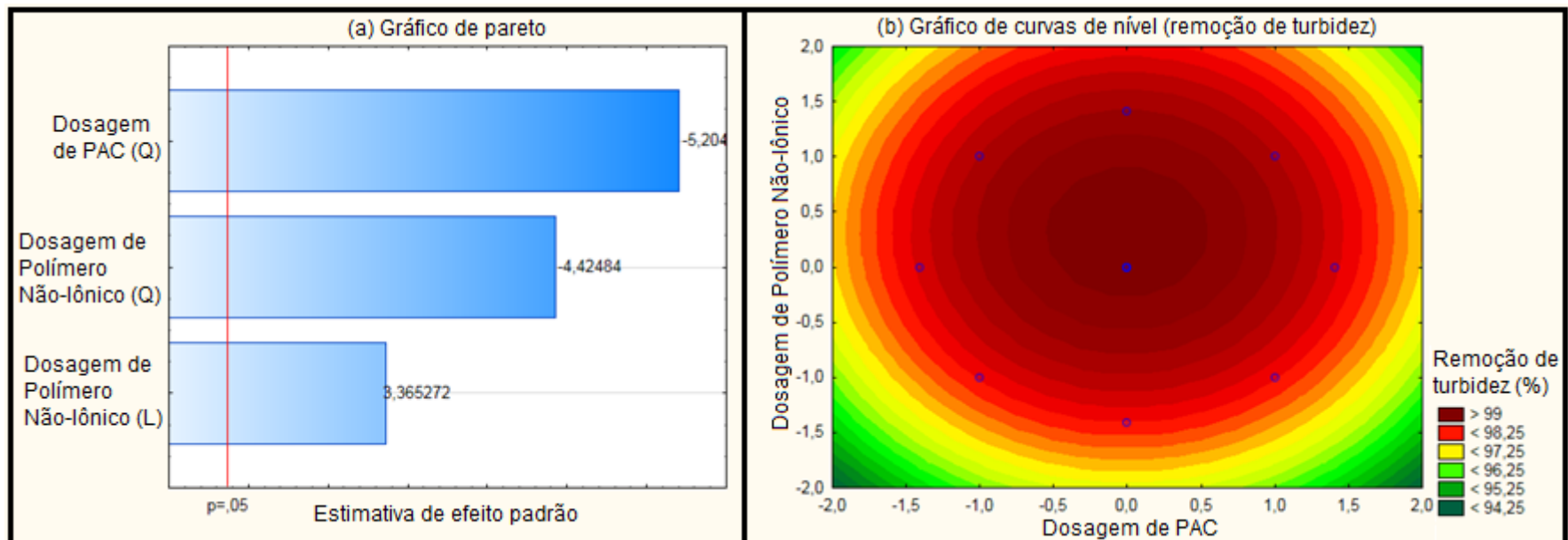


Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de pareto (Figura 61a) verifica-se que as variáveis significativas para a remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos são as dosagens de coagulante e de floculante. O gráfico de curvas de nível indica que remoções de turbidez superiores a 99% são atingidas ao utilizar dosagens próximas ao ponto central (código 0,0 do DCCR) que correspondem a 29,12 mg Al.L<sup>-1</sup> (PAC) e 2,40 mg.L<sup>-1</sup> (polímero não-iônico).

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 62.

**Figura 62** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela Figura 62, observa-se no gráfico de pareto que as variáveis significativas para remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 30 minutos foram as dosagens de coagulante e de floculante. O gráfico de curvas de nível apresenta que percentuais de remoção de turbidez superiores a 99% podem ser atingidos ao utilizar dosagem de PAC entre 20,70 e 37,54 mg.Al.L<sup>-1</sup> (códigos -0,5 e 0,5 do DCCR) combinadas a dosagens de PNI entre 2,40 e 3,88 mg.L<sup>-1</sup> (códigos 0,0 e 1,0).

Os resultados de para remoção de cor aparente, obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de cloreto de polialumínio e polímero não-iônico são apresentados pela Tabela 43

**Tabela 43** – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC e PNI com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 2806 uH	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	45,95	12,28	12,28	45,95	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	52,93	5,31	29,12
Dosagem de PNI (mg.L <sup>-1</sup> )	0,92	0,92	3,88	3,88	4,49	0,31	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
Cor aparente 10 min (uH)	27	52	33	43	13	80	12	14	12	71	95	41,09
Remoção cor aparente 10 min (%)	99,04	98,15	98,82	98,47	99,54	97,15	99,57	99,50	99,57	97,47	96,61	98,54
Cor aparente 30 min (uH)	12	34	8	37	10	25	9	9	10	44	82	25,45
Remoção cor aparente 30 min (%)	99,57	98,79	99,71	98,68	99,64	99,11	99,68	99,68	99,64	98,43	97,08	99,09
pH pós tratamento (10 min)	5,98	6,86	5,97	6,90	6,48	6,40	6,46	6,55	6,43	5,44	7,08	6,41
pH pós tratamento (30 min)	5,92	6,80	5,91	6,81	6,46	6,36	6,29	6,48	6,44	5,57	6,92	6,36

Fonte: Aatoria Própria (2019).

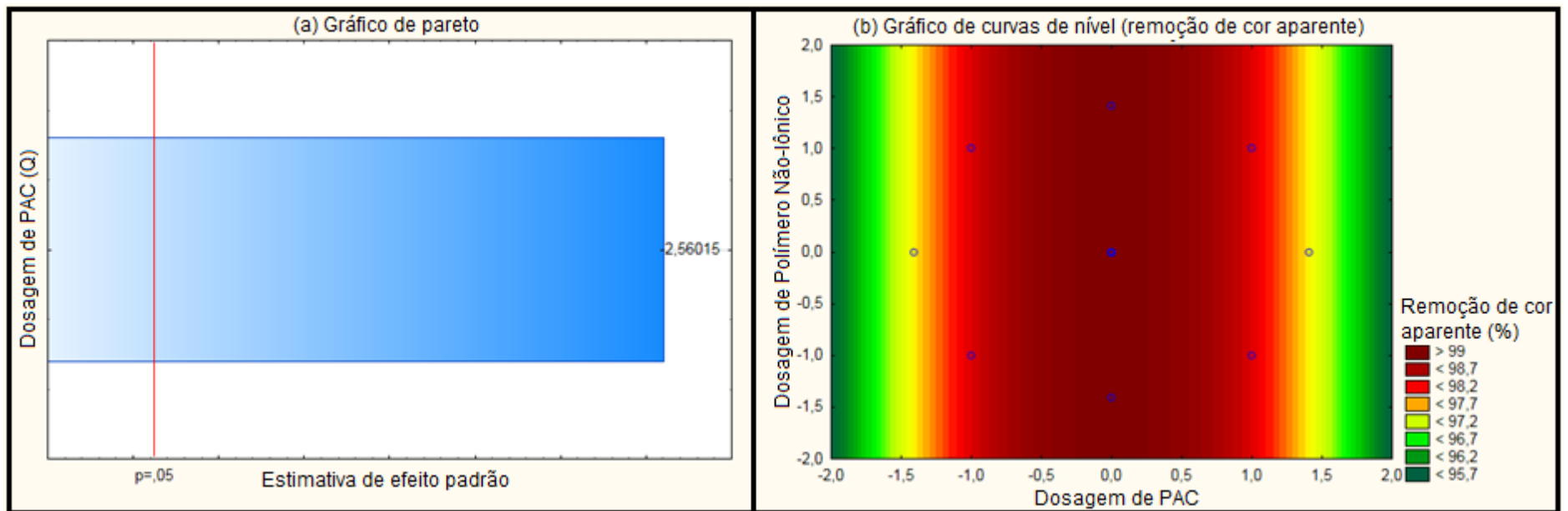
Para a remoção de cor aparente, verifica-se pela Tabela 43 que todos os jarros ensaiados obtiveram melhores resultados aos 30 minutos de sedimentação se comparados ao tempo de sedimentação de 10 minutos. A cor aparente residual para o tempo de sedimentação de 10 minutos ficou entre 12 e 95 uH, enquanto para o tempo de 30 minutos a faixa ficou entre 8 e 82 uH.

Ao utilizar o coagulante nos pontos axiais  $-\sqrt{2}$  e  $\sqrt{2}$ , que correspondem as dosagens mínima e máxima (5,31 e 52,93 mg Al.L<sup>-1</sup>), foram encontrados os piores resultados de cor aparente residual destes ensaios (71 e 95 uH para o tempo de sedimentação de 10 minutos, enquanto para 30 minutos foram 44 e 82 uH).

A remoção de cor aparente do efluente bruto ficou na faixa entre 96,61 e 99,57% para o tempo de sedimentação de 10 minutos e entre 97,08 e 99,71% para o tempo de sedimentação de 30 minutos.

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 63.

**Figura 63** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 10 minutos.

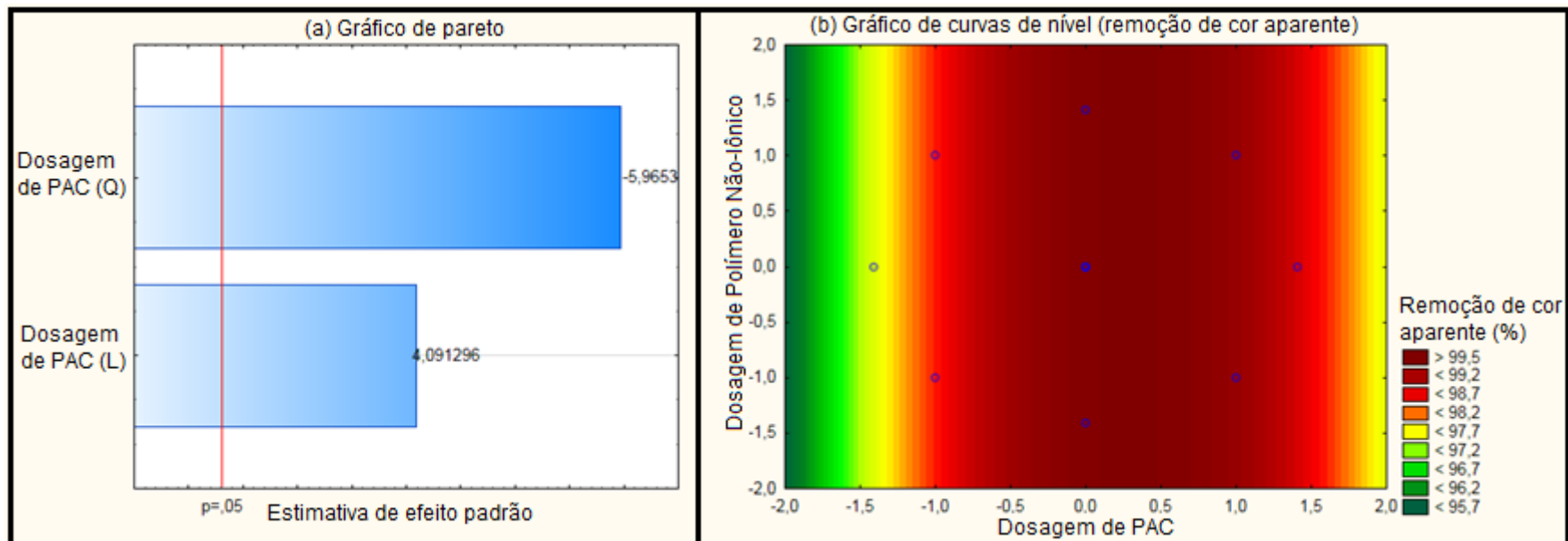


Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela Figura 63, a variável significativa para remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos foi a dosagem de coagulante (vide gráfico de pareto). Os melhores resultados para cor aparente (remoções superiores a 99%) foram obtidos ao utilizar dosagens de PAC entre 20,70 e 37,54 mg.L<sup>-1</sup> (códigos -0,5 a 0,5 do DCCR), como pode ser observado pelo gráfico de curvas de nível (Figura 63b).

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 64.

**Figura 64** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelo gráfico de pareto (Figura 64a), verifica-se que a dosagem de coagulante foi a variável significativa para remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 30 minutos. Dosagens entre 20,70 e 45,95  $\text{mg.L}^{-1}$  (códigos -0,5 e 1,0 do DCCR) indicam remoções de cor aparente superiores a 99,5% (vide gráfico de curvas de nível, Figura 64b).



Os resultados de para remoção de DQO obtidos ao utilizar como variáveis independentes as dosagens de cloreto de polialumínio e polímero não-iônico são apresentados pela Tabela 44.

**Tabela 44** – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC e PNI com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 3472,37 mg.L <sup>-1</sup>	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	45,95	12,28	12,28	45,95	29,12	29,12	29,12	29,12	29,12	52,93	5,31	29,12
Dosagem de PNI (mg.L <sup>-1</sup> )	0,92	0,92	3,88	3,88	4,49	0,31	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40	2,40
DQO 10 min (mg.L <sup>-1</sup> )	143,04	159,09	199,96	169,31	147,42	309,41	43,12	51,08	45,77	118,80	205,17	144,74
Remoção de DQO 10 min (%)	95,88	95,42	94,24	95,12	95,75	91,09	98,76	98,53	98,68	96,58	94,09	95,83
DQO 30 min (mg.L <sup>-1</sup> )	147,42	134,29	160,55	143,04	137,20	163,47	36,48	35,15	43,12	103,25	94,61	108,96
Remoção de DQO 30 min (%)	95,75	96,13	95,38	95,88	96,05	95,29	98,95	98,99	98,76	97,03	97,28	96,86
pH pós tratamento (10 min)	5,98	6,86	5,97	6,90	6,48	6,40	6,46	6,55	6,43	5,44	7,08	6,41
pH pós tratamento (30 min)	5,92	6,80	5,91	6,81	6,46	6,36	6,29	6,48	6,44	5,57	6,92	6,36

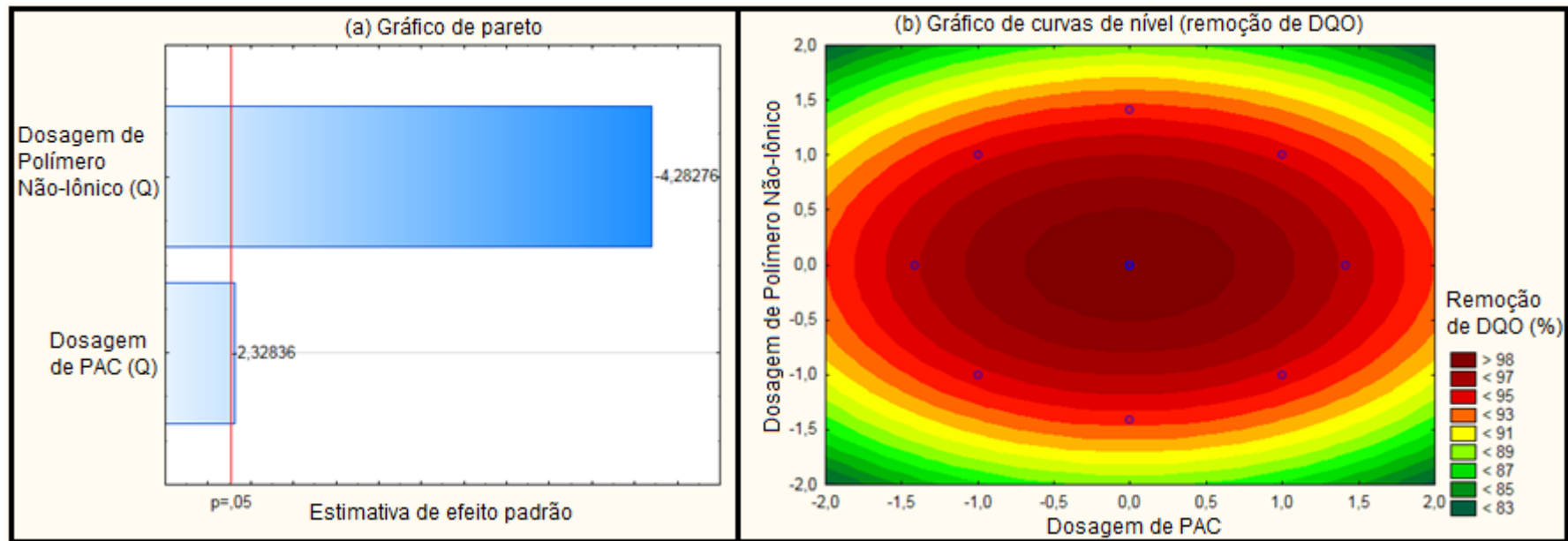
Fonte: Aatoria Própria (2019).

Pela Tabela 44, verifica-se que a DQO residual média dos ensaios com o coagulante PAC e o floculante PNI foi superior ao utilizar o tempo de sedimentação de 30 minutos (108,96 mg.L<sup>-1</sup> perante 144,74 mg.L<sup>-1</sup> com 10 minutos). O percentual de remoção de DQO para estes ensaios ficou entre 91,09 e 98,99%.

Também é notável a superioridade dos ensaios nos pontos centrais definidos pelo DCCR (dosagens de PAC de 29,12 mg Al.L<sup>-1</sup> e de PNI de 2,40 mg.L<sup>-1</sup>), realizados nos jarros J7, J8 e J9, que chegaram a DQO residual na faixa de 35,15 a 51,08 mg.L<sup>-1</sup>. Considerando-se apenas os jarros com dosagens nos pontos axiais (J1, J2, J3, J4, J5, J6, J10 e J11), a DQO residual ficou entre 94,61 e 309,41 mg.L<sup>-1</sup>.

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 65.

**Figura 65** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 10 minutos.

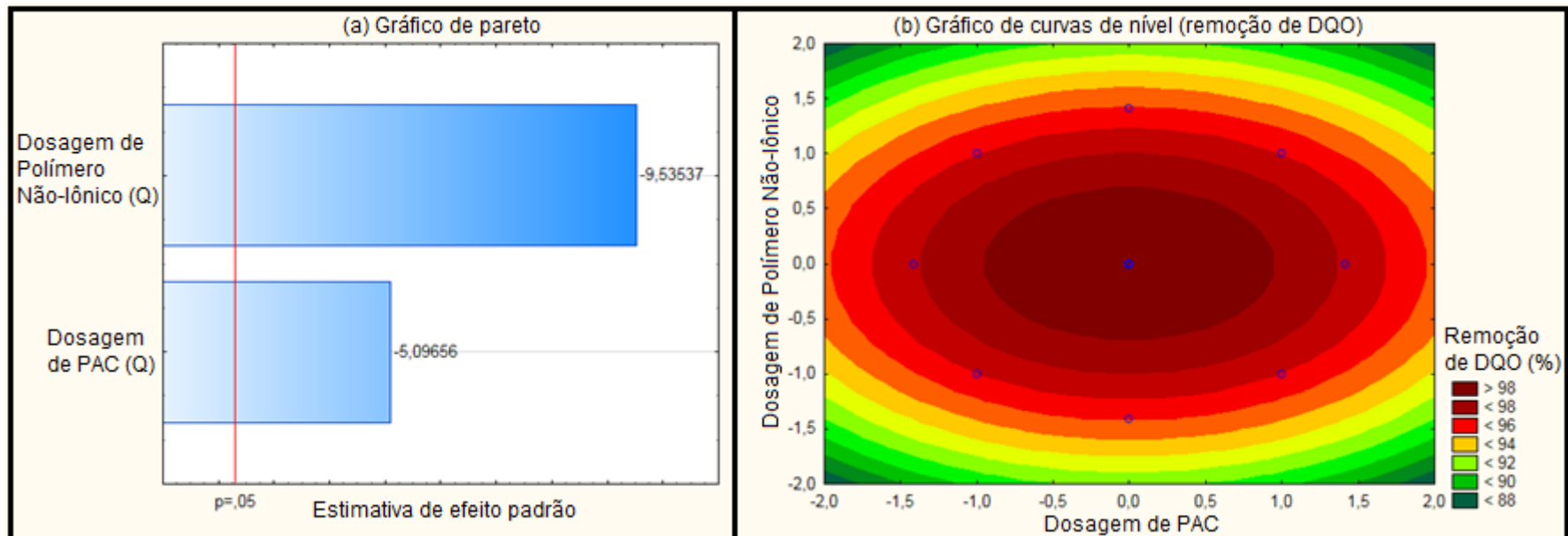


Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela Figura 65, verifica-se que as dosagens de floculante e de coagulante foram as variáveis significativas para a remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos (vide gráfico de pareto). O gráfico de curvas de nível indica que percentuais de remoção superiores a 98% são atingidos ao aplicar a dosagens de PAC entre 20,70 e 37,54 mg Al.L<sup>-1</sup> (códigos -0,5 e 0,5 do DCCR) combinados a dosagem de PNI entre 1,66 e 3,14 mg. L<sup>-1</sup> (códigos -0,5 e 0,5).

