

**UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANÁ
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
AMBIENTAL
CÂMPUS APUCARANA/LONDRINA**

ANA PAULA COSSO SILVA ARAUJO

**TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVAGEM DE ÔNIBUS E
DE LAVANDERIA POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO E
FILTRAÇÃO VISANDO O REÚSO DE ÁGUA**

DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

**LONDRINA
2017**

ANA PAULA COSSO SILVA ARAUJO

**TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVAGEM DE ÔNIBUS E
DE LAVANDERIA POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO E
FILTRAÇÃO VISANDO O REÚSO DE ÁGUA**

Dissertação apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Ambiental, do Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Área de Concentração: Saneamento Ambiental

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi

Co-orientador: Prof. Dr. Orlando de Carvalho Junior

**LONDRINA
2017**



Ministério da Educação
Universidade Tecnológica Federal do Paraná
Pró-reitora de Pesquisa e Pós Graduação
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental
Campus Apucarana/Londrina



TERMO DE APROVAÇÃO

TRATAMENTO DE EFLUENTES DE LAVAGEM DE ÔNIBUS E

DE LAVANDERIA POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO E

FILTRAÇÃO VISANDO O REÚSO DE ÁGUA

por

Ana Paula Cosso Silva Araujo

Dissertação de mestrado apresentada no dia 17 de fevereiro de 2017 como requisito parcial para a obtenção do título de MESTRE EM ENGENHARIA 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 - Orientador
(UTFPR-Londrina)

Prof. Dr (ª) Emília Kiyomi Kuroda - Membro titular
(UEL)

Prof. Dr (ª) Ana Maria Ferrari Lima - Membro titular
(UTFPR-Apucarana)

Prof. Dr Edson Fontes de Oliveira
Coordenador do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental

O termo de Aprovação assinado encontra-se na Coordenação do Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental



TERMO DELICENCIAMENTO

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

A663t Araujo, Ana Paula Cosso Silva
Tratamento de efluentes de lavagem de ônibus e de lavanderia por flotação por ar dissolvido e filtração visando o reuso de água / Ana Paula Cosso Silva de Araujo - Londrina: [s.n.], 2017.
195 f. ; il. ; 30 cm

Orientador: Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi
Co-orientador: Prof. Dr. Orlando de Carvalho Junior
Dissertação (Mestrado) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Londrina, 2017.
Bibliografia: f. 190-193

1. Efluentes. 2. Água - Reuso. 3. Flotação. I. Costanzi, Ricardo Nagamine, orient. II. Carvalho Junior, Orlando, co-orient. III. Universidade Tecnológica Federal do Paraná. IV. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. V. Título.

CDD: 628

Dedico este trabalho a Antônio Francisco da Silva, quem me ensinou a ajudar o próximo sem esperar algo em troca. Exemplo de sabedoria, dedicação e inspiração.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a Deus por sempre guiar meus caminhos.

Gostaria de agradecer ao meu orientador Prof. Dr. Ricardo Nagamine Costanzi por todo auxílio e dedicação que empregaste para a realização e conclusão deste trabalho. Agradeço pela amizade, confiança, e por todo ensinamento que contribuiu grandemente para o meu crescimento profissional e pessoal. Ao meu co-orientador Prof. Dr. Orlando de Carvalho Júnior e ao Prof. Dr. Ajadir Fazolo por todo ensinamento e contribuição.

Quero agradecer aos professores que participaram da banca de qualificação e defesa do mestrado, a Prof. Dra. Ana Maria Ferrari Lima e a Prof. Dra. Emília Kiyomi Kuroda, obrigada por toda a contribuição para a realização do meu trabalho.

Agradeço aos Técnicos do Laboratório de Química da UTFPR – Campus Londrina, José Rafael Rossi e Carlos Henrique Gianjacomio e a estagiária do Laboratório de Saneamento Ambiental da UTFPR – Campus Londrina Elizabeth Nebes por todo auxílio.

Gostaria de agradecer a minha família, principalmente a minha mãe Leonice e ao meu pai Laércio por todo amor, carinho e dedicação que me durante todos esses anos. Sem o apoio de vocês nunca teria realizado os meus sonhos. Ao meu irmão Raphael e ao meus avôs Luzia e Antônio também tenho muito a agradecer por todo carinho e amor que dedicaram aos seus netos.