Os gráficos de pareto e de curva de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e polímero não-iônico com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 66.

**Figura 66** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO pelo tratamento com PAC e PNI com tempo de sedimentação de 30 minutos.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A Figura 66 mostra o desempenho para remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos. O gráfico de pareto indica que as dosagens de coagulante e floculante foram variáveis significativas para o desempenho do tratamento, enquanto o gráfico de curvas de nível apresenta que dosagens de PAC entre 20,70 e 37,54 mg Al.L<sup>-1</sup> combinados a dosagem de PNI entre 1,66 e 3,14 mg. L<sup>-1</sup> (códigos -0,5 e 0,5 para ambos) atingem remoções de DQO superiores a 98%.

Entre as Figuras 67 a 72 e Tabelas 45 a 47 são apresentados os resultados referentes ao tratamento do efluente utilizando as variáveis pH de coagulação e a dosagem de cloreto férrico. Os resultados de para remoção de turbidez, obtidos ao utilizar como variáveis independentes a dosagem de cloreto férrico e o pH de coagulação entre 7,01 e 9,49 são apresentados pela Tabela 45.

**Tabela 45 – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com cloreto férrico com 10 e 30 minutos de sedimentação.**

Efluente bruto: 1410,45 NTU	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de FeCl <sub>3</sub> (mg Fe.L <sup>-1</sup> )	12,17	36,03	12,17	36,03	24,10	24,10	24,10	24,10	24,10	40,98	7,23	24,10
pH de coagulação	7,37	7,37	9,13	9,13	7,01	9,49	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25
Turbidez 10 min (NTU)	83,10	52,30	58,10	57,90	39,10	57,60	39,70	34,80	42,50	49,20	106,00	56,39
Remoção turbidez 10 min (%)	94,11	96,29	95,88	95,89	97,23	95,92	97,19	97,53	96,99	96,51	92,48	96,00
Turbidez 30 min (NTU)	47,90	19,00	30,40	21,60	22,00	29,60	25,10	24,00	28,40	26,70	72,20	31,54
Remoção turbidez 30 min (%)	96,60	98,65	97,84	98,47	98,44	97,90	98,22	98,30	97,99	98,11	94,88	97,76
pH pós tratamento (10 min)	7,06	6,73	7,62	6,85	6,73	7,76	6,84	6,77	6,83	6,45	7,17	6,98
pH pós tratamento (30 min)	7,02	6,46	7,53	6,83	6,43	7,35	6,66	6,65	6,73	6,33	7,16	6,83

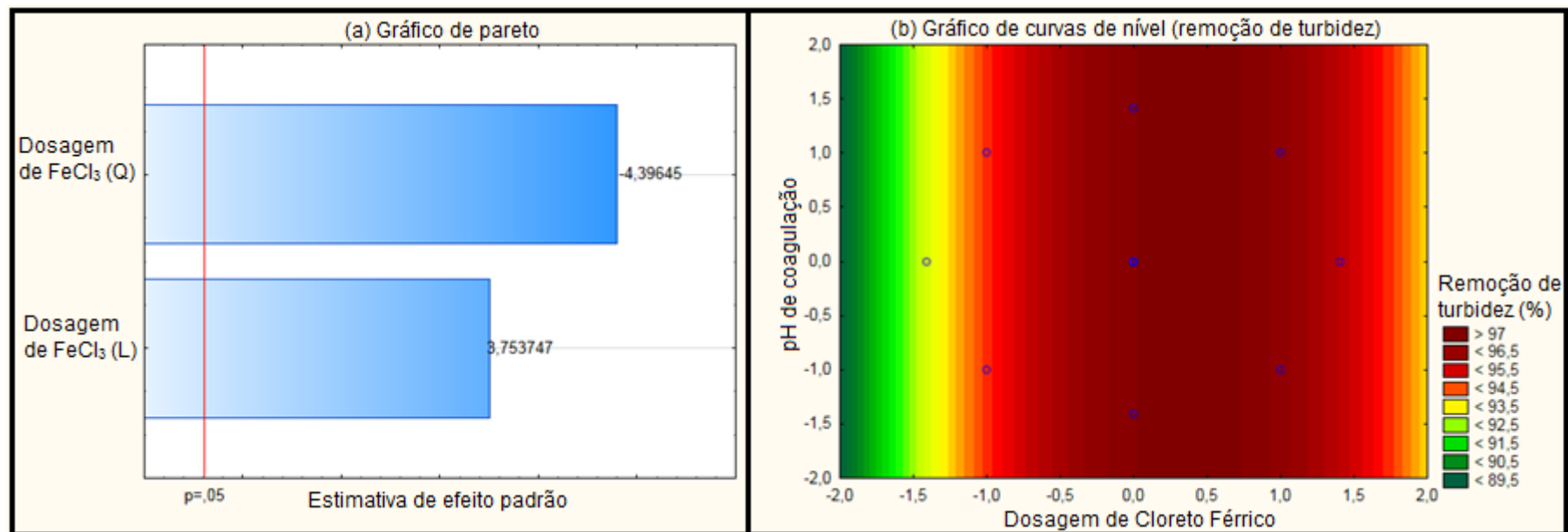
Fonte: Autoria Própria (2019).

Pela Tabela 45, verifica-se que a diferença no tempo de sedimentação não apresentou significância, já que em média teve redução de 6,98 para 6,83, ou seja, o efluente permaneceu próximo ao pH neutro. A faixa de valores de pH para os tempos de sedimentação analisados ficou entre 6,33 e 7,76.

Para remoção de turbidez, o tempo de sedimentação mostrou-se um parâmetro importante, vide a redução dos 56,39 NTU de turbidez média encontrada aos 10 minutos para 31,54 NTU com 30 minutos. O percentual de remoção de turbidez ficou entre a faixa de 92,48 e 98,65%, enquanto a turbidez mínima residual alcançada foi de 19 NTU.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto férrico e variando o pH de coagulação entre 7,01 a 9,49 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 67.

**Figura 67** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.

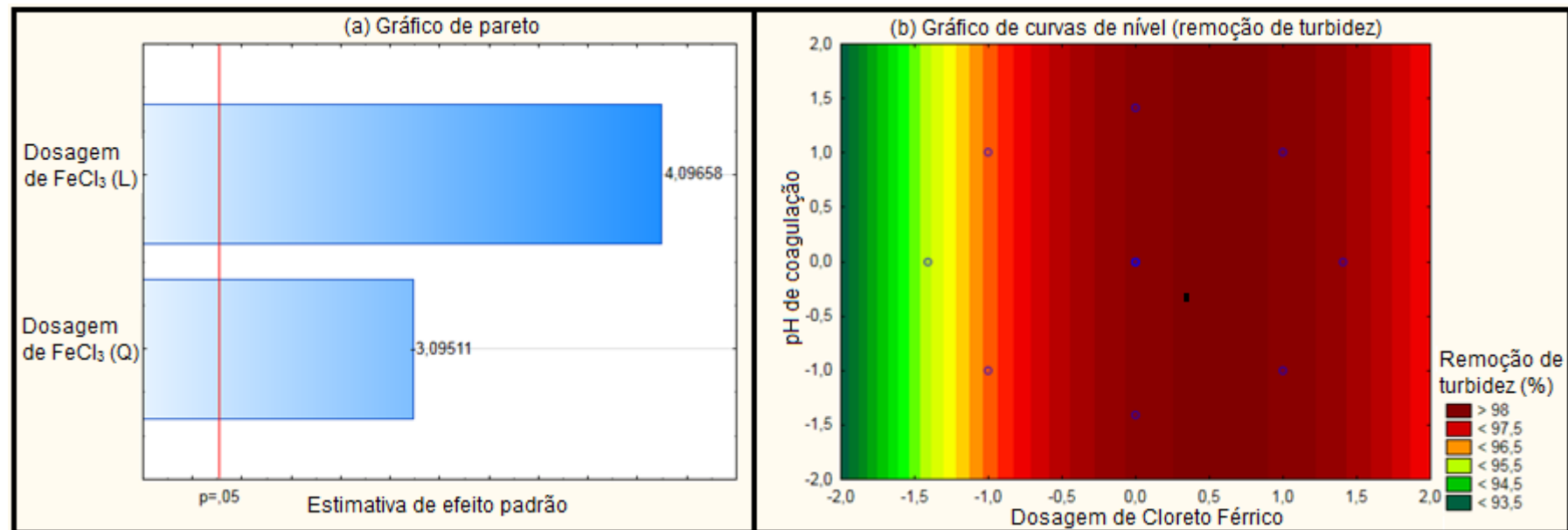


Fonte: Autoria Própria (2019).

Observa-se pelo gráfico de pareto da Figura 67 que para a remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos, a variável significativa foi a dosagem de cloreto férrico. Pelo gráfico de curvas de nível, verifica-se percentuais de remoção de turbidez superando os 97% ao aplicar dosagem de coagulante na faixa de 24,10 a 30,07 mg Fe.L<sup>-1</sup>, que correspondem aos códigos 0,0 e 0,5 do modelo estatístico utilizado (DCCR).

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto férrico e variando o pH de coagulação entre 7,01 a 9,49 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 68.

**Figura 68** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Através do gráfico de pareto da Figura 68, tem-se que a dosagem de cloreto férrico foi a variável significativa para remoção de turbidez com o tempo de sedimentação de 30 minutos. O gráfico de curvas de nível indica percentuais de remoção de turbidez superiores a 98% ao utilizar dosagens de cloreto férrico próximas a 18,14 mg Fe.L<sup>-1</sup> (código 0,5 do DCCR).

Os resultados de para remoção de cor aparente, obtidos ao utilizar como variáveis independentes a dosagem de cloreto férrico e o pH de coagulação entre 7,01 e 9,50 são apresentados pela Tabela 46.

**Tabela 46** – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com cloreto férrico com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 3260 uH	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de FeCl <sub>3</sub> (mg Fe.L <sup>-1</sup> )	12,17	36,03	12,17	36,03	24,10	24,10	24,10	24,10	24,10	40,98	7,23	24,10
pH de coagulação	7,37	7,37	9,13	9,13	7,01	9,49	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25
Cor aparente 10 min (uH)	358	140	232	116	173	171	154	165	186	97	523	210,45
Remoção cor aparente 10 min (%)	89,02	95,71	92,88	96,44	94,69	94,75	95,28	94,94	94,29	97,02	83,96	93,54
Cor aparente 30 min (uH)	305	90	173	93	137	134	136	165	164	102	413	173,82
Remoção cor aparente 30 min (%)	90,64	97,24	94,69	97,15	95,80	95,89	95,83	94,94	94,97	96,87	87,33	94,67
pH pós tratamento (10 min)	7,06	6,73	7,62	6,85	6,73	7,76	6,84	6,77	6,83	6,45	7,17	6,98
pH pós tratamento (30 min)	7,02	6,46	7,53	6,83	6,43	7,35	6,66	6,65	6,73	6,33	7,16	6,83

Fonte: Autoria Própria (2019).

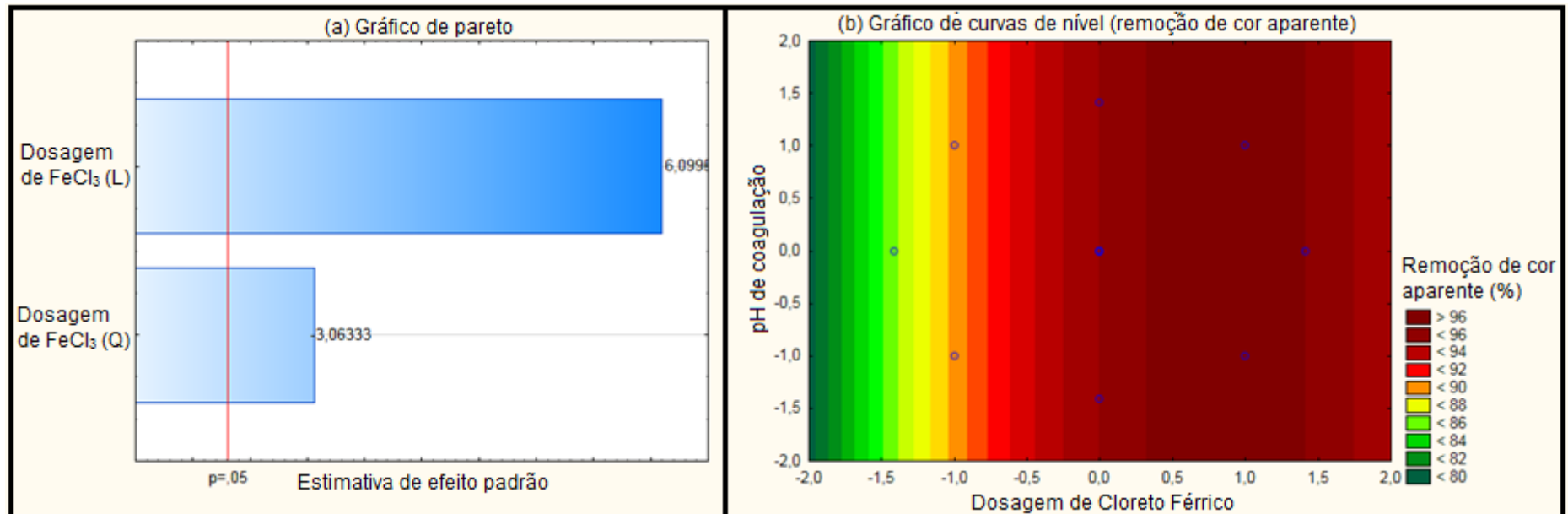
A Tabela 46 apresenta os resultados de cor aparente para o tratamento realizado com cloreto férrico, onde verifica-se que ao aumentar o tempo de sedimentação de 10 para 30 minutos, ocorreu a redução da cor aparente residual média de 210,45 para 173,82 uH.

Para os tempos de sedimentação estudados, o percentual de remoção de cor aparente ficou na faixa entre 83,96 e 97,24%, que correspondem a faixa de cor aparente residual entre 90 e 523 uH.

Os piores resultados foram encontrados pelos jarros J1, J3 e J11, que correspondem às dosagens mínimas de cloreto férrico (12,17 ou 7,23 mg Fe.L<sup>-1</sup>), ou seja, nos pontos axiais -1 e -√2 estipulados pelo DCCR. A faixa de cor aparente residual obtida por esses jarros foi de 173 a 523 uH.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto férrico e variando o pH de coagulação entre 7,01 e 9,49 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 69.

**Figura 69** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.



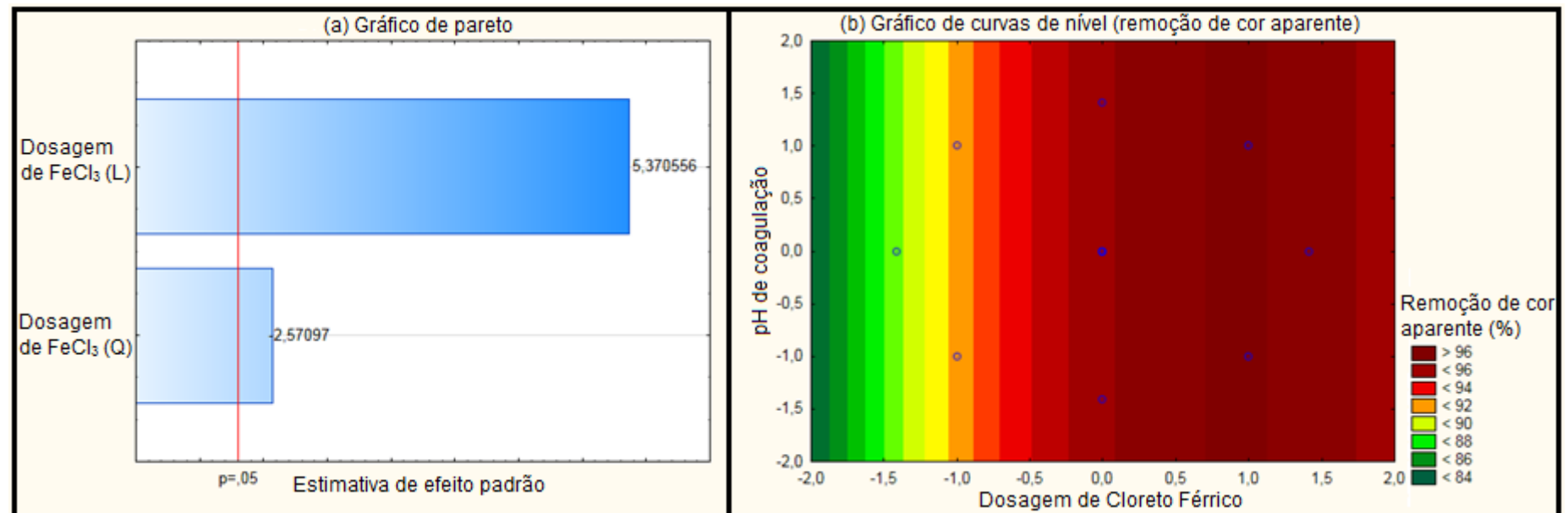
Fonte: Autoria Própria (2019).

A variável significativa para remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos foi a dosagem de coagulante (vide gráfico de Pareto, Figura 69). O gráfico de curvas de nível indica que percentuais de remoção de cor aparente superiores a 96% podem ser atingidos ao utilizar a dosagem de cloreto férrico próxima ao ponto axial 1,0 do DCCR, que corresponde a  $36,03 \pm 5 \text{ mg Fe.L}^{-1}$ .



Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto férrico e variando o pH de coagulação entre 7,01 e 9,49 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 70.

**Figura 70** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.



Fonte: Autoria Própria (2019).

O gráfico de pareto (Figura 70a) indica que para remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos a variável significativa foi a dosagem de coagulante. Pelo gráfico de curvas de nível (Figura 70b), tem-se que dosagens de cloreto férrico de aproximadamente 36,03 mg Fe.L<sup>-1</sup> (código 1,0 do DCCR) podem atingir remoções de cor aparente superiores a 96%.

Os resultados de para remoção de DQO, obtidos ao utilizar como variáveis independentes a dosagem de cloreto férrico e o pH de coagulação entre 7,01 e 9,49 são apresentados pela Tabela 47.

**Tabela 47 – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com cloreto férrico com 10 e 30 minutos de sedimentação.**

Efluente bruto: 3115,88 mg.L <sup>-1</sup>	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de FeCl <sub>3</sub> (mg Fe.L <sup>-1</sup> )	12,17	36,03	12,17	36,03	24,10	24,10	24,10	24,10	24,10	40,98	7,23	24,10
pH de coagulação	7,37	7,37	9,13	9,13	7,01	9,49	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25
DQO 10 min (mg.L <sup>-1</sup> )	326,92	258,33	242,28	191,20	216,01	252,49	202,87	182,44	179,52	167,85	399,89	238,16
Remoção de DQO 10 min (%)	89,51	91,71	92,22	93,86	93,07	91,90	93,49	94,14	94,24	94,61	87,17	92,36
DQO 30 min (mg.L <sup>-1</sup> )	221,85	188,28	236,44	198,50	151,80	211,63	172,23	156,18	172,23	148,88	302,11	196,38
Remoção de DQO 30 min (%)	92,88	93,96	92,41	93,63	95,13	93,21	94,47	94,99	94,47	95,22	90,30	93,70
pH pós tratamento (10 min)	7,06	6,73	7,62	6,85	6,73	7,76	6,84	6,77	6,83	6,45	7,17	6,98
pH pós tratamento (30 min)	7,02	6,46	7,53	6,83	6,43	7,35	6,66	6,65	6,73	6,33	7,16	6,83

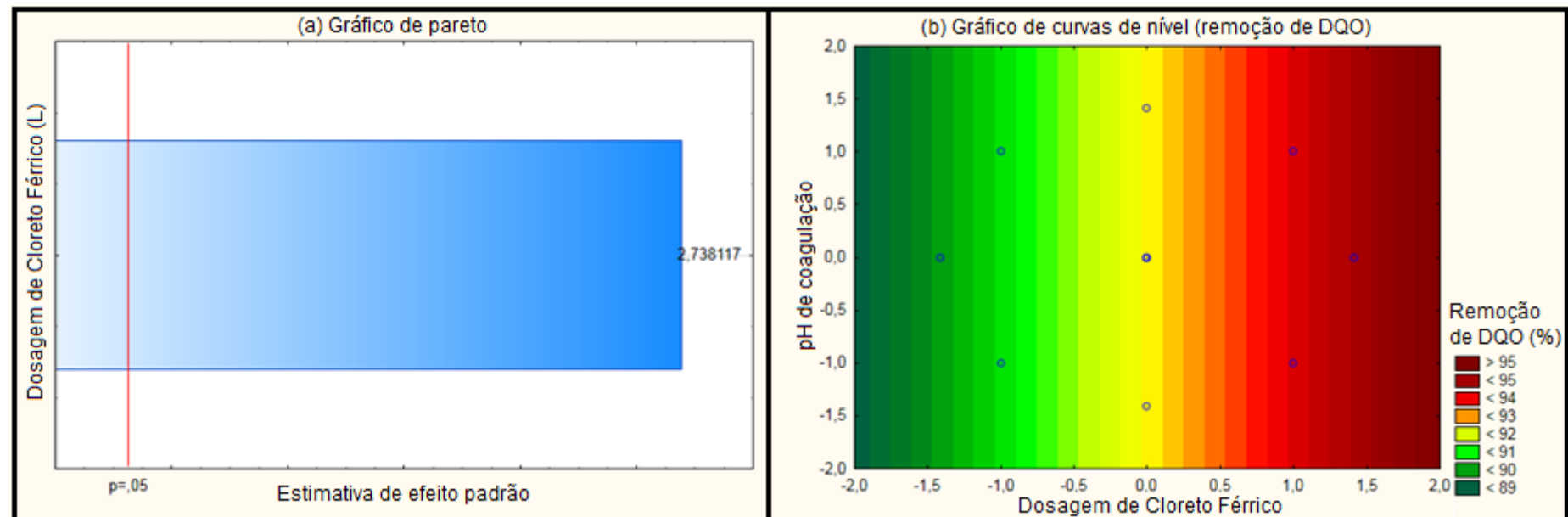
Fonte: Aatoria Própria (2019).

A Tabela 47 apresenta os resultados de DQO remanescente obtidos, mostrando que o tempo de sedimentação de 30 minutos atingiu em média resultados superiores aos encontrados com 10 minutos (redução da DQO residual média de 238,16 para 196,38 mg.L<sup>-1</sup>).

O percentual de remoção de DQO ficou na faixa entre 87,17 e 95,22%. O valor mínimo de DQO residual encontrada para o ensaio com cloreto férrico foi 148,88 mg.L<sup>-1</sup>, valor significativamente inferior aos apresentados anteriormente por outras combinações de tratamento do presente trabalho, como PAC + polímeros aniônico (35,15 mg.L<sup>-1</sup>), PAC + polímero catiônico (35,15 mg.L<sup>-1</sup>) ou PAC + polímero não-iônico (45,77 mg.L<sup>-1</sup>).

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto férrico e variando o pH de coagulação entre 7,01 e 9,49 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 71.

**Figura 71** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.

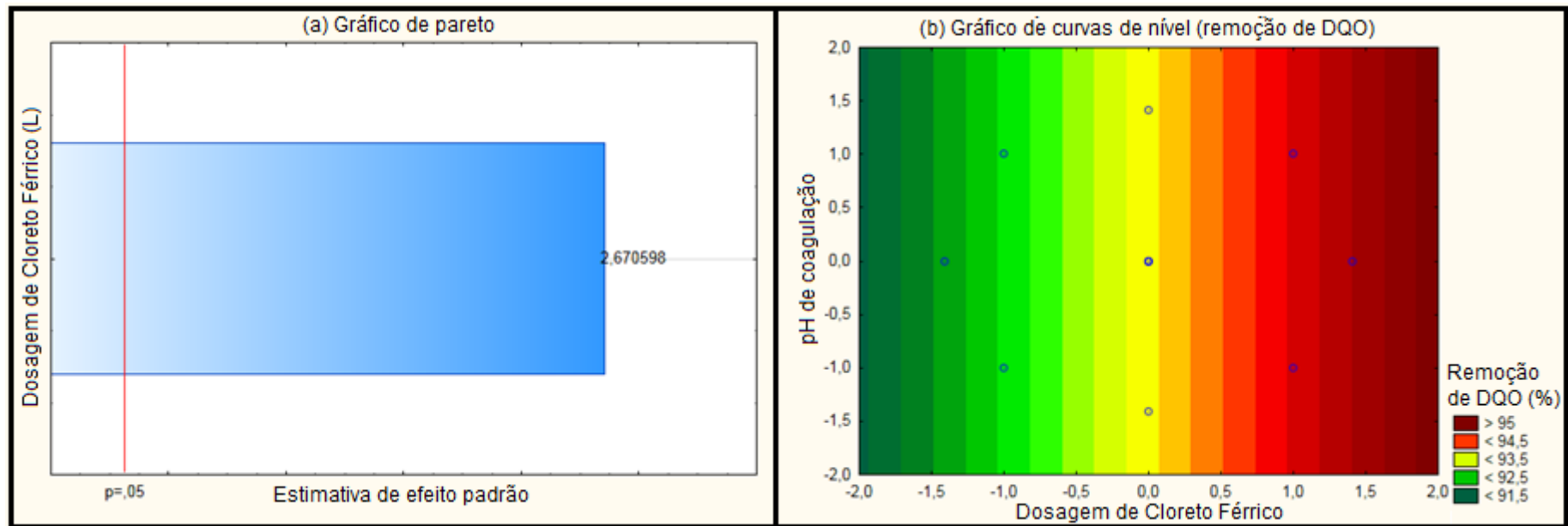


Fonte: Autoria Própria (2019).

O gráfico de pareto apresentado pela Figura 71 indica que a dosagem de coagulante foi a variável significativa para remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos. Pelo gráfico de curvas de nível, verifica-se dosagens de cloreto férrico superiores a 40,98 mg.L<sup>-1</sup> (código  $\sqrt{2}$  do DCCR) resultam em percentuais de remoção de DQO superiores a 95%.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto férrico e variando o pH de coagulação entre 7,01 e 9,49 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 72.

**Figura 72** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de cloreto férrico.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A dosagem de coagulante foi a variável significativa para a remoção de DQO com o tempo de sedimentação de 30 minutos (vide gráfico de pareto, Figura 72). Pelo gráfico de curvas de nível, verifica-se que percentuais de remoção de DQO superiores a 95% podem ser atingidos ao utilizar dosagens de cloreto férrico superiores a 36,03 mg Fe.L<sup>-1</sup> (código 1,0 do DCCR).

Entre as Figuras 73 a 78, e nas Tabelas 48, 49 e 50 são apresentados os resultados referentes ao tratamento do efluente utilizando as variáveis pH de coagulação e a dosagem de cloreto de polialumínio. Os resultados de para remoção de turbidez, obtidos ao utilizar como variáveis a dosagem de PAC e o pH de coagulação entre 7,01 e 9,49 são apresentados pela Tabela 48.

**Tabela 48** – Resultados obtidos para turbidez pelo tratamento com PAC com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 1203,18 NTU	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	10,32	34,68	10,32	34,68	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	39,72	5,28	22,50
pH de coagulação	7,37	7,37	9,13	9,13	7,01	9,49	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25
Turbidez 10 min (NTU)	63,40	58,90	53,50	55,20	72,40	46,60	40,80	62,90	55,80	42,90	36,10	53,50
Remoção turbidez 10 min (%)	94,73	95,10	95,55	95,41	93,98	96,13	96,61	94,77	95,36	96,43	97,00	95,55
Turbidez 30 min (NTU)	23,80	28,00	30,10	33,70	13,50	36,00	17,50	23,80	20,90	11,80	25,20	24,03
Remoção turbidez 30 min (%)	98,02	97,67	97,50	97,20	98,88	97,01	98,55	98,02	98,26	99,02	97,91	98,00
pH pós tratamento (10 min)	7,05	6,85	8,07	6,91	6,76	7,41	6,82	6,81	6,78	6,45	7,16	7,01
pH pós tratamento (30 min)	6,96	6,74	8,01	6,64	6,61	7,26	6,65	6,69	6,68	6,26	7,19	6,88

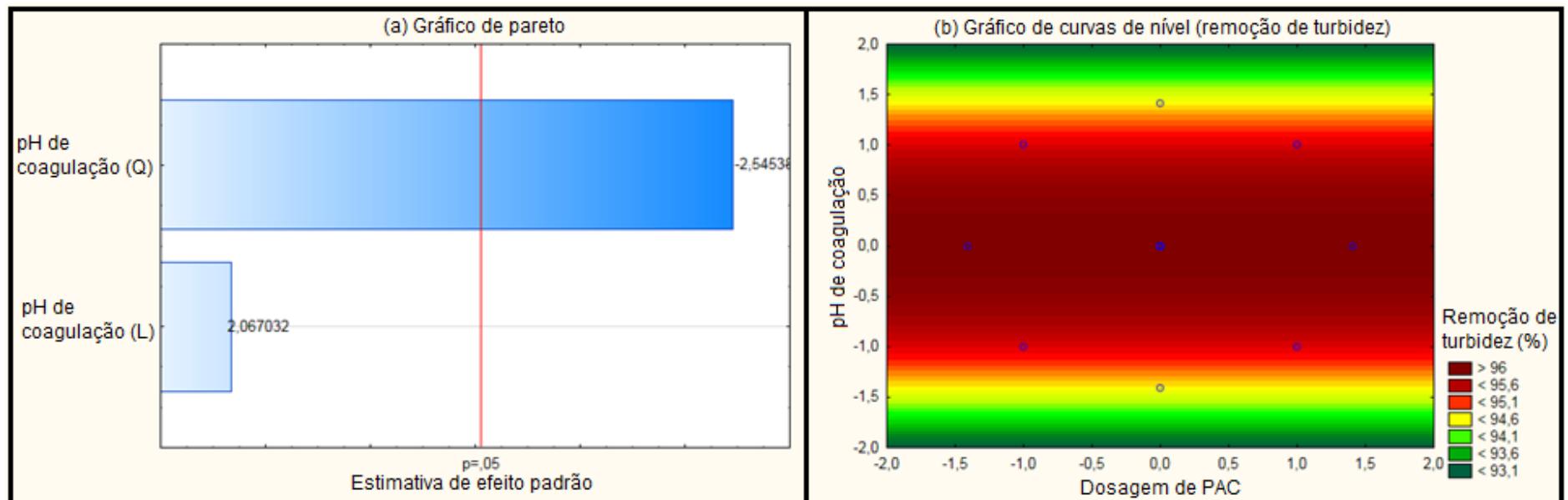
Fonte: Autoria Própria (2019).

Através da Tabela 48, observa-se que o pH médio do efluente tratado reduziu de 7,01 para 6,88 ao alterar o tempo de sedimentação de 10 para 30 minutos, ou seja, o pH manteve-se quase estável ao aumentar o tempo. A faixa de valores de pH para os tempos de sedimentação avaliados foi de 6,26 a 8,07.

Verifica-se ainda que para a remoção de turbidez, o tempo de sedimentação de 30 minutos mostrou-se superior ao tempo de 10 minutos (redução da turbidez residual média de 53,50 para 24,03 NTU). Os percentuais de remoção de turbidez ficaram entre 93,98 e 99,02%, que correspondem a faixa de turbidez residual entre 11,80 e 72,40 NTU.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto de polialumínio e variando o pH de coagulação entre 7,01 a 9,49 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 73.

**Figura 73** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.

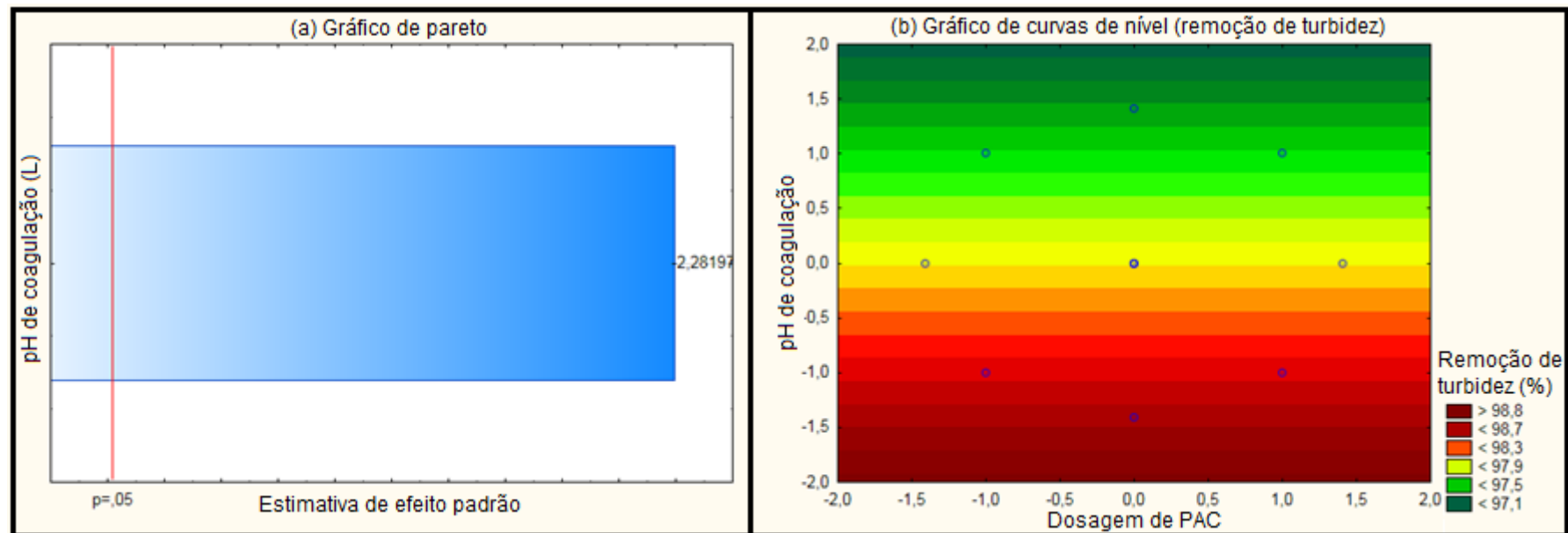


Fonte: Autoria Própria (2019).

O gráfico de pareto da Figura 73 indica que o pH de coagulação foi a variável significativa para remoção de turbidez com o tempo de sedimentação de 10 minutos. Através do gráfico de curvas de nível, tem-se que ao realizar o processo de coagulação próximo ao pH 8,25 (código 0,0 do DCCR), percentuais de remoção de turbidez superiores a 96% são alcançados.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de turbidez pelo tratamento com cloreto de polialumínio e variando o pH de coagulação entre 7,01 a 9,49 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 74.

**Figura 74** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de turbidez com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Verifica-se pela Figura 74 que para remoção de turbidez com o tempo de sedimentação de 30 minutos o pH de coagulação foi a variável significativa. Ao realizar o tratamento com pH de coagulação inferior a 8,25 (código 0,0 do DCCR), são atingidos percentuais de remoção de turbidez superiores a 97.9%.

Os resultados de para remoção de cor aparente, obtidos ao utilizar como variáveis a dosagem de cloreto de polialumínio e o pH de coagulação entre 7,01 a 9,49 são apresentados pela Tabela 49.

**Tabela 49** – Resultados obtidos para cor aparente pelo tratamento com PAC com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 3099 uH	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	10,32	34,68	10,32	34,68	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	39,72	5,28	22,50
pH de coagulação	7,37	7,37	9,13	9,13	7,01	9,49	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25
Cor aparente 10 min (uH)	115	103	90	79	96	119	75	92	86	63	128	95,09
Remoção cor aparente 10 min (%)	96,29	96,68	97,10	97,45	96,90	96,16	97,58	97,03	97,22	97,97	95,87	96,93
Cor aparente 30 min (uH)	56	69	56	43	33	118	38	44	43	20	105	56,82
Remoção cor aparente 30 min (%)	98,19	97,77	98,19	98,61	98,94	96,19	98,77	98,58	98,61	99,35	96,61	98,17
pH pós tratamento (10 min)	7,05	6,85	8,07	6,91	6,76	7,41	6,82	6,81	6,78	6,45	7,16	7,01
pH pós tratamento (30 min)	6,96	6,74	8,01	6,64	6,61	7,26	6,65	6,69	6,68	6,26	7,19	6,88

Fonte: Aatoria Própria (2019).

A Tabela 49 indica que o tempo de sedimentação é um fator importante para aumentar a eficiência na remoção de cor aparente, já que aos 10 minutos a cor aparente residual média encontrada foi de 95,09 uH, enquanto ao aplicar o tempo de 30 minutos a média foi reduzida para 56,82 uH.

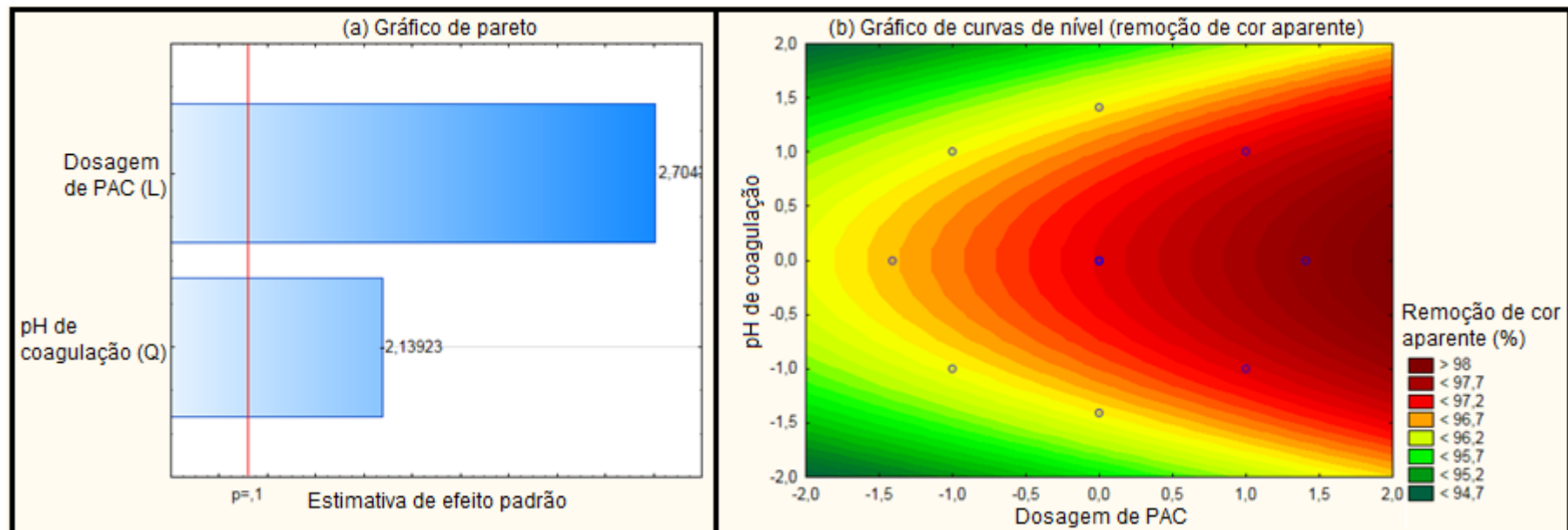
O percentual de remoção de cor aparente destes ensaios ficou na faixa de 95,87 a 99,35%, que correspondem a cor aparente residual entre 20,00 e 128,00 uH.