Em especial gostaria de agradecer ao Bruno Boaretto Santos por todo auxílio para o desenvolvimento deste trabalho, por seu desempenho, dedicação e comprometimento. Gostaria de agradecer a Danielle Martins e Aline Hanny pela amizade e por todo auxílio durante o decorrer das análises realizadas. Também gostaria de agradecer a Livia Nunes Bueno por todo auxílio. Quero agradecer também aqueles que de alguma forma me auxiliaram na realização deste trabalho e aos grandes amigos que cultivei ao longo desses anos.

Gostaria de agradecer a empresa de transporte de ônibus rodoviário localizada na cidade de Londrina, Paraná por todo auxílio para o desenvolvimento deste trabalho. Também agradeço ao Técnico Ambiental Paulo César Guandeline e aos Técnicos de Segurança do Trabalho Alexandre de Souza e Agnaldo Sebastião Pinto e Aquino, ambos funcionários da empresa, por todo auxílio na realização das coletas e disposição

ao contribuir com os dados necessários para o desenvolvimento do trabalho. A CAPES pela bolsa de mestrado concedida e a UTFPR – Campus Londrina.

“Reparta o seu conhecimento. É uma forma
de alcançar a imortalidade”

(Dalai Lama)

RESUMO

ARAUJO, A. P. C. S. **Tratamento de efluentes de lavagem de ônibus e de lavanderia por flotação por ar dissolvido e filtração visando o reúso de água.** 2017. 195f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Londrina. 2017.

A cadeia de transporte de ônibus intermunicipal e interestadual necessita de serviços associados à lavagem veicular e a lavanderia, para a lavagem de capas de poltronas e cobertores. Desta forma, este segmento demanda um elevado consumo de água, aliado a utilização de produtos químicos que podem comprometer a qualidade dos recursos hídricos. O reúso de água é uma técnica que visa reduzir o consumo de água potável para fins que não necessitem de tal qualidade. As empresas de transporte de ônibus podem implantar o sistema de reúso nas unidades de lavagem de ônibus. Entretanto, deve-se realizar um tratamento adequado do efluente para que a qualidade de água produzida não cause impacto negativo nas atividades da unidade onde está sendo reutilizada, bem como à saúde dos operadores. Assim, este trabalho teve como objetivo promover o tratamento de efluentes provenientes de uma empresa de transporte de ônibus rodoviário localizado na cidade de Londrina, Paraná. Os efluentes empregados neste trabalho são gerados nos setores de lavagem de ônibus e lavanderia, ambas atividades realizadas na empresa. Os sistemas de tratabilidade foram avaliados em escala de bancada, sendo estes: A) sistema de coagulação/floculação/FAD; B) coagulação/floculação/FAD seguido de pós-tratamento por filtração em meio granular sob pressão; C) coagulação/floculação/filtração em meio granular sob pressão e D) filtração direta em meio granular sob pressão, utilizando os coagulantes AQUAFLOC/LS e AQUA-PAC, visando o reúso do efluente tratado na lavagem dos ônibus. O delineamento estatístico aplicado aos ensaios de coagulação/floculação/FAD foi o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). As variáveis independentes aplicadas foram: concentração do coagulante AQUAFLOC/LS, concentração do coagulante AQUA-PAC, concentração do polímero e pH de coagulação. As condições de coagulação/floculação aplicadas para os ensaios de FAD foram: G_{mr} 800 s^{-1} , G_{1ml} 90 s^{-1} , G_{2ml} 50 s^{-1} e G_{3ml} 30 s^{-1} , correspondendo aos tempos de rotação de 1; 10; 5 e 5 minutos, respectivamente. A Pressão na câmara de saturação foi de 6 bar, A Taxa de recirculação utilizada de 20% e as taxas de aplicação superficial foram 35, 70, 120 e 150 $m^3 m^{-2} dia^{-1}$. Para os ensaios de coagulação/floculação/filtração as condições de coagulação/floculação foram: G_{mr} 800 s^{-1} e G_{1ml} 50 s^{-1} . Para os ensaios de filtração, foi confeccionado um filtro de meio granular sob pressão em escala de bancada contendo como material filtrante areia e cascalho. Os sistemas de tratabilidade foram avaliados com relação à remoção de matéria orgânica, sólidos, nitrogênio, fósforo e surfactantes. Por meio da aplicação do método do DCCR determinou-se uma faixa ótima de atuação dos coagulantes no tratamento dos efluentes. Ao se promover a mistura dos efluentes de ambos os setores para posterior tratamento, a faixa ótima de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS foi de 220 a 260 $mg L^{-1}$ com pH de coagulação natural, enquanto que as faixas consideradas ótimas de concentração do AQUA-PAC estão entre 50 a 200 $mg Al_2O_3 L^{-1}$ com pH de coagulação de 6,00 a 7,50 e entre 200 a 320 $mg Al_2O_3 L^{-1}$ com pH de coagulação de 8,30 a 9,00. Para o tratamento do efluente da lavagem dos ônibus, a concentração ótima de AQUAFLOC/LS está entre 55 e 110 $mg L^{-1}$ com pH de coagulação de 6,00 a 7,20, a concentração do AQUA-PAC variou entre 65 a 85 $mg Al_2O_3 L^{-1}$ com pH de coagulação natural. Por fim, para o tratamento do efluente da