O melhor resultado para remoção de cor aparente foi atingido pelo jarro J10, que utilizou 39,72 mg Al.L<sup>-1</sup> de dosagem de coagulante PAC, com o pH de coagulação 8,25.



Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e pH de coagulação entre 7,01 a 9,49 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 75.

**Figura 75** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.

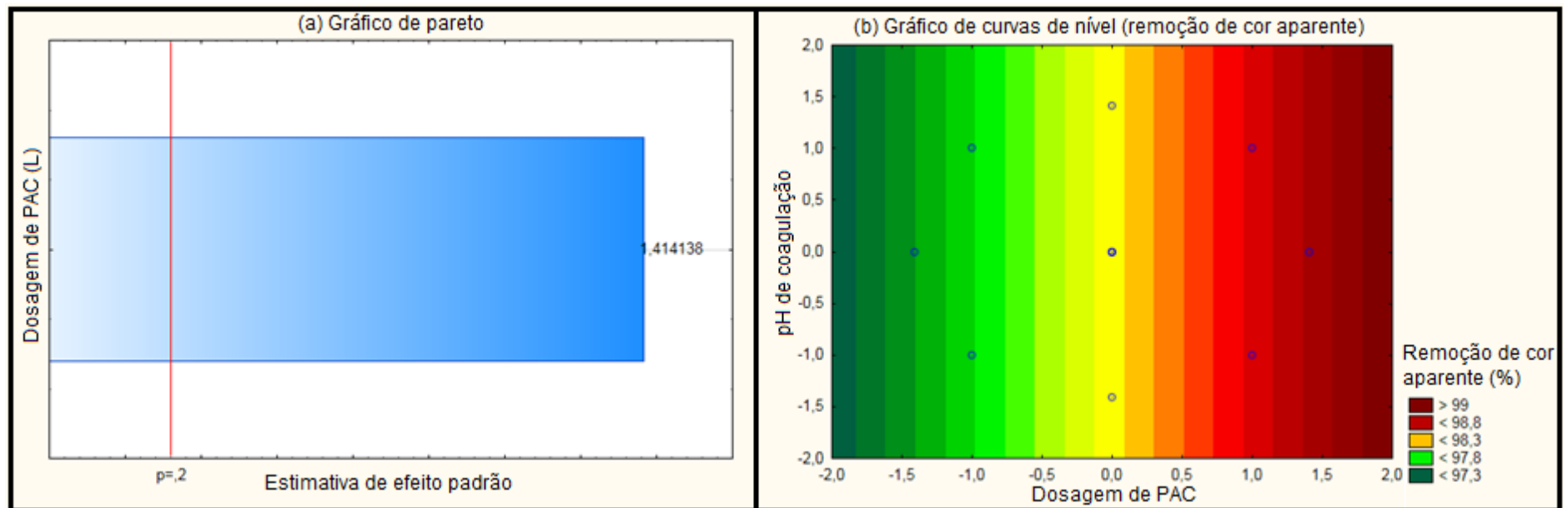


Fonte: Autoria Própria (2019).

Para a remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 10 minutos, o gráfico de Pareto da Figura 75 indica que as variáveis significativas foram a dosagem de coagulante e o pH de coagulação. Pelo gráfico de curvas de nível, verifica-se que dosagens de PAC superiores a  $39,71 \text{ mg.L}^{-1}$  (código  $\sqrt{2}$  do DCCR) com pH de coagulação entre 7,81 e 8,69 (códigos -0,5 e 0,5) resultam em percentuais de remoção de cor aparente superiores a 98%.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de cor aparente pelo tratamento com cloreto de polialumínio e pH de coagulação entre 7,01 a 9,49 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 76.

**Figura 76** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de cor aparente com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Através do gráfico de pareto da Figura 76, verifica-se que a variável significativa para remoção de cor aparente com o tempo de sedimentação de 30 minutos foi a dosagem de coagulante. O gráfico de curvas de nível indica que dosagens de PAC superiores a 22,50 mg Al.L<sup>-1</sup> (ponto central 0,0 do DCCR) geram remoções de cor aparente superiores a 98%.

Os resultados de para remoção de DQO, obtidos ao utilizar como variáveis a dosagem de cloreto de polialumínio e o pH de coagulação entre 7,01 e 9,49 são apresentados pela Tabela 50.

**Tabela 50** – Resultados obtidos para DQO pelo tratamento com PAC com 10 e 30 minutos de sedimentação.

Efluente bruto: 2973,91 mg.L <sup>-1</sup>	J1	J2	J3	J4	J5	J6	J7	J8	J9	J10	J11	Média
Dosagem de PAC (mg Al.L <sup>-1</sup> )	10,32	34,68	10,32	34,68	22,50	22,50	22,50	22,50	22,50	39,72	5,28	22,50
pH de coagulação	7,37	7,37	9,13	9,13	7,01	9,49	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25	8,25
DQO 10 min (mg.L <sup>-1</sup> )	316,70	223,31	204,33	204,33	255,41	216,01	213,09	249,57	321,08	204,33	195,58	236,70
Remoção de DQO 10 min (%)	89,35	92,49	93,13	93,13	91,41	92,74	92,83	91,61	89,20	93,13	93,42	92,04
DQO 30 min (mg.L <sup>-1</sup> )	198,50	188,28	199,96	217,47	198,50	271,46	163,47	201,42	172,23	150,34	199,96	196,51
Remoção de DQO 30 min (%)	93,33	93,67	93,28	92,69	93,33	90,87	94,50	93,23	94,21	94,94	93,28	93,39
pH pós tratamento (10 min)	7,05	6,85	8,07	6,91	6,76	7,41	6,82	6,81	6,78	6,45	7,16	7,01
pH pós tratamento (30 min)	6,96	6,74	8,01	6,64	6,61	7,26	6,65	6,69	6,68	6,26	7,19	6,88

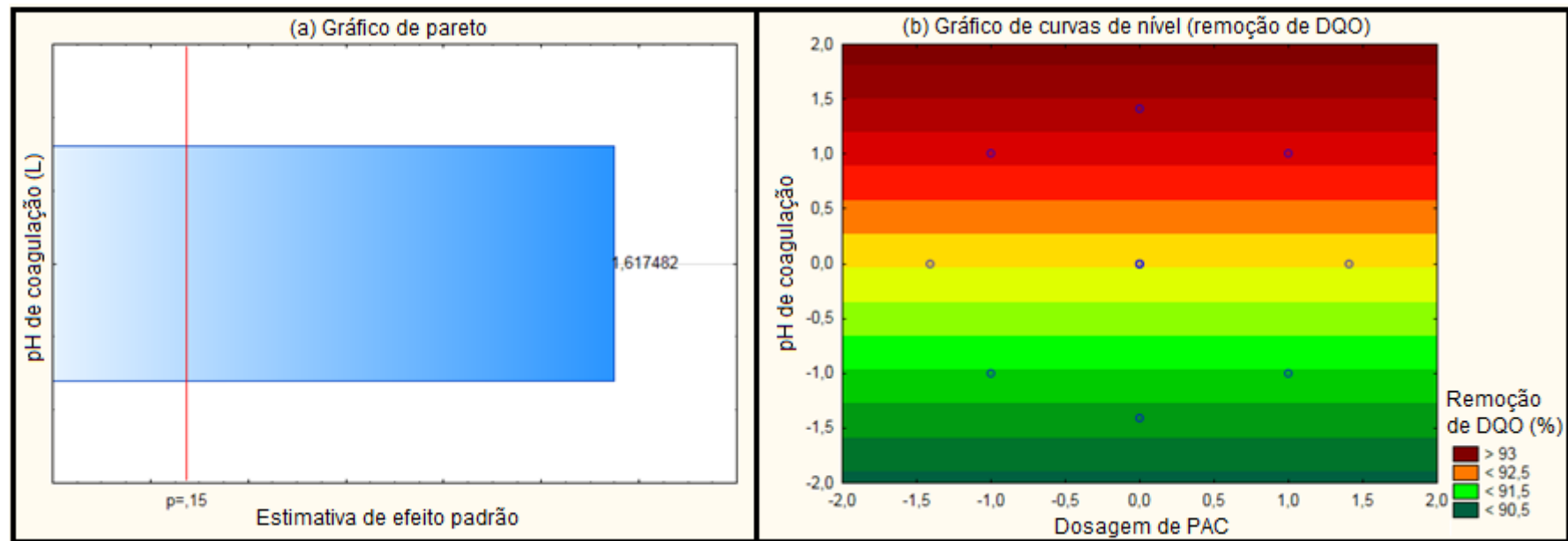
Fonte: Aatoria Própria (2019).

Para a remoção de DQO nos ensaios em que as variáveis foram a dosagem do coagulante PAC e o pH de coagulação, verifica-se pela Tabela 50 que o tempo de sedimentação de 10 minutos obteve como DQO residual média 236,70 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto com 30 minutos de sedimentação a média foi de 196,51 mg.L<sup>-1</sup>, ou seja, ao aumentar o tempo de sedimentação houve uma redução média de 16,98% da DQO.

O percentual de remoção de DQO do efluente bruto obtido para estes ensaios ficou na faixa entre 89,20 e 94,94%, que correspondem a faixa de DQO residual entre 150,34 e 321,08 mg.L<sup>-1</sup>.

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e variando o pH de coagulação entre 7,01 e 9,49 com tempo de sedimentação de 10 minutos são apresentados na Figura 77.

**Figura 77** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 10 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.

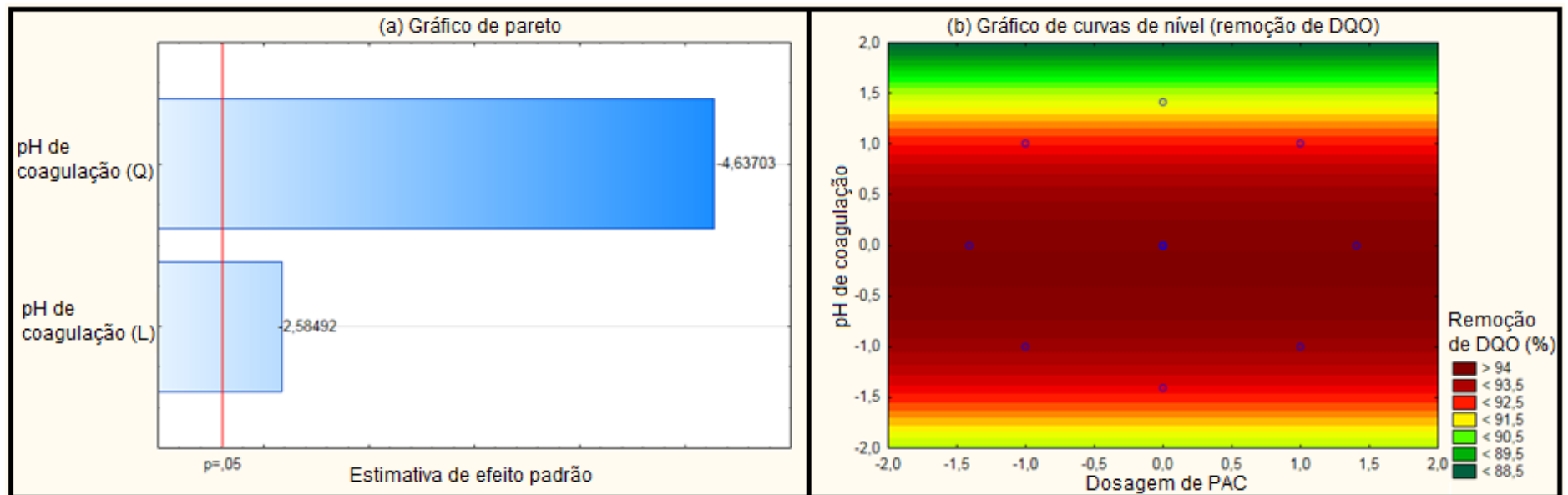


Fonte: Autoria Própria (2019).

O gráfico de pareto da Figura 77 indica que a remoção de DQO com o tempo de sedimentação de 10 minutos tem como variável significativa o pH de coagulação. O gráfico de curvas de nível indica que percentuais de remoção de DQO superiores a 92% podem ser alcançados ao realizar o tratamento com pH de coagulação superior a 8,25 (código 0,0 do DCCR).

Os gráficos de pareto e de curvas de nível referentes a remoção de DQO pelo tratamento com cloreto de polialumínio e variando o pH de coagulação entre 7,01 e 9,49 com tempo de sedimentação de 30 minutos são apresentados na Figura 78.

**Figura 78** – Gráfico de pareto (a) e curva de nível (b) da remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos pelo tratamento com as variáveis independentes pH de coagulação e dosagem de PAC.



Fonte: Autoria Própria (2019).

A variável significativa para remoção de DQO com tempo de sedimentação de 30 minutos foi o pH de coagulação (vide gráfico de pareto da Figura 78). O gráfico de curvas de nível indica que percentuais de remoção de DQO superiores a 94% podem ser atingidos ao realizar o tratamento em um pH de coagulação entre 7,81 e 8,25 (códigos -0,5 e 0,0 do DCCR).

Pode-se observar que o efluente da segunda coleta estava mais carregado do que o efluente da primeira coleta, já que a turbidez média aumentou de 311 para 1260 NTU, enquanto a cor aparente passou de 772 para 3098 uH e a DQO foi de 1994 para 3605 mg.L<sup>-1</sup>.

Esta diferença dos efluentes também nos leva a variação dos valores residuais de turbidez, cor aparente e DQO obtidos após o tratamento, já que em média, todos aumentaram.

Em contrapartida, a eficiência média de remoção, ao menos para turbidez e cor aparente, manteve-se semelhante: a turbidez passou da remoção média de 99,45% para 99,50% e a cor aparente que tinha remoção média de 99,02%; passou para 99,18%.

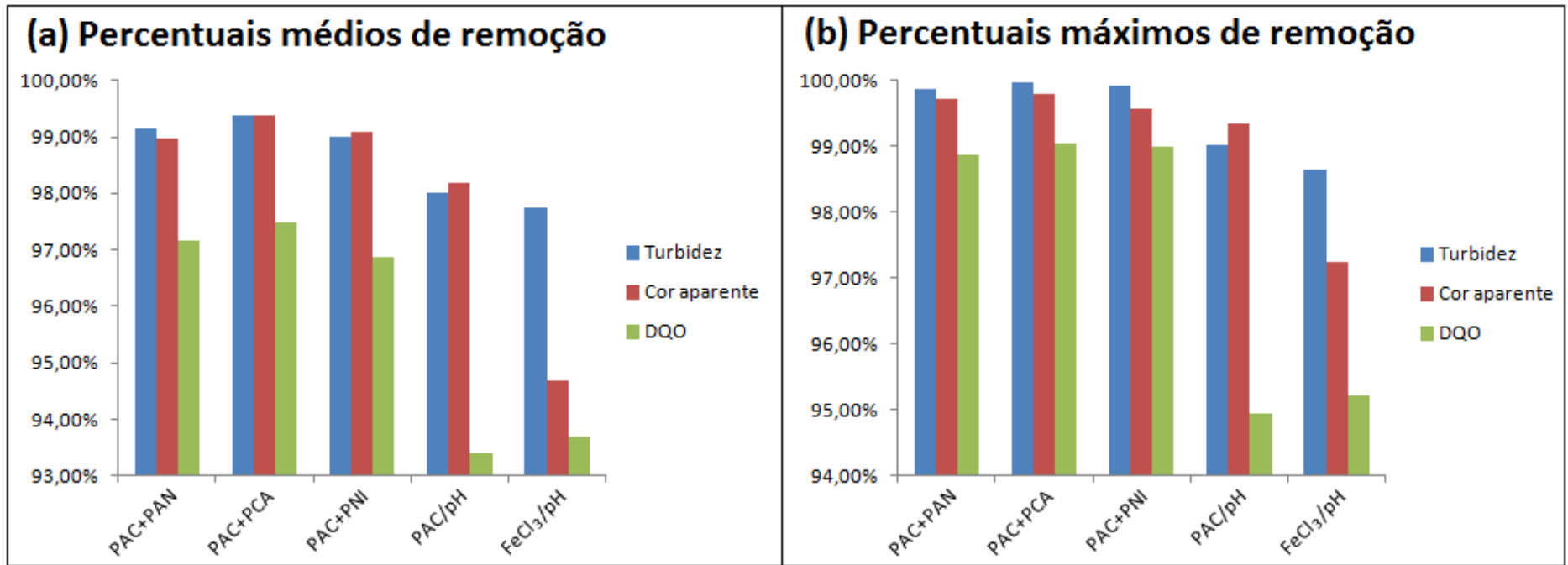
Isso não ocorreu em relação à DQO, já que dos 99,27% de DQO removida do efluente da primeira coleta, chegou-se a apenas 97,57% com o efluente seguinte.

Os resultados apresentados durante o presente capítulo são resumidos pela Figura 79, através dos índices médios e máximos de remoção de turbidez, cor aparente e DQO obtidos pela combinação das variáveis independentes (dosagem de coagulante com dosagem de floculante ou pH de coagulação) com o tempo de sedimentação de 30 minutos.

Através dos gráficos, verifica-se que os ensaios com o coagulante PAC combinado aos polímeros floculantes apresentaram remoções médias e máximas semelhantes, mas com uma leve superioridade obtida pelos ensaios com o polímero catiônico (PCA).

Dentre os coagulantes estudados, verifica-se que o cloreto férrico foi o que apresentou os piores resultados em relação a remoção de cor aparente. Para a remoção de DQO, os piores resultados foram encontrados ao utilizar o PAC com a variável pH de coagulação.

**Figura 79** – Percentuais (a) médios e (b) máximos de remoção de turbidez, cor aparente e DQO com o efluente da segunda coleta



Fonte: Autoria própria (2019)

Dentre as variáveis independentes estudadas pelo efluente da segunda coleta, baseando-se nos resultados apresentados pelo presente capítulo, verificou-se que para atingir os maiores percentuais de remoção de turbidez, cor aparente e DQO, a combinação do coagulante PAC com o polímero catiônico foi o método de tratamento mais adequado.

Sabendo-se que o coagulante PAC obteve resultados expressivamente superiores ao ser combinado com a variável dosagem de polímero perante o pH de coagulação (vide Figura 79), determinou-se que o PAC sem adição de polímeros não seria ensaiado nos pontos ótimos de tratamento.