lavanderia a faixa ótima de concentração do AQUAFLOC/LS variou entre 200 e 400 mg L⁻¹ com pH de coagulação de 8,90 a 9,00, e para o AQUA-PAC a faixa ótima de concentração variou de 600 a 700 mg Al₂O₃ L⁻¹ com pH de coagulação de 7,20 a 7,60. Ao se avaliar os diferentes sistemas de tratabilidade, verificou-se que os sistemas de coagulação/floculação/FAD seguido de filtração e coagulação/floculação/filtração empregando o coagulante AQUAFLOC/LS apresentaram os maiores índices de redução dos parâmetros analisados com eficiências de redução de DQO variando entre 73% a 81%, de turbidez entre 93% a 94%, de sólidos suspensos de 16% a 100% e de surfactante de 90% a 98%. O sistema de filtração em meio granular sob pressão possibilitou a obtenção de efluentes tratados passíveis de serem reutilizados em serviços de lavagem de ônibus.

Palavras-chave: Efluente. Lavagem de ônibus. Lavanderia. Reúso de água. Flotação por ar dissolvido. Filtração.

ABSTRACT

ARAUJO, A. P. C. S. **Laundry and bus washing effluent treatment by dissolved air flotation and filtration for water reuse.** 2017. 195f. Thesis (Master's Degree in Environmental Engineering) – Federal Technological University of Paraná. Londrina, 2017.

The intercity and interstate bus transportation chain requires services associated with car wash and laundry, for the washing of armchairs covers and blankets. Thus, this segment demands high consumption of water, combined to the use of chemicals that can compromise the quality of water resources. Water reuse is a technique that aims to reduce the consumption of drinking water for purposes that do not require such quality. Bus companies can deploy a reuse system in their bus wash units. However, adequate effluent treatment must be carried out so that the quality of the water produced does not negatively impact the activities of the unit where it is being reused, as well as the operators' health. Therefore, this work aimed to promote the effluents treatment from a bus transportation company located in the city of Londrina, Paraná. The effluents used in this work are generated in the bus washing and laundry sectors, both activities carried out in the company. The treatability systems were evaluated on bench scale, being these: A) coagulation/flocculation/DAF system; B) coagulation/flocculation/DAF followed by post-treatment by granular filter media filtration under pressure; C) coagulation/flocculation/granular filter media filtration under pressure and D) granular filter media direct filtration under pressure, using the AQUAFLOC / LS and AQUA-PAC coagulants, aiming at the reuse of the treated effluent on the buses wash. The statistical design applied to the coagulation/flocculation/DAF assays was the Central Rotational Composite Design (CRCD). The independent variables applied were: AQUAFLOC/LS coagulant concentration, AQUA-PAC coagulant concentration, polymer concentration and pH coagulation. The coagulation/flocculation conditions applied for the DAF assays were: G_{mr} 800 s^{-1} , G_{1ml} 90 s^{-1} , G_{2ml} 50 s^{-1} and G_{3ml} 30 s^{-1} , corresponding to the rotation times of 1; 10; 5 and 5 minutes, respectively. The pressure in the saturation chamber was 6 bar, the recirculation rate used was 20% and the rates of surface application were 35, 70, 120 and 150 $m^3 m^{-2} day^{-1}$. For the coagulation/flocculation/filtration tests, the coagulation/flocculation conditions were: G_{mr} 800 s^{-1} and G_{1ml} 50 s^{-1} . For the filtration tests, a bench scale granular filter under pressure was prepared containing sand and gravel filter material. The treatability systems were evaluated in relation to the organic matter removal, solids, nitrogen, phosphorus and surfactants. Through the application of the CCDR method, an optimum range of coagulant action in the effluent treatment was determined. By promoting the mixing of the effluents from both sectors for subsequent treatment, the optimum concentration range of the AQUAFLOC/LS coagulant varied from 220 to 260 $mg L^{-1}$ with a natural coagulation pH, while the optimum concentration range of AQUA-PAC are between 50 and 200 $mg Al_2O_3 L^{-1}$ with coagulation pH from 6.00 to 7.50 and between 200 and 320 $mg Al_2O L^{-1}$ with coagulation pH from 8.30 to 9.00. For the treatment of bus washing effluent, the optimum AQUAFLOC/LS concentration varied between 55 and 110 $mg L^{-1}$ with coagulation pH from 6.00 to 7.20, the AQUA-PAC concentration ranged from 65 to 85 $mg Al_2O_3 L^{-1}$ with natural coagulation pH. Finally, for the laundry effluent treatment, the optimum AQUAFLOC/LS concentration range varied from 200 to 400 $mg L^{-1}$ with a coagulation pH from 8.90 to 9.00, and for AQUA-PAC, the optimum range concentration varied from 600 to 700 $mg Al_2O_3 L^{-1}$ with

coagulation pH from 7.2 to 7.6. When evaluating the different treatability systems, it was verified that the coagulation/flocculation/DAF systems followed by filtration and coagulation/flocculation/filtration using the AQUAFLOC/LS coagulant presented the highest reduction indices of the analyzed parameters with reduction efficiencies of COD ranging from 73% to 81%, turbidity between 93% and 94%, suspended solids from 16% to 100% and surfactant from 90% to 98%. The granular filter media filtration system under pressure made it possible to obtain treated effluents that could be reused in bus washing services.

Keywords: Effluent. Bus wash. Laundry. Water reuse. Dissolved air flotation. Filtration.

LISTA DE FIGURAS

CAPÍTULO I

Figura 1. Equipamento <i>rollover</i> empregado para a lavagem dos ônibus	30
Figura 2. Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes empregado na empresa de ônibus rodoviário.....	31
Figura 3. Equipamento Jar Test e compressor de ar empregado nos ensaios de tratabilidade	33
Figura 4. Fluxograma das etapas dos ensaios de tratabilidade desenvolvidos com o efluente bruto.....	34
Figura 5. Caixa SAO onde foi realizada a coleta do efluente bruto da lavagem de ônibus	35
Figura 6. Fluxograma dos sistemas combinado de tratabilidade avaliados.....	39
Figura 7. Filtro de areia sob pressão em escala de bancada. A) Tubulação de coleta de efluente destinado a filtração. B) Filtro de areia. C) Filtro de cascalho. D) Saída do efluente tratado	40
Figura 8. A) Tela de inox de 45 mesh com 0,4 mm de diâmetro. B) Tela de inox disposta dentro da luva de conexão entre as tubulações.....	40
Figura 9. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUAFLOC/LS. Eficiência de remoção de cor aparente (%) A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Remoção de turbidez (%) C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Remoção de DQO (%) E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Com fatores reparametrizados.....	49
Figura 10. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiência de remoção de cor aparente (%) A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Remoção de turbidez (%) C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Remoção de DQO (%) E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Com fatores reparametrizados.....	52
Figura 11. Variação da condutividade elétrica do efluente da lavagem de ônibus após tratamento via A) CFF ₁ e B) CFF ₂	53
Figura 12. Variação do pH do efluente da lavagem de ônibus após tratamento via A) CFF ₁ e B) CFF ₂	54
Figura 13. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de cor aparente empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	56
Figura 14. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de turbidez empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	57
Figura 15. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de DQO empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	57
Figura 16. Gráficos dos valores experimentais versus valores preditivos dos modelos dos ensaios CFF ₁ . Parâmetro cor aparente A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Parâmetro turbidez C) taxa de aplicação de 150 m^3	