---

### 5.3

**RESULTADOS DOS ENSAIOS FINAIS - REALIZADOS COM O EFLUENTE DA  
SEGUNDA COLETA, NOS PONTOS ÓTIMOS.**

---



Após a análise dos resultados obtidos através de todo o processo de tratamento, foram determinados os pontos ótimos de operação de cada combinação das dosagens de coagulante e floculante; ou entre coagulante e pH de coagulação. Todos os ensaios utilizaram o tempo de sedimentação de 30 minutos, já que todos os resultados neste período foram superiores aos obtidos com 10 minutos de sedimentação.

Através dos resultados de tratamento apresentados pelos capítulos 5.1 e 5.2, verificou-se que a utilização do cloreto de polialumínio sem a adição de floculantes apresentou resultados inferiores aos demais ensaios, as análises no ponto ótimo desta combinação foram descartadas, que a inserção de polímeros sintéticos não é significativa para a disposição final do lodo neste caso.

Pelos resultados, também se observou que os ensaios com o coagulante cloreto férrico também chegaram a resultados inferiores aos obtidos ao se utilizar polímeros como floculantes, entretanto, como este coagulante não é derivado do alumínio e por consequência apresenta maior facilidade no descarte do lodo, foram feitas as análises finais destes coagulantes.

Também se decidiu por realizar os ensaios nos pontos ótimos do tanino, já que além de gerar um lodo biodegradável, os resultados de tratamento deste coagulante foram os melhores dos ensaios sem a adição de floculantes.

A Tabela 51 apresenta as dosagens de coagulante e polímero floculante definidas para os ensaios de tratamento realizados nos pontos ótimos. Apesar do pH de coagulação ser uma variável independente para os ensaios com tanino e cloreto férrico, através dos resultados obtidos pelos ensaios e apresentados nos capítulos 5.1 e 5.2, definiu-se que o pH natural do efluente já estava em seu ponto ótimo de tratamento, que era próximo a faixa neutra (pH 7,0).

**Tabela 51** – Dados utilizados para o tratamento de efluente no ponto ótimo.

Ensaio	Coagulante	Dosagem	Floculante	Dosagem
1	Cloreto de Polialumínio	35 mg Al.L <sup>-1</sup>	Polímero Aniônico	4,0 mg.L <sup>-1</sup>
2	Cloreto de Polialumínio	25 mg Al.L <sup>-1</sup>	Polímero Catiônico	3,5 mg.L <sup>-1</sup>
3	Cloreto de Polialumínio	30 mg Al.L <sup>-1</sup>	Polímero Não-Iônico	3,0 mg.L <sup>-1</sup>
4	Cloreto Férrico	40 mg Fe.L <sup>-1</sup>	-	-
5	Tanino	80 mg.L <sup>-1</sup>	-	-

Fonte: Autoria Própria (2019).

Através da Tabela 51, verifica-se que os pontos ótimos para os ensaios com polímeros flocculantes resultaram em dosagens de coagulante inferiores as necessárias nos ensaios com os coagulantes tanino e cloreto férrico.

Todos os ensaios foram feitos em triplicata, e a Tabela 52 apresenta as médias dos resultados residuais dos parâmetros analisados nos pontos ótimos de cada coagulante, que foram: turbidez, cor aparente, DQO, pH, alcalinidade, nitrogênio, fósforo, condutividade elétrica, volume de lodo gerado e a série de sólidos, composta por sólidos totais (ST), sólidos totais voláteis (STV), sólidos totais fixos (STF), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV) e sólidos suspensos fixos (SSF).

**Tabela 52** – Resultados obtidos após o tratamento realizado nos pontos ótimos.

Parâmetro	Bruto	1	2	3	4	5
Turbidez (NTU)	1075,00	8,04	2,84	1	9,66	15,7
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	603,95	135,56	124,06	135,56	124,06	122,29
pH	6,95	6,08	6,43	6,16	6,09	6,85
Cor aparente (uH)	2463	9	7	1	33	28
Condutividade (µS.cm <sup>-1</sup> )	484,0	622,7	575,1	630,3	607,5	517,6
Lodo (cm <sup>3</sup> .L <sup>-1</sup> )	-	171,93	132,25	152,09	92,58	99,19
Alcalinidade (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	232,6	94,2	127,0	18,0	78,2	212,0
Nitrogênio (mg N-NTK.L <sup>-1</sup> )	37,07	22,96	23,46	23,58	25,93	27,72
Fósforo (mg P-PO <sub>4</sub> .L <sup>-1</sup> )	0,940	0,108	0,233	0,170	0,095	0,239
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	3393	516	402	460	520	344
STV (mg.L <sup>-1</sup> )	2951	248	154	140	274	96
STF (mg.L <sup>-1</sup> )	542	268	248	320	246	248
SST (mg.L <sup>-1</sup> )	3228	35	5	10	60	23
SSV (mg.L <sup>-1</sup> )	2875	5	5	10	36	23
SSF (mg.L <sup>-1</sup> )	253	30	0	0	24	0

Fonte: Autoria Própria (2019).

A Tabela 53 apresenta o percentual de remoção dos resultados apresentados pela Tabela 52, ou seja, a diferença que o tratamento do efluente apresentou, em relação ao efluente bruto para turbidez, cor aparente, DQO, alcalinidade nitrogênio, fósforo e da série de sólidos

**Tabela 53** – Percentual de remoções obtidas nos pontos ótimos de tratamento.

Parâmetro removido	1	2	3	4	5
Turbidez (%)	99,25	99,74	99,91	99,10	98,54
Cor aparente (%)	99,63	99,72	99,96	98,66	98,86
DQO (%)	77,55	79,46	77,55	79,46	79,75
Alcalinidade (%)	59,50	45,40	92,26	66,38	8,86
Nitrogênio (%)	38,06	36,71	36,39	30,05	25,22
Fósforo (%)	88,51	75,21	81,91	89,89	74,57
ST (%)	84,79	88,15	86,44	84,67	89,86
STV (%)	91,60	94,78	95,26	90,72	96,75
STF (%)	50,55	54,24	40,96	54,61	54,24
SST (%)	98,92	99,85	99,69	98,14	99,29
SSV (%)	99,83	99,83	99,65	98,75	99,20
SSF (%)	88,14	100,00	100,00	90,51	100,00

Fonte: Autoria Própria (2019).

Podemos verificar pela Tabela 53 que cada parâmetro resulta em melhores remoções de acordo com diferentes ensaios, ou seja, apesar do ensaio 5 (com o coagulante tanino) ter um resultado levemente inferior na remoção de turbidez, o mesmo foi significativamente superior para a remoção de DQO. Isso deve ser levado em conta no momento da escolha do método de tratamento a ser aplicado, sabendo antecipadamente qual é o principal parâmetro de tratamento que se pretende reduzir.

## 6. DISCUSSÕES

### 6.1. REMOÇÃO MÁXIMA DE TURBIDEZ

Ao comparar o tratamento com o coagulante tanino aos tratamentos realizados com PAC e polímeros floculantes, pode-se observar a superioridade dos produtos inorgânicos na remoção de turbidez. Entretanto, isso não se repete nos tratamentos com coagulantes inorgânicos sem adição de polímeros. A Tabela 54 mostra os melhores resultados para a remoção de turbidez, obtidos pelas combinações de coagulante/floculante/pH de coagulação utilizados.

**Tabela 54 –** Melhores resultados obtidos para a remoção de turbidez.

Produto Coagulante	Dosagem (mg.L <sup>-1</sup> )	Polímero Floculante	Dosagem (mg.L <sup>-1</sup> )	pH de coagulação	Remoção (%)	Residual (NTU)
PAC	13,24	Aniônico	3,64	-	99,97	0,10
PAC	13,24	Catiônico	3,64	-	99,97	0,10
PAC	29,12	Não-Iônico	5,00	-	99,97	0,10
Tanino	80,00	-	-	7,14	99,77	0,75
PAC	13,24	-	-	7,14	99,29	2,00
FeCl <sub>3</sub>	42,18	-	-	7,14	98,41	5,33

Fonte: Autoria Própria (2019).

Através da Tabela 54, verifica-se que os melhores resultados obtidos para os três floculantes atingiram a remoção de turbidez de 99,97% (0,10 NTU residual), que é a leitura mínima possível no turbidímetro utilizado. A diferença encontrada nos ensaios com polímeros é relacionada à dosagem de produtos químicos para a realização do tratamento. O ensaio com o polímero não-iônico apresentou a maior dosagem de floculante (5,00 mg.L<sup>-1</sup>) e de coagulante (29,12 mg Al.L<sup>-1</sup>). Para os dois outros polímeros, a dosagem de PAC utilizada para alcançar o resultado máximo foi de 13,24 mg Al.L<sup>-1</sup> combinada a 3,64 mg.L<sup>-1</sup> de polímero.

Para um efluente semelhante ao do presente trabalho, Bordonalli e Mendes (2009), com dosagens de PAC entre 2000 e 4400 mg.L<sup>-1</sup> e de polímero entre 6,0 e 7,3 mg.L<sup>-1</sup>, chegaram a remoção máxima de turbidez de 99,07%, enquanto a remoção média se aproxima de 97,47%.

Os resultados do presente trabalho se mostram satisfatórios se comparados a estudos com efluentes provindos de outras atividades, como observamos nos estudos de Haydar e Aziz (2009), que utilizaram dois tipos de polímeros combinados com sais de alumínio, atingindo remoções de Turbidez: entre 97 e 99,4% para águas residuais de curtume, com dosagens de alumínio entre 0 e 140 mg.L<sup>-1</sup>, combinadas com 5 mg.L<sup>-1</sup> de polímero.

Dentre os tratamentos que não tiveram a inserção de polímeros flocculantes, o coagulante orgânico tanino foi o que apresentou o melhor desempenho em relação a remoção de turbidez, seguido pelo PAC. Já o pior resultado foi obtido ao utilizar o coagulante cloreto férrico. Em relação às dosagens de coagulante, para atingir os melhores resultados, o tanino chegou a valores consideravelmente superiores (80,00 mg.L<sup>-1</sup>), perante 42,13 e 13,24 mg.L<sup>-1</sup> de cloreto férrico e PAC, respectivamente.

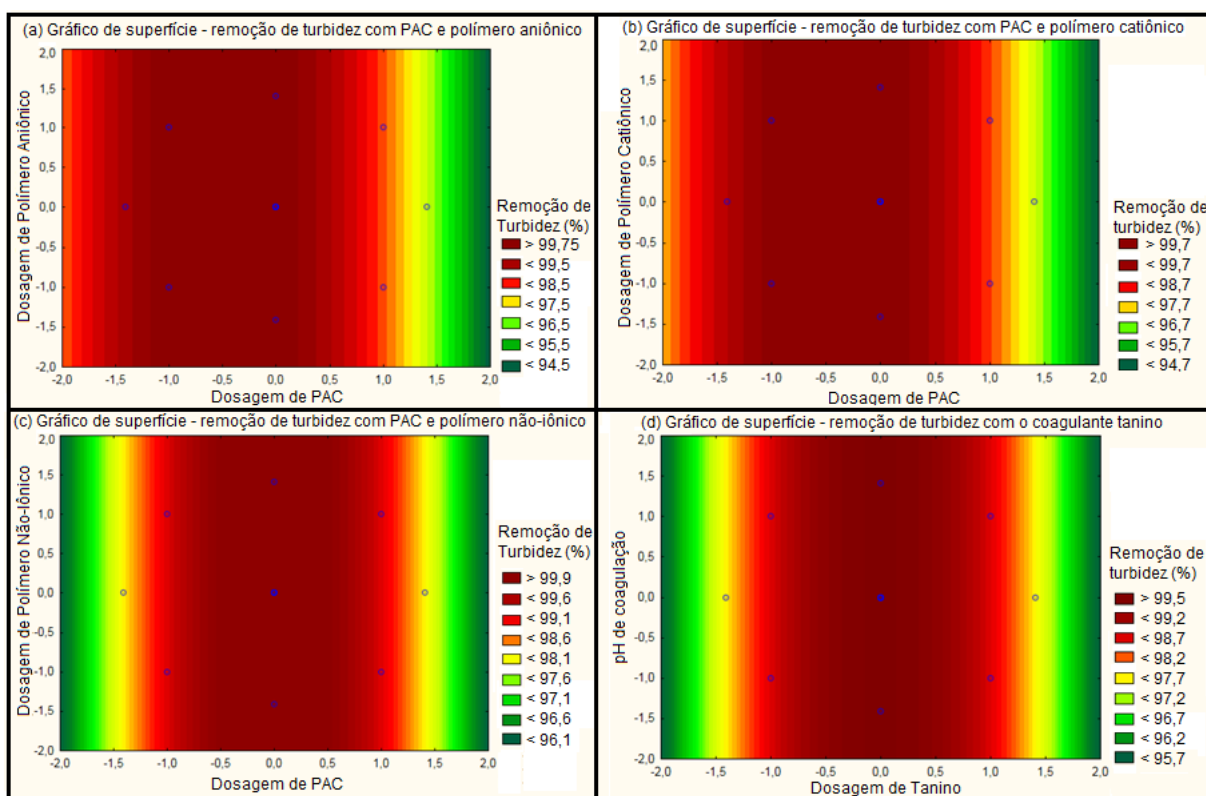
Os resultados obtidos pelo tratamento com o coagulante tanino (remoção de 99,74%) se mostram satisfatórios, já que Dela Justina et al. (2018) para atingir a remoções de 89,4% de turbidez de um efluente utilizaram dosagem de coagulante de 300 mg.L<sup>-1</sup>. Kuo Huang et al. (2019) relatam remover 93,07% da turbidez de um efluente de lavanderia, usando dosagem de 140 mg.L<sup>-1</sup>, enquanto Couto Junior, Barros e Pereira (2013), para remover 99,65% de turbidez de um efluente têxtil, usaram 400 mg.L<sup>-1</sup>.

Desta forma, mesmo que existam diferenças entre os efluentes estudados devido às características físico-químicas de cada um, pode-se afirmar que a dosagem de coagulante utilizado neste estudo para os pontos ótimos possui valores viáveis tecnicamente e economicamente. Mesmo para estudo realizado com efluente similar, as dosagens obtidas por Bordonalli e Mendes (2009) são muito superiores aos valores usuais de Estações de Tratamento de Efluentes (ETEs).

Com o coagulante PAC, Dela Justina et al. (2018) relatam remoções de 81,8% de turbidez com dosagem de 300 mg.L<sup>-1</sup> para o tratamento de águas residuais municipais e Hameed et al. (2016) utilizando dosagem de coagulante de 30 mg.L<sup>-1</sup> atingiram aproximadamente 87% de remoção.

A Figura 80 apresenta os gráficos de curva de nível para remoção de turbidez em que estão incluídos os melhores resultados de tratamento das quatro melhores combinações de variáveis (coagulante, flocculante e pH de coagulação).

**Figura 80** – Gráficos de curvas de nível para remoção de turbidez, no tratamento com (a) PAC e PAN, (b) PAC e PCA, (c) PAC e PNI e (d) coagulante tanino.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelos gráficos pode-se observar que o fator determinante para a remoção de turbidez é a dosagem de coagulante. As dosagens de polímeros não mostraram influências nos resultados do tratamento, se utilizadas entre 1 e 19 mg.L<sup>-1</sup> (aniônico e catiônico) e 5 e 35 mg.L<sup>-1</sup> no caso do não-iônico. A variação do pH de coagulação entre 5,80 e 8,48 também não mostrou significância para o tratamento com o coagulante tanino.

Também foi ajustado um modelo matemático para a remoção de turbidez, apresentado pelo parâmetro de dosagem de coagulante linear (x<sub>1</sub>) e do parâmetro de dosagem de coagulante quadrática (x<sub>1</sub><sup>2</sup>).

Ensaio	Equação	R <sup>2</sup>
(a) PAC + PAN	$y(\text{turbidez}) = 99,96 - 0,92.x_1 - 0,96.x_1^2$	0,56
(b) PAC + PCA	$y(\text{turbidez}) = 100,03 - 0,77.x_1 - 0,95.x_1^2$	0,58
(c) PAC + PNI	$y(\text{turbidez}) = 100,21 - 1,05.x_1^2$	0,51
(d) Tanino	$y(\text{turbidez}) = 99,63 - 1,00.x_1^2$	0,47

Verifica-se pelo  $R^2$  de cada equação que os modelos são capazes de explicar entre 47 e 58% da variabilidade na porcentagem de remoção de turbidez.

## 6.2. REMOÇÃO MÁXIMA DE COR APARENTE

Em relação à cor aparente, podemos observar que os melhores tratamentos também foram encontrados ao combinar o coagulante PAC com os três polímeros floculantes ou ao utilizar o coagulante tanino.

Os coagulantes PAC e cloreto férrico sem inserção de floculantes também apresentaram um bom desempenho de tratamento, chegando à remoção de cor aparente próxima dos 98%, apesar de serem inferiores aos tratamentos com polímeros ou com o coagulante tanino. A Tabela 55 mostra os melhores resultados para cor aparente, obtidos pelas combinações de variáveis utilizadas.

**Tabela 55 – Melhores resultados obtidos para a remoção de cor aparente.**

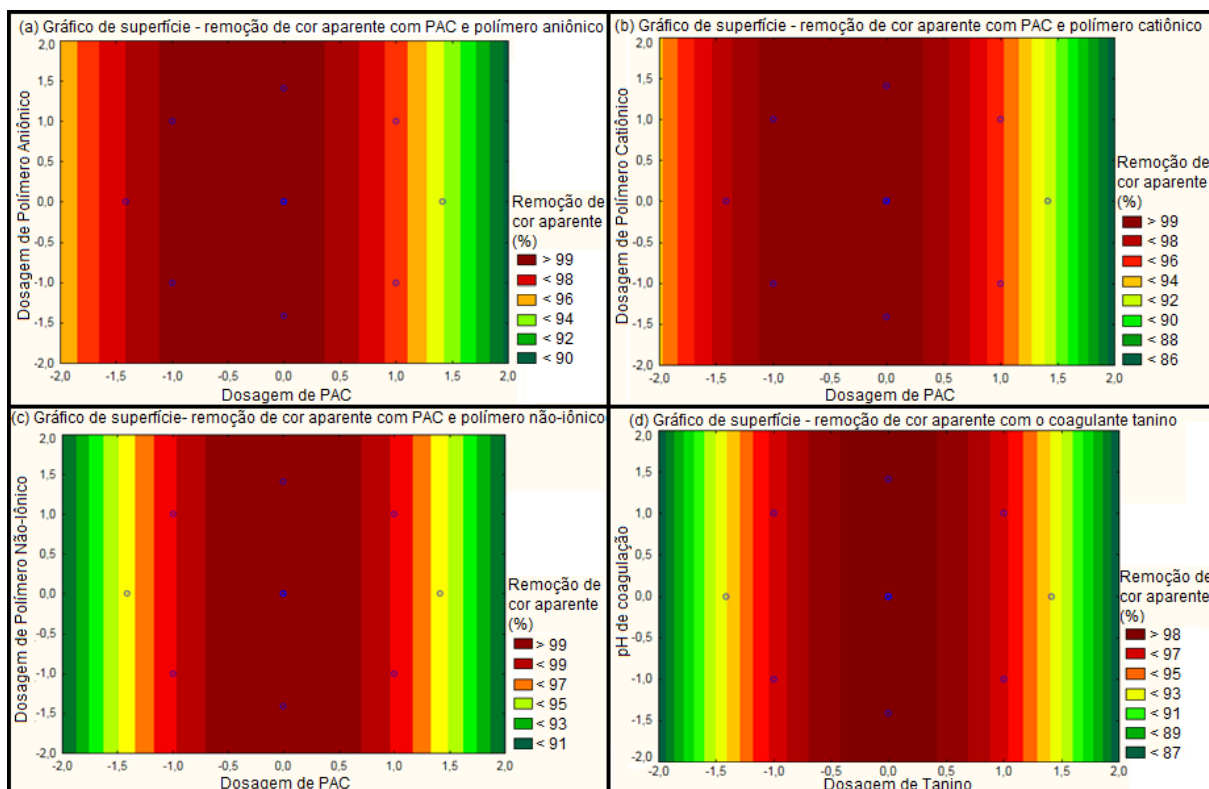
Produto Coagulante	Dosagem (mg.L <sup>-1</sup> )	Polímero Floculante	Dosagem (mg.L <sup>-1</sup> )	pH de coagulação	Remoção (%)	Residual (uH)
PAC	29,12	Não-Iônico	5,00	-	99,87	1,00
Tanino	122,50	-	-	8,09	99,86	1,00
PAC	29,12	Aniônico	10,00	-	99,64	3,00
PAC	29,12	Catiônico	10,00	-	99,61	3,00
PAC	29,12	-	-	7,14	97,90	15,00
FeCl <sub>3</sub>	42,18	-	-	7,14	97,52	20,00

Fonte: Autoria Própria (2019).