m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Parâmetro DQO E) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	59
Figura 17. Gráficos dos valores dos resíduos padronizados versus os ensaios do sistema CFF ₁ . Cor aparente A) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Turbidez C) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . DQO E) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	60
Figura 18. Gráficos de distribuição dos valores dos resíduos padronizados em torno da reta que indica a normalidade para os ensaios CFF ₁ . Cor aparente A) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Turbidez C) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . DQO E) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	61
Figura 19. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de cor aparente empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	62
Figura 20. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de turbidez empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	63
Figura 21. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de DQO empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	63
Figura 22. Gráficos dos valores experimentais versus valores previstos dos modelos dos ensaios CFF ₂ . Cor aparente A) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Turbidez C) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . DQO E) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	65
Figura 23. Gráficos dos valores dos resíduos padronizados versus os ensaios do sistema CFF ₂ . Cor aparente A) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Turbidez C) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . DQO E) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	66
Figura 24. Gráficos de distribuição dos valores de normalidade dos resíduos dos ensaios de CFF ₂ . Cor aparente A) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Turbidez C) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . DQO E) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	67

CAPÍTULO II

Figura 1. Máquina de lavar empregada no setor de lavanderia	89
Figura 2. Fluxograma da caracterização do efluente proveniente da lavanderia.....	90
Figura 3. Reservatório de armazenamento do efluente da lavanderia.....	92
Figura 4. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUAFLOC/LS. Eficiências de remoção de cor aparente (%) A) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ ; e B) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Eficiências de remoção de turbidez (%) C) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ ; e D) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Eficiências de remoção de DQO (%) E) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ ; e F) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Com fatores reparametrizados	106

Figura 5. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiências de remoção de cor aparente (%) A), B) e C) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. D), E) e F) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Com fatores reparametrizados	109
Figura 6. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiências de remoção de turbidez (%) A), B) e C) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. D), E) e F) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Com fatores reparametrizados.....	111
Figura 7. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiências de remoção de DQO (%) A), B) e C) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. D), E) e F) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Com fatores reparametrizados.....	112
Figura 8. Variação da condutividade elétrica do efluente da lavanderia após tratamento via A) CFF ₁ e B) CFF ₂	113
Figura 9. Variação do pH do efluente da lavanderia após tratamento via A) CFF ₁ e B) CFF ₂	114
Figura 10. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de cor aparente empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	115
Figura 11. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de turbidez empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	116
Figura 12. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de DQO empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	116
Figura 13. Gráficos dos valores experimentais versus valores previsto dos modelos dos ensaios CFF ₁ . Cor A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	118
Figura 14. Gráficos dos valores dos resíduos padronizados versus os ensaios do sistema CFF ₁ . Cor aparente A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	119
Figura 15. Gráficos de distribuição de normalidade dos ensaios CFF ₁ . Cor aparente A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	120
Figura 16. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de cor aparente empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	121
Figura 17. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de turbidez empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	122
Figura 18. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção da DQO empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	122
Figura 19. Gráficos dos valores experimentais versus valores previstos dos modelos dos ensaios CFF ₂ . Cor aparente A) taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	124

Figura 20. Gráficos dos valores dos resíduos padronizados versus os ensaios do sistema CFF ₂ . Cor aparente A) taxa de aplicação de 120 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Turbidez C) taxa de aplicação de 120 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . DQO E) taxa de aplicação de 120 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	125
Figura 21. Gráficos de distribuição de normalidade dos resíduos dos ensaios de CFF ₂ . Cor aparente A) taxa de aplicação de 120 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Turbidez C) taxa de aplicação de 120 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . DQO E) taxa de aplicação de 120 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	126

CAPÍTULO III

Figura 1. A) Equipamento <i>rollover</i> empregado para a lavagem dos ônibus e B) máquina de lavar industrial empregada para a lavagem de capas e cobertores	144
Figura 2. Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes da empresa de ônibus rodoviário	145
Figura 3. Caixa SAO e reservatório de armazenamento do efluente da lavanderia	147
Figura 4. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUAFLOC/LS. Eficiências de remoção de cor aparente (%) A) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Eficiências de remoção de turbidez (%) C) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Eficiências de remoção de DQO (%) D) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Com fatores reparametrizados.....	157
Figura 5. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiências de remoção de cor aparente (%) A), B) e C) Taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . D), E) e F) Taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Com fatores reparametrizados	160
Figura 6. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiências de remoção de turbidez (%) A), B) e C) Taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . D), E) e F) Taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Com fatores reparametrizados.....	162
Figura 7. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiências de remoção de DQO (%) A), B) e C) Taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . D), E) e F) Taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Com fatores reparametrizados.....	163
Figura 8. Variação da condutividade elétrica do efluente combinado após tratamento via A) CFF ₁ e B) CFF ₂	164
Figura 9. Variação do pH do efluente combinado após tratamento via A) CFF ₁ e B) CFF ₂	165
Figura 10. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de cor aparente empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	166
Figura 11. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de turbidez empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	167
Figura 12. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de DQO empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	167
Figura 13. Gráficos dos valores experimentais versus valores previstos dos modelos dos ensaios CFF ₁ . Cor aparente A) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Turbidez C) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . DQO E) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	169