Sabendo que o limite de leitura do espectrofotômetro utilizado para a leitura de cor aparente tem a leitura mínima de 1 uH, podemos verificar que o tratamento com o coagulante tanino ou com PAC combinado ao polímero não-iônico atingiram o máximo de remoção de cor aparente possível. O tratamento com os polímeros aniônico ou catiônico também chegaram bem próximos a este resultado, com cor aparente residual de 3 uH. O PAC sem floculantes chegou a marca de 15 uH, enquanto o cloreto férrico foi o coagulante que atingiu o pior resultado final de cor aparente (20 uH).

A Figura 81 apresenta os gráficos de curva de nível para remoção de cor aparente em que estão incluídos os melhores resultados de tratamento das quatro melhores combinações de variáveis.

**Figura 81** – Gráficos de curvas de nível para remoção de cor aparente, no tratamento com (a) PAC e PAN, (b) PAC e PCA, (c) PAC e PNI e (d) coagulante tanino.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Pelos gráficos, verifica-se que para a remoção de cor aparente, a variável importante é a dosagem de coagulante. A variação na dosagem de polímero floculante não apresentou influências significantes para o tratamento, ou seja, ao ser utilizada no intervalo entre 1 e 35 mg.L<sup>-1</sup> os resultados não apresentam grandes diferenças na eficiência de remoção. O mesmo ocorreu ao variar o pH de coagulação nos ensaios com o coagulante tanino.

Os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais obtidos referentes à remoção de cor aparente geraram equações polinomiais de segunda ordem, e são apresentados pelos parâmetros dosagem de coagulante linear (x1) e dosagem de coagulante quadrática (x1<sup>2</sup>).



Ensaio	Equação	R <sup>2</sup>
(a) PAC + PAN	$y(\text{cor aparente}) = 99,76 - 1,37.x_1 - 1,84.x_1^2$	0,64
(b) PAC + PCA	$y(\text{cor aparente}) = 99,94 - 2,10.x_1 - 2,60.x_1^2$	0,69
(c) PAC + PNI	$y(\text{cor aparente}) = 100,18 - 2,34.x_1^2$	0,40
(d) Tanino	$y(\text{cor aparente}) = 99,63 - 3,36.x_1^2$	0,32

Através das equações, verifica-se pelo R<sup>2</sup> que a variabilidade na porcentagem de remoção de cor aparente ficou entre 32 e 69% para os ensaios com tanino ou de PAC com polímero aniônico/catiônico/não-iônico.

Para o tratamento com coagulante tanino ou do coagulante PAC com qualquer polímero floculante, temos que a eficiência de remoção de cor aparente ficou entre 99,63 e 99,87%, valor consideravelmente superior ao atingido por outros pesquisadores, para outros tipos de efluentes. Dela Justina et al. (2018) utilizaram o tanino e o PAC para o tratamento de efluentes de laticínio, atingindo remoções de cor aparente próximas aos 80%. Já para um efluente têxtil, Couto Junior, Barros e Pereira (2013) conseguiram remover 99,17% de cor aparente com o coagulante tanino. Também com o tanino, Kuo Huang et al. (2019) apresentam remoção de 95,44% de cor aparente de um efluente de lavanderia.

Irfan et al. (2017) também verificaram a melhoria do desempenho dos coagulantes cloreto férrico e PAC ao serem combinados com polímeros aniônico e catiônico, para o tratamento de licor preto. A combinação do PAC com polímero aniônico por estes autores resultou em remoções de 88% de cor aparente. Já a combinação do cloreto férrico com PAC ou polímeros apresentou insuficiências na remoção de cor aparente, gerada pelas propriedades do ferro.

Após um processo de desengorduração da semente da moringa, que foi utilizada para o tratamento de águas superficiais com turbidez aproximada de 75 NTU, Feihmann et al. (2017) relatam remoção de cor aparente próxima aos 90%.

Desta forma, mesmo que existam resultados característicos para outros efluentes, pode-se observar valores relativamente altos obtidos neste trabalho para um sistema de tratamento físico-químico similar ao utilizado por outros autores.

### 6.3. REMOÇÃO MÁXIMA DE DQO

A eficiência do tratamento deste efluente pelos processos físico-químicos é confirmada ao analisar a remoção de DQO. Os índices de remoção deste parâmetro ficaram entre 98,76 e 99,58%, e a Tabela 56 mostra os melhores resultados para DQO, obtidos pelas combinações das variáveis pH de coagulação e dosagens de coagulante/floculante utilizadas.

**Tabela 56** – Melhores resultados obtidos para a remoção de DQO.

Produto Coagulante	Dosagem (mg.L <sup>-1</sup> )	Polímero Floculante	Dosagem (mg.L <sup>-1</sup> )	pH de coagulação	Remoção (%)	Residual (mg.L <sup>-1</sup> )
PAC	45,00	Não-lônico	30,61	-	99,58	10,49
Tanino	80,00	-	-	6,90	99,44	11,24
PAC	5,29	Catiônico	10,00	-	99,36	14,24
PAC	13,24	Aniônico	3,64	-	99,28	13,49
PAC	103,24	-	-	6,19	99,25	14,99
FeCl <sub>3</sub>	42,18	-	-	8,48	98,76	20,98

Fonte: Autoria Própria (2019).

Apesar dos bons resultados dos ensaios com cloreto férrico ou pelo PAC sem polímeros floculantes, novamente tem-se a superioridade do tratamento com o coagulante tanino ou do PAC combinado com os polímeros.

Estes índices de remoção de DQO são significativamente satisfatórios, já que considerando todos os ensaios do presente trabalho chegamos à média de remoção de DQO de 97,07%. Usando o coagulante PAC combinado com polieletrólito catiônico, Bordonalli e Mendes (2009) relatam a remoção de DQO média de 66%, (máxima próxima de 90%, com DQO residual de 267 mg.L<sup>-1</sup>), também para o tratamento de efluente de lavagem de plásticos.

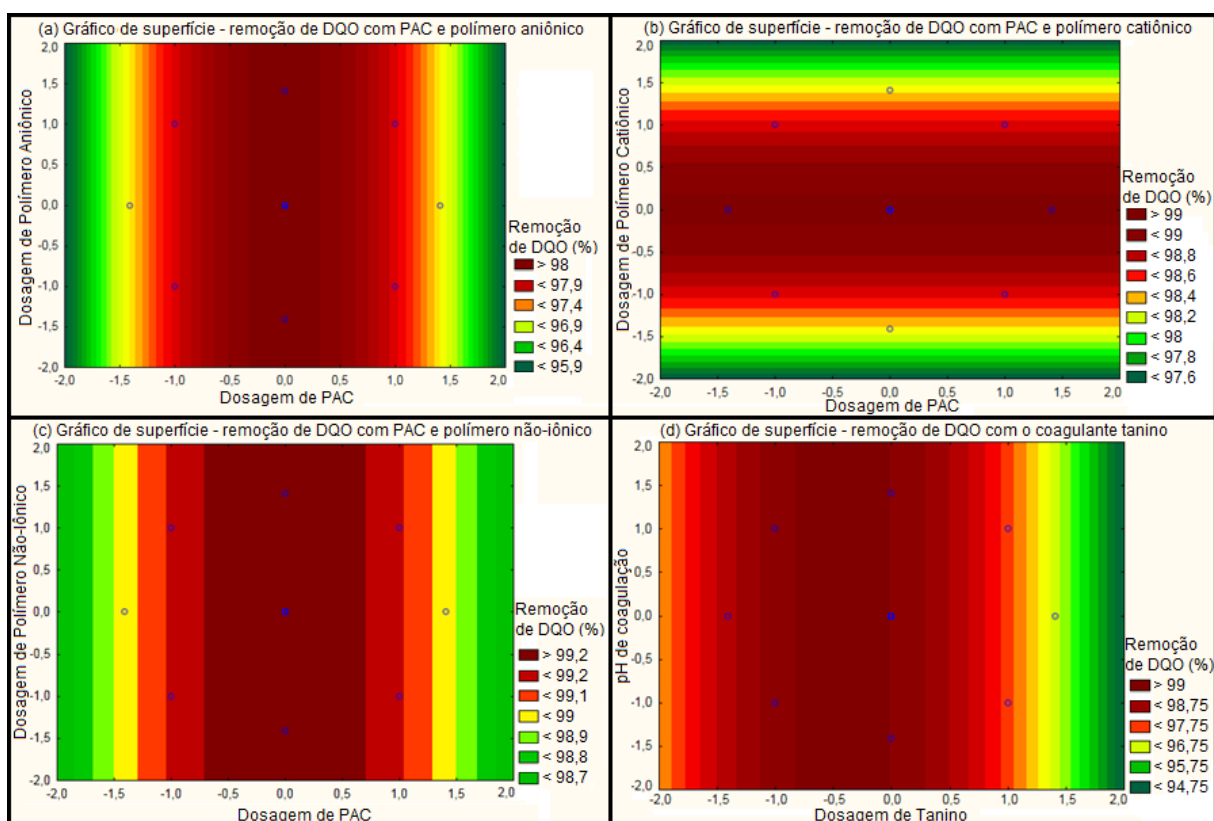
Dela Justina et al. (2018) chegaram a remoções de 41,6% de DQO com o coagulante tanino, enquanto superaram os 50% ao utilizar PAC, no tratamento de efluente de laticínio. Também com o coagulante tanino, Kuo Huang et al. (2019) relatam remover 60% de DQO, para um efluente de lavanderia, valores próximos aos encontrados por Hameed et al. (2016) no tratamento de águas residuais

municipais. Couto Junior, Barros e Pereira (2013) chegaram a resultados de remoção de DQO de um efluente têxtil de 94,81%.

Para a combinação de PAC com polímeros, verificamos que para o tratamento de licor preto, Irfan et al. (2017) relatam atingir a remoção de 78% de DQO. Haydar e Aziz (2009) atingiram remoções de DQO entre 36,2 e 48,3%, e confirmam que a adição dos polímeros floculantes elevou o poder de tratamento de águas residuais de curtume, em relação ao tratamento sem floculantes.

A Figura 82 apresenta os gráficos de curva de nível para remoção de DQO em que estão incluídos os melhores resultados de tratamento das quatro melhores combinações de variáveis.

**Figura 82** – Gráficos de curvas de nível para remoção de DQO, no tratamento com (a) PAC e PAN, (b) PAC e PCA, (c) PAC e PNI e (d) coagulante tanino.



Fonte: Autoria Própria (2019).

Através dos gráficos da Figura 82, verifica-se que para a remoção de DQO, a variável importante é a dosagem de coagulante nos ensaios com tanino, ou ao combinar o PAC com os polímeros aniônico ou não-iônico. Já para os ensaios com o

polímero catiônico, os gráficos refletem que a dosagem de floculante é um parâmetro significativo para a obtenção de resultados ótimos.

Os modelos matemáticos ajustados aos dados experimentais obtidos referentes à remoção de DQO geraram equações polinomiais de segunda ordem, e são apresentados pelos parâmetros dosagem de coagulante linear ( $x_1$ ), dosagem de coagulante quadrática ( $x_1^2$ ) e dosagem de polímero floculante quadrática ( $x_2^2$ ).

Ensaio	Equação	R <sup>2</sup>
(a) PAC + PAN	$y(\text{DQO}) = 98,37 - 0,64.x_1^2$	0,25
(b) PAC + PCA	$y(\text{DQO}) = 99,02 - 0,37.x_2^2$	0,49
(c) PAC + PNI	$y(\text{DQO}) = 99,29 - 0,17.x_1^2$	0,24
(d) Tanino	$y(\text{DQO}) = 99,00 - 0,63.x_1 - 0,75.x_1^2$	0,56

Verifica-se pelo R<sup>2</sup> de cada equação que os modelos são capazes de explicar entre 24 e 56% da variabilidade na porcentagem de remoção de DQO.

#### 6.4. REMOÇÃO DE OUTROS PARÂMETROS

Sabendo que Bordonalli e Mendes (2009) também realizaram o tratamento de um efluente proveniente do processo de lavagem de plástico destinado a reciclagem, tem-se na Tabela 57 o comparativo dos resultados de sólidos totais e suspensos do presente trabalho com os relatados por estes autores.

**Tabela 57** – Comparativo da remoção de sólidos totais e suspensos do presente trabalho com os relatados por um artigo técnico de efluente semelhante.

Parâmetro	Presente trabalho (2019)			Bordonalli e Mendes (2009)
	Mínima	Média	Máxima	Média
Remoção				
ST (%)	84,67	86,78	89,86	33,77
STV (%)	90,72	93,82	96,75	56,99
STF (%)	40,96	50,92	54,61	24,19
SST (%)	98,14	99,18	99,85	71,14
SSV (%)	98,75	99,45	99,83	66,12
SSF (%)	88,14	95,73	100,00	73,38

Fonte: Autoria Própria (2019).

Verifica-se pela Tabela 57 os altos percentuais de remoção de sólidos obtidos pelo presente trabalho em relação a um artigo que trabalhou com um efluente proveniente de uma indústria de reciclagem de plástico. Apesar de serem efluentes de processos industriais semelhantes, as características podem ser totalmente diferentes, já que o efluente estudado pelos pesquisadores Bordonalli e Mendes (2009) poderia receber embalagens de diversas origens, incluindo embalagens de óleo lubrificante, enquanto neste trabalho, o plástico a ser reciclado passava por um processo de coleta mais seletivo.

Apesar de tratarem efluentes diferentes, também podemos verificar outros estudos, como os de Haydar e Aziz (2009) ou de Irfan et al. (2017) que relatam remoções de sólidos suspensos totais entre 93 e 96%.

Em relação à condutividade, os resultados obtidos no presente trabalho condizem com o esperado, com um leve aumento do efluente tratado em relação ao bruto, semelhante ao relatado por Bordonalli e Mendes (2009).

## 6.5. COMPARATIVO COM LIMITES DE DESCARTE E REÚSO

Pelos resultados obtidos, pode-se observar que todos os coagulantes estudados nos pontos ótimos, possuem valores adequados perante as principais regulamentações que limitam turbidez, cor aparente e DQO para lançamento em corpos hídricos, fator de importante para evitar a degradação natural e o recebimento de multas por parte dos órgãos fiscalizadores.

A Resolução 357 da CONAMA (2005) indica os limites de classe 2 para lançamentos incluindo turbidez inferior a 100 NTU, cor aparente até 75 uH, pH entre 6 e 9, fósforo total até  $0,050 \text{ mg.L}^{-1}$ , sólidos dissolvidos totais até  $500 \text{ mg.L}^{-1}$  e a ausência virtual de materiais flutuantes, óleos, graxas, comunicadores de cor e odor, corantes e resíduos sólidos objetáveis. A Resolução 430 (2011) indica que poderá ser lançado nos corpos receptores efluentes com pH entre 5 e 9, com temperatura inferior a  $40^\circ \text{ C}$  e sem materiais flutuantes.

A CETESB, através do Decreto 8468 (1976) determina que o lançamento de efluentes na rede de esgoto só poderá ser realizado se tiver com pH entre 6 e 9, temperatura inferior a  $40^\circ \text{ C}$ , materiais sedimentáveis até  $20 \text{ ml.L}^{-1}$  e ausentes de óleos, graxas, solventes, gasolina ou substâncias explosivas.

Desta maneira, verifica-se o atendimento com folgas do presente efluente, já que a turbidez dos ensaios nos pontos ótimos ficou entre 1 e 15,7 NTU. Para cor aparente nos pontos ótimos os resultados ficaram entre 1 e 33 uH, e o pH dos efluentes entre 6,08 e 6,85.

A NBR 13969 (1997) recomenda o lançamento de efluentes nas galerias pluviais apenas em situações em que a DQO for inferior a 150 mg.L<sup>-1</sup>. A SEMA através da Resolução 21 (2009) estabelece o limite de DQO de 225 mg.L<sup>-1</sup> para o lançamento em corpos de água, enquanto DQO dos efluentes nos pontos ótimos ficou entre 122,29 e 135,56 mg.L<sup>-1</sup>.

Não existem regulamentações específicas quanto à qualidade necessária para a água residuária tratada ser aplicada no reúso, em processos industriais específicos, como é o caso da lavagem de plástico.

Verifica-se que o padrão de turbidez para água potável definido pelo Ministério de Estado da Saúde (Portaria 2914, 2011) em processos de desinfecção ou filtração lenta é de 1 NTU para 95% das amostras, com limite máximo de 5 NTU para qualquer amostra pontual. Para cor aparente, o valor máximo permitido é de 15 uH. Em relação aos sólidos dissolvidos totais, o limite é de 1000 mg.L<sup>-1</sup>.

A NBR 13969 (1997) determina que o reúso para as classes 1 (contato direto do usuário) deve ter uma água com turbidez inferior a 5 NTU, pH entre 6 e 9 e menos de 200 mg.L<sup>-1</sup> de sólidos dissolvidos. Recomenda-se também um manual de operação e treinamento dos responsáveis pelo reúso.

O Manual de Conservação e Reúso de Águas (ANA, 2005) também indica que a água residuária que for ter contato direto dos usuários deve atender a parâmetros mais rigorosos (como turbidez inferior a 2 NTU, cor aparente inferior a 10 uH, menos de 500 mg.L<sup>-1</sup> de sólidos dissolvidos e outros).

Entretanto, para outros usos (classe 2, para processos de construção civil) sequer limitam valores para turbidez, cor aparente e DQO, ou seja, como tais processos não requerem uma água de alta pureza, o nível da qualidade da água exigido é reduzido consideravelmente. Para o reúso da água em torres de resfriamento, destaca-se a recomendação de utilização de água com DQO inferior a 75 mg.L<sup>-1</sup>, sólidos dissolvidos inferior a 5000 mg.L<sup>-1</sup> e pH entre 5 e 8,3.

Sendo assim, como o processo de lavagem de plásticos é mecanizado, onde não temos contato humano direto com os efluentes, os resultados obtidos (turbidez entre 1 e 15,7 NTU, DQO entre 122,29 e 135,56 mg.L<sup>-1</sup>, pH entre 6,08 e 6,85 e cor

aparente entre 1 e 33 uH para os ensaios nos pontos ótimos) se mostram satisfatórios para sistemas de tratamento com reúso de água. Também deve-se observar a quantidade reduzida de experimentos realizados nos pontos ótimos perante o restante do trabalho (vide resultados dos capítulos 5.1 e 5.2), onde a turbidez mínima chegou a atingir 0,10 NTU, cor aparente 1 uH e DQO 10,49 mg.L<sup>-1</sup>.

Nestes sistemas de tratamento, deve-se analisar a capacidade de saturação do efluente, ou seja, quantos ciclos de tratamento o mesmo admite antes de perder a sua eficiência inicial.

Porém, pode-se definir de forma temporal quantos ciclos devem ser realizados antes de executar uma operação de purga ou uma operação de acréscimo de água limpa no sistema.

Também seria possível sugerir que após a lavagem com água residuária tratada, seja aplicada uma lavagem final com a água adquirida da companhia de saneamento. Desta maneira, o efluente tratado seria responsável pela limpeza mais grosseira do plástico, enquanto a água limpa só entraria em contato com o mesmo após a eliminação das principais fontes de poluição.

Bordonalli e Mendes (2009) relatam que os processos de lavagem de plástico não requerem uma água de alta qualidade, e desta forma, os processos de reúso se mostram como alternativas interessantes para evitar gastos financeiros e pela preservação do meio ambiente.

Em relação à quantidade de produtos necessária para o tratamento, verifica-se pelas determinações de trabalho nos pontos ótimos que o tratamento com polímero catiônico (3,5 mg.L<sup>-1</sup>) é o que exige a menor quantidade de coagulante (25 mg Al.L<sup>-1</sup> de PAC), seguido pelo tratamento com 3,0 mg.L<sup>-1</sup> de polímero não-iônico (30 mg Al.L<sup>-1</sup> de PAC) e com 4,0 mg.L<sup>-1</sup> polímero aniônico (35 mg Al.L<sup>-1</sup> de PAC). Os resultados com menor eficiência nesse quesito de quantidade ficaram com o cloreto férrico (40 mg Fe.L<sup>-1</sup>) e o tanino (80 mg.L<sup>-1</sup>).

Apesar da quantidade de coagulante necessária para o tratamento ser desfavorável para o coagulante orgânico tanino, já que maiores dosagens levam a maiores gastos, deve-se considerar que a disposição do lodo produzido com sais de alumínio também apresenta maiores gastos. Sendo assim, o tanino pode se mostrar financeiramente viável em determinadas ocasiões, já que o lodo proveniente do tratamento com este coagulante poderia ser disposto de forma mais adequada.

## 7. CONCLUSÕES

Com base nas análises realizadas nos efluentes das duas coletas, podemos observar que o efluente proveniente de processos de lavagem em uma indústria de reciclagem de plásticos pode apresentar uma grande variação dos parâmetros físico-químicos, dependendo da quantidade de ciclos de lavagem em que é submetido e do estado em que cada lote de plástico lavado possui, podendo conter uma variação quanto aos sólidos e materiais orgânicos incrustados.

Independente das características físico-químicas do efluente estudado, os processos de coagulação, floculação e sedimentação se mostraram eficientes para o tratamento em relação a valores de remoção e de parâmetros de legislação.

A escolha do método DCCR reduziu a quantidade de ensaios necessários e possibilitou a descoberta dos pontos ótimos de trabalho de cada coagulante, floculante e pH de coagulação. Também, mostrou-se adequada para análise realizada neste trabalho.

A combinação do coagulante PAC com polímeros resultou em baixas dosagens deste coagulante (entre 25 e 35 mg.L<sup>-1</sup>), enquanto a utilização de coagulantes sem auxiliares de floculação acabou requerendo dosagens com valores superiores (de 40 a 80 mg.L<sup>-1</sup>).

Também se verificou que aumentar as dosagens de coagulante nem sempre resulta em resultados melhores de tratamento, ou seja, sobredoses podem influenciar negativamente no resultado do processo (vide a maioria dos resultados presentes nas tabelas dos capítulos 5.1 e 5.2).

Ao utilizar as variáveis nas faixas ótimas, todas as combinações de coagulantes, floculantes e pH de coagulação utilizadas chegaram a eficiências satisfatórias de remoção de turbidez (remoções entre 98,54 e 99,91%, que equivalem a 1,0 e 15,7 NTU residual), cor aparente (de 98,66 a 99,96% de remoção ou de 1 a 33 uH residual) e DQO (remoção variando entre 77,55 e 79,75%, com residual entre 122,29 e 135,56 mg.L<sup>-1</sup>).

Considerando-se todos os ensaios realizados para o tratamento dos efluentes das duas coletas (apresentados nos capítulos 5.1 e 5.2), os resultados são ainda superiores, já que atingiu-se 99,97% de remoção de turbidez (0,10 NTU residual, que é a leitura mínima do turbidímetro utilizado), 99,87% de remoção de cor



aparente (1 uH, que também é a leitura mínima do espectrofotômetro utilizado) e 99,58% de remoção de DQO (10,49 mg.L<sup>-1</sup> residual).

Estes resultados propiciam a conclusão de que este tipo de efluente possui tratabilidade por processos físico-químicos e que a escolha do coagulante ideal neste estudo pode ser realizada levando em conta os aspectos financeiros e ambientais.

Como o coagulante tanino é um polímero orgânico, que gera um lodo biodegradável, podemos concluir que se trata de uma opção interessante para o efluente da lavagem de plásticos, apesar de exigir maiores dosagens de coagulante. Além de ser ambientalmente mais sustentável, a redução dos gastos na disposição final do lodo podem torná-lo compatível financeiramente com os coagulantes convencionais.

Os resultados obtidos pelo coagulante cloreto férrico foram consideravelmente inferiores aos atingidos pela combinação de PAC com floculantes ou pelo coagulante tanino.

Os melhores resultados relativos à eficiência global de tratamento (remoções de turbidez, cor aparente e DQO) foram obtidos usando o PAC como coagulante combinado com um dos polímeros floculantes (aniônico, catiônico ou não-iônico), entretanto o coagulante tanino chegou a percentuais de remoções próximos aos destes produtos inorgânicos.

Os resultados gerais obtidos pelo uso de tanino e de PAC com auxílio de floculantes (polímeros sintéticos) apresentaram valores de concentração que atendem aos principais parâmetros limites nacionais e estaduais de padrão de lançamento em leitos hídricos, redes pluviais ou de esgoto.

Como não existem resoluções específicas que regulamentem o reúso do efluente tratado nos processos de lavagem, sugere-se o tratamento estudado como forma de viabilizar o reúso de água no sistema de lavagem de plásticos oriundos de coleta para reciclagem.

A análise do comportamento físico-químico do efluente após ciclos de tratamento e reuso irá determinar a frequência de operação de purga e de inserção de água limpa no sistema de lavagem de plástico.

## REFERÊNCIAS

- ABRELPE (Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais). *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2015*. São Paulo: 2015. 91 p.
- ADAPA, S. Factors influencing consumption and anti-consumption of recycled water: Evidence from Australia. **Journal of Cleaner Production**. v. 201. 2018. p. 624-635.
- ANA. **Conservação e Reúso de água em Edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica. 2005. 151 p. Disponível em: < <http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/conservacao-e-reuso-de-aguas-em-edificacoes-2005/>>. Acesso em 10/05/2019.
- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 23. ed. Washington: APHA; American Water Works Association (AWWA); Water Environment Federation (WEF). 2017. 1504 p.
- ARISMENDI, W. A. et al. Modified tannins and their application in wastewater treatment. **Water Science and Technology**. v. 78. 2018. p. 1115-1128.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 9898**: Preservação e técnicas de amostragem de efluentes líquidos e corpos receptores - Procedimento. Rio de Janeiro: 1997. 22 p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **NBR 13969**: Tanques sépticos - Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos - Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro: 1997. 60 p.
- BARTIKO, D.; DE JULIO, M. Construção e emprego de diagramas de coagulação como ferramenta para o monitoramento contínuo da floculação em águas de abastecimento. **Revista Ambiente e Água**. v. 10. 2015. p. 71-81.
- BELTRAN-HEREDIA, J.; SANCHEZ-MARTÍN, J. Municipal wastewater treatment by modified tannin flocculant agent. **Desalination**. v. 249. 2009. p. 353-358.
- BENN, F. A. et al. Sedimentation and consolidation of different density aggregates formed by polymer-bridging flocculation. **Chemical Engineering Science**. v. 184. 2018. p. 111-125.
- BORDONALLI, A. C. O. **Reúso de água em indústria de reciclagem de embalagens plásticas: aspectos econômicos e ambientais em modelo de escala real**. Tese apresentada para obtenção do título de Doutor na Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da Unicamp. Campinas: 2007. 198 p.
- BORDONALLI, A. C. O.; MENDES, C. G. N. Reúso de água em indústria de reciclagem de plástico tipo PEAD. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 14. 2009. p. 235-244.
- BRASIL. Ministério de Estado da Saúde. **PORTARIA Nº 2.914, DE 12 DE DEZEMBRO DE 2011**: Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da

qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. 2011. 34 p. Disponível em: <[http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp\\_doctos/PortariaMS291412122011.pdf](http://site.sabesp.com.br/site/uploads/file/asabesp_doctos/PortariaMS291412122011.pdf)>. Acesso em: 05/04/2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) **Resolução CONAMA Nº 357**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. 2005. p. 58-63. Disponível em: <[www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf](http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf)>. Acesso: 18/02/2019.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA) **Resolução CONAMA Nº 430**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. 2011. 9 p. Disponível em: <<http://www2.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>>. Acesso: 18/02/2019.

CAMPOS, S. X.; DI BERNARDO, L.; VIEIRA, E. M. Influência das características das substâncias húmicas na eficiência da coagulação com sulfato de alumínio. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 10. 2005. p. 194-199.

CETESB. **DECRETO Nº 8.468, de 08 DE SETEMBRO DE 1976**: dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente. CETESB; São Paulo: 1976. 76 p.

CETESB. **Guia nacional de coleta e preservação de amostras: água, sedimento, comunidades aquáticas e efluentes líquidos**. São Paulo: CETESB; Brasília: ANA, 2011. 326 p.

CHEN, F. et al. Investigation of colloidal biogenic sulfur flocculation: Optimization using response surface analysis. **Journal of Environmental Sciences (China)**. v. 42. 2015. p. 227-235.

CIMIL - Comércio e Indústria de Minérios Ltda. **Ficha de Informações de Segurança de Produtos Químicos – FISPQ**. Lavrinhas: 2010. 7 p.

COUTO JUNIOR, O. M.; BARROS, M. A. S. D.; PEREIRA, N. C. Study on coagulation and flocculation for treating effluents of textile industry. **Acta Scientiarum. Technology**. v. 35. 2013. p. 83-88.

DELA JUSTINA, M. et al. Using vegetable tannin and polyaluminium chloride as coagulants for dairy wastewater treatment: A comparative study. **Journal of Water Process Engineering**. v. 25. 2018. p. 173-181.

DE JULIO, M. et al. Avaliação da Remoção de Cianobactérias e Saxitoxinas da água bruta afluente a ETA Pitangui de Ponta Grossa/PR, utilizando os diagramas de coagulação para o cloreto férrico e o reagente de Fenton. **Holos Environment**. v. 9. 2009. p. 254-273.

DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. D. **Métodos e técnicas de tratamento de água**. 2 ed. São Carlos: RIMA, 2005. 1566 p.

DND Química. **Boletim técnico – PAD 0021 – Polímero Aniônico**. Barrinha: 2016a. rev. 04. 2 p.

DND Química. **Boletim técnico – PAD 0042 – Polímero Catiônico**. Barrinha: 2016b. rev. 04. 2 p.

DND Química. **Boletim técnico – PCA 2701 – Coagulante Inorgânico**. Barrinha: 2015a. rev. 03. 1 p.

DND Química. **Boletim técnico – PCA 2703 – Coagulante Inorgânico**. Barrinha: 2015b. rev. 00. 1 p.

FEIHRMANN, A. C. et al. Evaluation of Coagulation/ Flocculation Process for Water Treatment using Defatted Cake from Moringa oleifera. **Chemical Engineering Transactions**. v. 57. 2017. p. 1543-1548.

FELICI, E. M. et al. Remoção de carga orgânica recalcitrante de lixiviado de resíduos sólidos urbanos pré-tratado biologicamente por coagulação química-floculação-sedimentação. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 18. 2013. p. 177-184.

FERRARI-LIMA, A.M. et al. Photodegradation of petrol station wastewater after coagulation/flocculation with tannin-based coagulant. **Catalysis Today**. v. 209. 2012. p. 79-83.

FILHO, S. S. F.; MARGUTI, A. L.; PIVELI, R. P. Produção de lodo e comportamento químico de sais de ferro empregados no pós-tratamento de esgoto sanitário por precipitação química. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 14. 2009. p. 49-58.

FILHO, S. S. F.; WAELKENS, B. E. Minimização da produção de lodo no tratamento de águas de abastecimento mediante uso do cloreto de polialumínio e sua disposição em estações de tratamento de esgotos. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 14. 2009. p. 317-326.

GITIS, V.; HANKINS, N. Water treatment chemicals: Trends and challenges. **Journal of Water Process Engineering**. v. 25. 2018. p. 34-38.

HAMEED, Y. T. et al. A tannin-based agent for coagulation and flocculation of municipal wastewater: Chemical composition, performance assessment compared to Polyaluminum chloride, and application in a pilot plant. **Journal of Environmental Management**. v. 184. 2016. p. 494-503.

HAYDAR, S.; AZIZ, J. A. Coagulation–flocculation studies of tannery wastewater using combination of alum with cationic and anionic polymers. **Journal of Hazardous Materials**. v. 168. 2009. p. 1035-1040.

HELLER, L; PÁDUA, V. L. **Abastecimento de água para consumo humano**. 1. ed. Minas Gerais: UFMG, 2006. 854 p.

HESPANHOL, I. Potencial de Reúso de Água no Brasil – Agricultura, Indústria, Municípios e Recarga de Aquíferos. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 07. 2002. p. 75-95.

HESPANHOL, I. et al. **Manual de Conservação e Reúso de água na Indústria**. 1. ed. Rio de Janeiro: DIM, 2006. 28 p.

IRFAN, M. et al. The removal of COD, TSS and colour of black liquor by coagulation–flocculation process at optimized pH, settling and dosing rate. **Arabian Journal of Chemistry**. v. 10. 2017. p. S2307-S2318.

JUNIOR, L. R. N.; ABREU, F. O. M. S. Produtos Naturais Utilizados como Coagulantes e Floculantes para Tratamento de Águas: Uma Revisão sobre Benefícios e Potencialidades. **Revista Virtual de Química**. Niterói, v. 10. 2018. 27 p.

KAWAHIGASHI, F. et al. Pós-tratamento de lixiviado de aterro sanitário com carvão ativado. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v. 19. 2014. p. 235-244.

KAZA, S. et al. What a Waste 2.0: A Global Snapshot of Solid Waste Management to 2050. Urban Development. Washington, DC: World Bank. 2018. 274 p.

KUO HUANG, A. et al. Sequential process of coagulation/flocculation/sedimentation-adsorption - microfiltration for laundry effluent treatment. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v. 103226. 2019. 7 p.

LIKOSOVA, E. M. et al. A novel electrochemical process for the recovery and recycling of ferric chloride from precipitation sludge. **Water Research**. v. 51. 2014. p. 96-103.

LOGANATHAN, K.; SATHTHASIVAM, J.; SARP, S. Removal of microalgae from seawater using chitosan-alum/ferric chloride dual coagulations. **Desalination**. v. 433. 2018. p 25-32.

LOPES, E. C. et al. Evaluation of a tannin-based coagulant on the decolorization of synthetic effluents. **Journal of Environmental Chemical Engineering**. v. 103125. 2019. 8 p.

LOPES, F. A. et al. Produção de coagulante cloreto férrico a partir de óxido de ferro III gerado no processo de ustulação da pirita presente em rejeitos de mineração de carvão. In: **XXVI Encontro Nacional de Tratamento de Minérios e Metalurgia Extrativa**. Poços de Caldas. 2015. 9 p.

MACÊDO, J. A. B. **Métodos Laboratoriais de Análises Físico-Químicas e Microbiológicas**. 4 ed. Belo Horizonte: Macêdo, 2013. 1056 p.

NAN, J. et al. Effect of the micro-flocculation stage on the flocculation/sedimentation process: The role of shear rate. **Science of the Total Environment**. v. 633. 2018. p. 1183-1191.

PARANÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente (CEMA). **Resolução Nº 70/2009 - CEMA**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios e dá outras providências, para Empreendimentos Industriais. 2009. 15 p.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA). **Resolução Nº 21/09 - SEMA**. Dispõe sobre licenciamento ambiental, estabelece condições e padrões ambientais e dá outras providências, para empreendimentos de saneamento. 2009. 32 p.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMA). **Resolução SEMA Nº 021/2011**. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios para Postos de combustíveis e/ou Sistemas Retalhistas de Combustíveis. 2011. 50 p.

PLÁSTICS EUROPE. **Plastics – the facts 2017**: An analysis of European plastics production, demand and waste data. 2018. 44 p. Disponível em: <[https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics\\_the\\_facts\\_2017\\_FINAL\\_for\\_website\\_one\\_page.pdf](https://www.plasticseurope.org/application/files/5715/1717/4180/Plastics_the_facts_2017_FINAL_for_website_one_page.pdf)>. Acesso em: 06/08/2019.

PUREWATER CONTROLE DE EFLUENTES LTDA. **Laudo de Análise AQUA 230**. São Paulo: 2018. 1 p. Acesso 01/10/2018. Laudo enviado por e-mail pelo fabricante.

RICHTER, C. A. **Água: métodos e tecnologia de tratamento**. São Paulo: Blucher, 2009. 352 p.

SCHOLZ, M. **Wetlands for Water Pollution Control**. 2. ed. Amsterdam: Elsevier Science, 2015. 556 p.

SCHWEITZER, L.; NOBLET, J. Water Contamination and Pollution. **Green Chemistry**. ch. 3.6. 2018. p. 261-290.

SIMATE, G. S. et al. The heterogeneous coagulation and flocculation of brewery wastewater using carbon nanotubes. **Water Research**. v. 46. 2012. p. 1185-1197.

STANBURY, P. F.; WHITAKER, A.; HALL, S. J. Effluent treatment. **Principles of Fermentation Technology**. ch. 11. 2017. p. 687-723.

SUN, C.; REN, L. Assessing crop yield and crop water productivity and optimizing irrigation scheduling of winter wheat and summer maize in the Haihe Plain using SWAT model. **Hydrol. Process**. v. 28. 2014. p. 2478-2498.

SUN, S. et al. Effects of epichlorohydrin–dimethylamine on coagulation and membrane performance of ferric chloride in coagulation–ultrafiltration hybrid process. **Chemical Engineering Journal**. v. 280. 2015. p. 634-642.

TANAC. **TANFLOC SG**. Montenegro: S/D. rev. AN0413. 2 p. Disponível em: <[http://www.tanac.com.br/sites/default/files/CT\\_TANFLOC\\_SG\\_PT\\_0.pdf](http://www.tanac.com.br/sites/default/files/CT_TANFLOC_SG_PT_0.pdf)>. Acesso: 10/09/2018.

VAZ, L. G. L. et al. Avaliação da eficiência de diferentes agentes coagulantes na remoção de cor e turbidez em efluente de galvanoplastia. **Eclética Química**. v. 35. 2010. p. 45-54.

WHO. **Health guidelines for the use of wastewater in agriculture and aquaculture**. World Health Organization: Geneva, 1989. 187 p.

WU, Z. et al. Study on the quantification method of water pollution ecological compensation standard based on emergy theory. **Ecological Indicators**. v. 92. 2018. p. 189-194.

ZANETI, R. N.; ETCHEPARE, R.; RUBIO, J. Car wash wastewater treatment and water reuse – a case study. **Water Science and Technology**. v. 67. 2013. p. 82-88.

ZHAOYANG, S. et al. Coagulation of surface water: Observations on the significance of biopolymers. **Water Research**. v. 126. 2017. p. 144-152.