Figura 14. Gráficos dos valores dos resíduos padronizados versus os ensaios dos sistema CFF ₁ . Cor aparente A) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Turbidez C) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . DQO E) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	170
Figura 15. Gráficos de distribuição de normalidade dos resíduos dos ensaios CFF ₁ . Cor aparente A) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Turbidez C) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . DQO E) taxa de aplicação de 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	171
Figura 16. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de cor aparente empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	172
Figura 17. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de turbidez empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	173
Figura 18. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de DQO empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	174
Figura 19. Gráficos dos valores experimentais versus valores previstos dos modelos dos ensaios CFF ₂ . Cor aparente A) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Turbidez C) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . DQO E) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	175
Figura 20. Gráficos dos valores dos resíduos padronizados versus os ensaios do sistema CFF ₂ . Cor aparente A) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Turbidez C) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . DQO E) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	176
Figura 21. Gráficos de distribuição de normalidade dos resíduos do ensaios CFF ₂ . Cor aparente A) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e B) taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . Turbidez C) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e D) taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ . DQO E) taxa de aplicação de 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹ e F) taxa de aplicação de 35 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	177

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO I

Tabela 1. Parâmetros técnicos do flotador por ar dissolvido empregado na estação de tratamento de efluentes da empresa de ônibus rodoviário.....	31
Tabela 2. Análises físico-químicas para caracterização do efluente da lavagem dos ônibus	32
Tabela 3. Características físico-químicas dos coagulantes AQUAFLOC/LS e AQUA-PAC e do auxiliar de coagulação.....	35
Tabela 4. Concentração dos coagulantes, polímero e pH de coagulação, para a ocorrência da coagulação/floculação.....	36
Tabela 5. Valores reais de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e valores de pH de coagulação determinados pelo método DCCR para os ensaios de CFF ₁	37
Tabela 6. Valores reais da concentração do coagulante AQUA-PAC e do polímero determinados pelo método DCCR para os ensaios de CFF ₂	37
Tabela 7. Condições para ocorrência da coagulação e floculação	38
Tabela 8. Dimensões do filtro de meio granular sob pressão.....	40
Tabela 9. Condições de coagulação e floculação	42
Tabela 10. Estimativa do consumo de água para lavagem dos ônibus.....	43
Tabela 11. Caracterização do efluente bruto da lavagem de ônibus	45
Tabela 12. Caracterização físico-química do efluente bruto da lavagem de ônibus para os ensaios de CFF	47
Tabela 13. Características físico-químicas do efluente da lavagem de ônibus pós-tratamento via CFF ₁	48
Tabela 14. Características físico-químicas do efluente da lavagem de ônibus pós-tratamento via CFF ₂	51
Tabela 15. Análise de variância (ANOVA) por regressão aplicada as variáveis resposta remoção de cor, turbidez e DQO para os ensaios CFF ₁	58
Tabela 16. Análise de variância (ANOVA) por regressão aplicada as variáveis resposta remoção de cor, turbidez e DQO para os ensaios de CFF ₂	64
Tabela 17. Pontos otimizados de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e valor de pH de coagulação.....	68
Tabela 18. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições ótimas de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e pH de coagulação	68
Tabela 19. Eficiências dos pontos considerados ótimos de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e do pH de coagulante.....	69
Tabela 20. Pontos considerados ótimos de concentração do coagulante AQUA-PAC e pH de coagulação.....	70
Tabela 21. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições ótimas de coagulante AQUA-PAC e do pH de coagulação	71
Tabela 22. Eficiências dos pontos considerados ótimos de concentração do coagulante AQUA-PAC e do pH de coagulação	71
Tabela 23. Caracterização físico-química do efluente após ensaios de tratabilidade.....	74
Tabela 24. Eficiências dos ensaios de tratabilidade	75