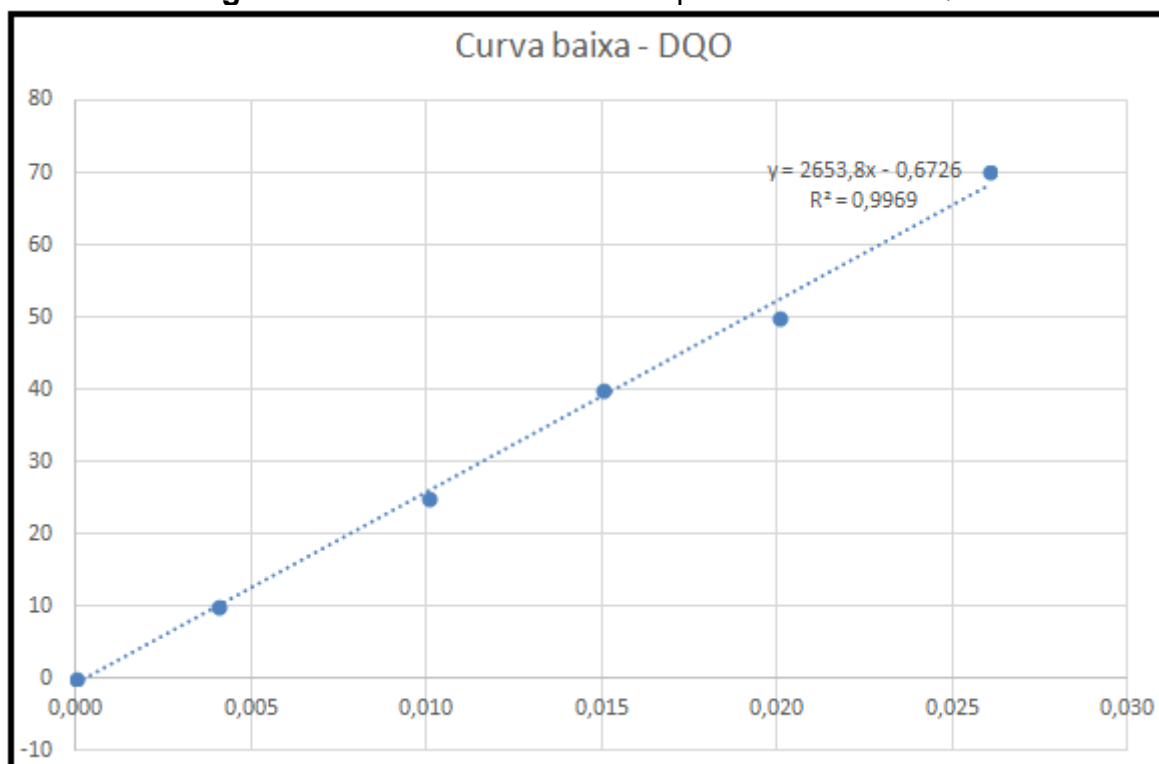
## ANEXO A – CURVAS DE LEITURA DE DQO

As Figuras 83, 84 e 85 ilustram as curvas ajustadas para as leituras de DQO no aparelho espectrofotômetro (DR 2800). Para a construção das curvas de leitura, foram realizadas amostras brancas em triplicata, seguindo os padrões da APHA (2017).

A explicação para a realização de três curvas de leitura de DQO se explica pela quantidade de ensaios realizados e devido a o fato de poucos ensaios apresentarem possibilidade de atingir DQO inferior a 80. Sendo assim sobrou solução de leitura para a curva baixa, e faltou solução para a leitura das amostras de curva alta, com a conseqüente necessidade de fazer uma nova curva alta durante a realização dos ensaios.

A Figura 83 apresenta o gráfico com a curva baixa (utilizada para medir DQO entre 0 e 80), com  $R^2$  atingindo o valor de 0,9969.

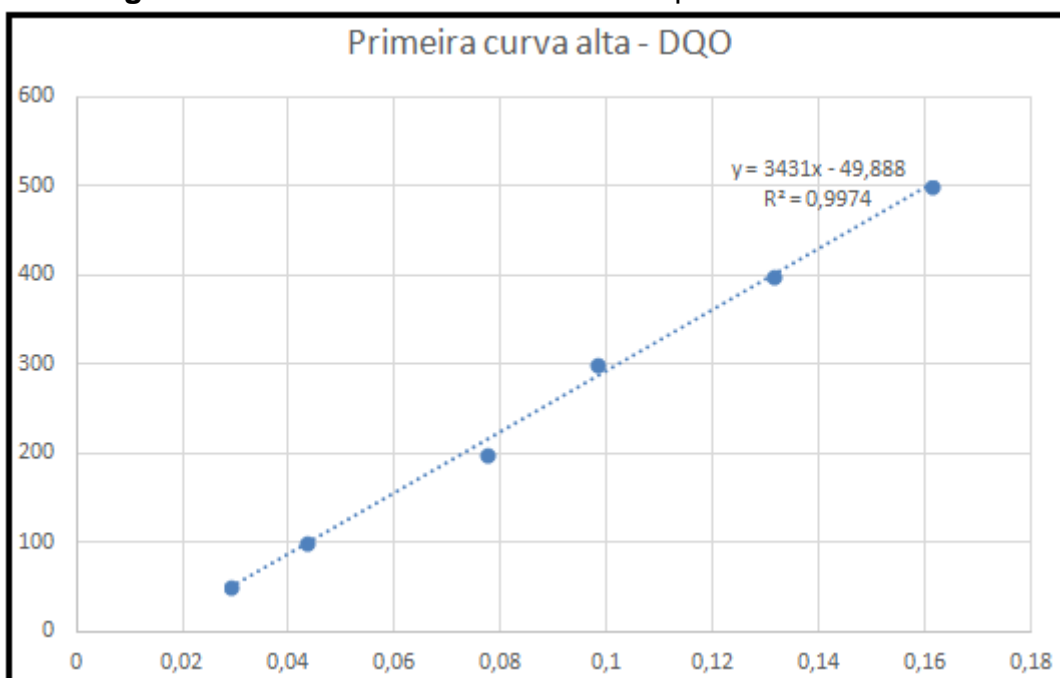
**Figura 83** – Curva baixa utilizada para calculo de DQO.



Fonte: Autoria Própria (2019).

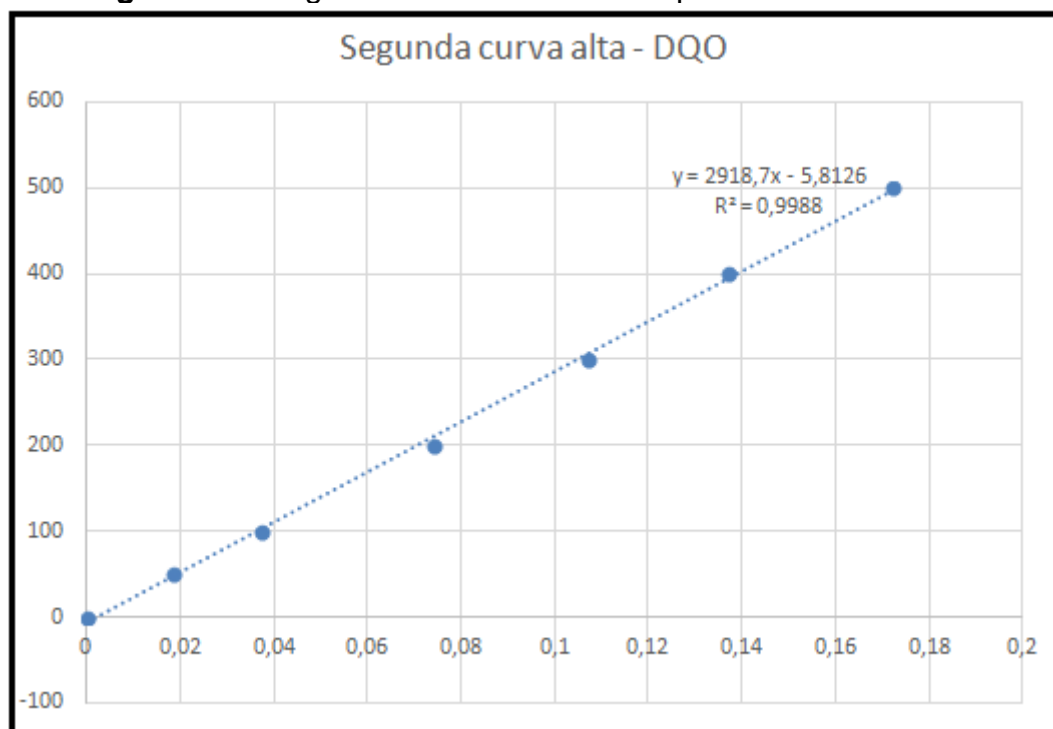
A Figura 84 apresenta o gráfico com a primeira curva alta (utilizada para medir DQO acima de 80), com  $R^2$  atingindo o valor de 0,9974.



**Figura 84** – Primeira curva alta utilizada para calculo de DQO.

Fonte: Aatoria Própria (2019).

A Figura 85 apresenta o gráfico com a segunda curva alta (utilizada para medir DQO acima de 80), com  $R^2$  atingindo o valor de 0,9988.

**Figura 85** – Segunda curva alta utilizada para calculo de DQO.

Fonte: Aatoria Própria (2019).

## ANEXO B – EQUAÇÕES DOS GRÁFICOS DE CURVAS DE NÍVEL

**Tabela 58** – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e PAN (1ª coleta).

Variável	Equação	F-valor	R <sup>2</sup>
Turbidez 10 min	$y = 98,61 - 1,70.x_1$	5,55	0,36
Turbidez 30 min	$y = 99,96 - 0,92.x_1 - 0,96.x_1^2$	5,62	0,56
Cor aparente 10 min	$y = 99,52 - 1,94.x_1$	3,92	0,28
Cor aparente 30 min	$y = 99,76 - 1,37.x_1 - 1,84.x_1^2$	7,97	0,64
DQO 10 min	$y = 98,00 - 0,47.x_1$	2,61	0,21
DQO 30 min	$y = 98,37 - 0,64.x_1^2$	3,33	0,25

Onde  $x_1$  = Dosagem de PAC e  $x_2$  = Dosagem de Polímero Aniônico.  
Fonte: Autoria Própria (2019).

**Tabela 59** – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e PCA (1ª coleta).

Variável	Equação de remoção (%)	F-valor	R <sup>2</sup>
Turbidez 10 min	$y = 100,20 - 1,31.x_1 - 1,45.x_1^2$	6,06	0,57
Turbidez 30 min	$y = 100,03 - 0,77.x_1 - 0,95.x_1^2$	6,26	0,58
Cor aparente 10 min	$y = 99,92 - 2,31.x_1 - 2,71.x_1^2$	8,93	0,67
Cor aparente 30 min	$y = 99,94 - 2,10.x_1 - 2,60.x_1^2$	10,09	0,69
DQO 10 min	$y = 99,07 - 1,14.x_2^2$	4,45	0,31
DQO 30 min	$y = 99,02 - 0,37.x_2^2$	9,70	0,49

Onde  $x_1$  = Dosagem de PAC e  $x_2$  = Dosagem de Polímero Catiônico.  
Fonte: Autoria Própria (2019).

**Tabela 60** – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e PNI (1ª coleta).

Variável	Equação de remoção (%)	F-valor	R <sup>2</sup>
Turbidez 10 min	$y = 100,39 - 1,21.x_1 - 1,86.x_1^2$	7,71	0,63
Turbidez 30 min	$y = 100,21 - 1,05.x_1^2$	10,56	0,51
Cor aparente 10 min	$y = 100,06 - 2,39.x_1^2$	6,50	0,39
Cor aparente 30 min	$y = 100,18 - 2,34.x_1^2$	6,75	0,40
DQO 10 min	$y = 99,29 - 0,83.x_1^2$	8,97	0,47
DQO 30 min	$y = 99,29 - 0,17.x_1^2$	3,18	0,24

Onde  $x_1$  = Dosagem de PAC e  $x_2$  = Dosagem de Polímero Não-Iônico.  
Fonte: Autoria Própria (2019).

**Tabela 61** – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com  $\text{FeCl}_3$  e ajuste do pH de coagulação (1ª coleta).

Variável	Equação de remoção (%)	F-valor	R <sup>2</sup>
Turbidez 10 min	$y = 92,44 - 3,94.x_1^2$	5,93	0,40
Turbidez 30 min	$y = 96,92 - 2,05.x_1^2$	2,73	0,23
Cor aparente 10 min	$y = 92,83 - 17,56.x_1^2$	15,75	0,64
Cor aparente 30 min	$y = 98,01 - 16,50.x_1^2$	18,78	0,68
DQO 10 min	$y = 96,51 - 4,15.x_1^2$	14,00	0,61
DQO 30 min	$y = 98,61 - 1,17.x_1^2$	16,86	0,65

Onde  $x_1$  = Dosagem de Cloreto Férrico e  $x_2$  = pH de coagulação.

Fonte: Aatoria Própria (2019).

**Tabela 62** – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e ajuste do pH de coagulação (1ª coleta).

Variável	Equação de remoção (%)	F-valor	R <sup>2</sup>
Turbidez 10 min	$y = 80,63 - 3,23.x_1 + 4,26.x_2^2$	0,97	0,22
Turbidez 30 min	$y = 93,86 - 3,04.x_1$	9,07	0,53
Cor aparente 10 min	$y = 72,21 - 9,41.x_1 + 9,77.x_2^2$	9,69	0,73
Cor aparente 30 min	$y = 83,89 - 8,38.x_1 + 4,33.x_2^2$	17,15	0,83
DQO 10 min	$y = 93,70 - 2,66.x_1^2$	1,16	0,13
DQO 30 min	$y = 98,04 - 0,47.x_1$	1,62	0,17

Onde  $x_1$  = Dosagem de PAC e  $x_2$  = pH de coagulação.

Fonte: Aatoria Própria (2019).

**Tabela 63** – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com tanino e ajuste do pH de coagulação (1ª coleta).

Variável	Equação de remoção (%)	F-valor	R <sup>2</sup>
Turbidez 10 min	$y = 97,73 - 1,33.x_1^2$	2,23	0,18
Turbidez 30 min	$y = 99,63 - 1,00.x_1^2$	8,86	0,47
Cor aparente 10 min	$y = 97,61 - 4,53.x_1^2$	7,74	0,44
Cor aparente 30 min	$y = 99,63 - 3,36.x_1^2$	4,66	0,32
DQO 10 min	$y = 98,47 - 1,37.x_1^2$	1,17	0,10
DQO 30 min	$y = 99,00 - 0,63.x_1 - 0,75.x_1^2$	5,67	0,56

Onde  $x_1$  = Dosagem de Tanino e  $x_2$  = pH de coagulação.

Fonte: Aatoria Própria (2019).

**Tabela 64** – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e PAN (2ª coleta).

Variável	Equação de remoção (%)	F-valor	R <sup>2</sup>
Turbidez 10 min	$y = 96,53 - 1,57.x_2^2$	7,16	0,44
Turbidez 30 min	$y = 99,46 + 0,30.x_1 - 0,39.x_1^2 - 0,27.x_2$	3,56	0,60
Cor aparente 10 min	$y = 98,81 - 0,63.x_1^2$	3,43	0,28
Cor aparente 30 min	$y = 99,53 + 0,36.x_1 - 0,75.x_1^2$	13,85	0,78
DQO 10 min	$y = 95,87 + 1,56.x_2$	5,09	0,36
DQO 30 min	$y = 97,03 + 0,85.x_2$	6,00	0,40

Onde  $x_1$  = Dosagem de PAC e  $x_2$  = Dosagem de Polímero Aniônico.

Fonte: Autoria Própria (2019).

**Tabela 65** – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e PCA (2ª coleta).

Variável	Equação de remoção (%)	F-valor	R <sup>2</sup>
Turbidez 10 min	$y = 98,41 - 1,19.x_1 + 0,97.x_2$	7,75	0,66
Turbidez 30 min	$y = 99,39 - 0,49.x_1$	3,99	0,31
Cor aparente 10 min	$y = 99,24 - 0,56.x_1^2 + 0,46.x_2$	4,03	0,50
Cor aparente 30 min	$y = 99,74 - 0,51.x_1^2$	26,04	0,74
DQO 10 min	$y = 96,44 - 1,07.x_1 + 0,93.x_2$	5,40	0,57
DQO 30 min	$y = 98,94 - 1,25.x_1^2 + 0,88.x_2 - 0,94.x_2^2$	5,59	0,71

Onde  $x_1$  = Dosagem de PAC e  $x_2$  = Dosagem de Polímero Catiônico.

Fonte: Autoria Própria (2019).

**Tabela 66** – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e PNI (2ª coleta).

Variável	Equação de remoção (%)	F-valor	R <sup>2</sup>
Turbidez 10 min	$y = 99,60 - 1,07.x_1^2 - 0,93.x_2^2$	3,43	0,46
Turbidez 30 min	$y = 99,90 - 0,67.x_1^2 + 0,36.x_2 - 0,57.x_2^2$	15,66	0,87
Cor aparente 10 min	$y = 99,17 - 0,87.x_1^2$	6,59	0,42
Cor aparente 30 min	$y = 99,66 + 0,47.x_1 - 0,77.x_1^2$	26,75	0,87
DQO 10 min	$y = 98,71 - 1,43.x_1^2 - 2,63.x_2^2$	9,83	0,71
DQO 30 min	$y = 98,95 - 1,03.x_1^2 - 1,93.x_2^2$	47,08	0,92

Onde  $x_1$  = Dosagem de PAC e  $x_2$  = Dosagem de Polímero Não-Iônico.

Fonte: Autoria Própria (2019).

**Tabela 67** – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com  $\text{FeCl}_3$  e ajuste do pH de coagulação (2ª coleta).

Variável	Equação de remoção (%)	F-valor	R <sup>2</sup>
Turbidez 10 min	$y = 96,99 + 1,02.x_1 - 1,37.x_1^2$	16,85	0,81
Turbidez 30 min	$y = 98,32 + 0,93.x_1 - 0,80.x_1^2$	13,37	0,77
Cor aparente 10 min	$y = 95,04 + 3,65.x_1 - 2,09.x_1^2$	23,53	0,85
Cor aparente 30 min	$y = 95,77 + 2,85.x_1 - 1,56.x_1^2$	17,85	0,82
DQO 10 min	$y = 92,31 + 1,75.x_1$	7,54	0,46
DQO 30 min	$y = 93,67 + 1,12.x_1$	7,15	0,44

Onde  $x_1$  = Dosagem de Cloreto Férrico e  $x_2$  = pH de coagulação.

Fonte: Autoria Própria (2019).

**Tabela 68** – Equações e análises de variância por regressão – gráficos de curvas de nível dos ensaios com PAC e ajuste do pH de coagulação (2ª coleta).

Variável	Equação de remoção (%)	F-valor	R <sup>2</sup>
Turbidez 10 min	$y = 96,08 - 0,76.x_2^2$	4,72	0,34
Turbidez 30 min	$y = 97,99 - 0,47.x_2$	5,19	0,37
Cor aparente 10 min	$y = 97,22 + 0,45.x_1 - 0,41.x_2^2$	5,94	0,60
Cor aparente 30 min	$y = 98,16 + 0,47.x_1$	1,99	0,18
DQO 10 min	$y = 92,03 + 0,81.x_2$	2,63	0,23
DQO 30 min	$y = 94,23 - 0,58.x_2 - 1,18.x_2^2$	14,10	0,78

Onde  $x_1$  = Dosagem de PAC e  $x_2$  = pH de coagulação.

Fonte: Autoria Própria (2019).