CAPÍTULO II

Tabela 1. Parâmetros técnicos do flotador por ar dissolvido empregado na estação de tratamento de efluentes da empresa de ônibus rodoviário.....	90
Tabela 2. Análises físico-químicas estabelecidas para caracterização do efluente do setor de lavanderia.....	91
Tabela 3. Concentrações dos coagulantes, polímero e pH de coagulação, para a ocorrência da coagulação/floculação.....	93
Tabela 4. Valores reais de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e valores de pH de coagulação determinados pelo método DCCR para os ensaios de CFF ₁	93
Tabela 5. Valores reais da concentração do coagulante AQUA-PAC e do polímero determinados pelo método DCCR para os ensaios de CCF ₂	94
Tabela 6. Consumo de água na lavanderia.....	97
Tabela 7. Caracterização do efluente da lavagem de capas de poltronas.....	99
Tabela 8. Caracterização do efluente da lavagem de capas de cobertores.....	100
Tabela 9. Caracterização do efluente da lavagem de cobertores.....	101
Tabela 10. Caracterização do efluente bruto do setor de lavanderia.....	101
Tabela 11. Caracterização físico-química do efluente bruto de lavanderia empregado para os ensaios de CFF.....	104
Tabela 12. Características físico-químicas do efluente de lavanderia após tratamento via CFF ₁	105
Tabela 13. Características físico-químicas do efluente de lavanderia após tratamento via CFF ₂	108
Tabela 14. Análise de variância (ANOVA) por regressão aplicada as variáveis resposta remoção de cor, turbidez e DQO para os ensaios CFF ₁	117
Tabela 15. Análise de variância (ANOVA) por regressão aplicada as variáveis resposta remoção e redução de cor, turbidez e DQO para os ensaios de CFF ₂	123
Tabela 16. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições otimizadas de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e pH de coagulação.....	127
Tabela 17. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições ótimas de coagulante AQUA-PAC e do pH de coagulação.....	129
Tabela 18. Caracterização físico-química do efluente após ensaios de tratabilidade...	131
Tabela 19. Eficiências dos ensaios de tratabilidade.....	132

CAPÍTULO III

Tabela 1. Parâmetros técnicos do flotador por ar dissolvido empregado na estação de tratamento de efluentes da empresa de ônibus rodoviário.....	145
Tabela 2. Análises físico-químicas estabelecidas para caracterização dos efluentes...	146
Tabela 3. Concentrações dos coagulantes e pH para os ensaios de CFF.....	148
Tabela 4. Valores reais de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e valores de pH de coagulação determinados pelo método DCCR para os ensaios de CFF ₁	149
Tabela 5. Valores reais da concentração do coagulante AQUA-PAC e do polímero determinados pelo método DCCR para os ensaios de CCF ₂	149
Tabela 6. Caracterização dos efluentes produzidos pela empresa de transporte de ônibus rodoviário.....	152
Tabela 7. Caracterização do efluente bruto empregado para os ensaios de CFF.....	155
Tabela 8. Características físico-químicas do efluente combinado após tratamento via CFF ₁	156
Tabela 9. Características físico-químicas do efluente combinado após tratamento via CFF ₂	159

Tabela 10. Análise de variância (ANOVA) por regressão aplicada as variáveis resposta remoção de cor, turbidez e DQO para os ensaios CFF ₁	168
Tabela 11. Análise de variância (ANOVA) por regressão aplicada as variáveis resposta remoção e redução de cor, turbidez e DQO para os ensaios CFF ₂	174
Tabela 12. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições ótimas de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e pH de coagulação	178
Tabela 13. Pontos considerados ótimos de concentração do coagulante AQUA-PAC e pH de coagulação.....	180
Tabela 14. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições ótimas de coagulante AQUA-PAC e do pH de coagulação	180
Tabela 15. Eficiências dos pontos ótimos de concentração do coagulante AQUA-PAC e do pH de coagulação.....	181
Tabela 16. Caracterização físico-química do efluente após ensaios de tratabilidade...	183
Tabela 17. Eficiências dos sistemas de tratabilidade.....	184

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Tabela 1. Faixas de concentrações dos coagulantes e pH de coagulação determinados pelo método DCCR para o tratamento dos efluentes analisados.....	194
Tabela 2. Caracterização dos efluentes após tratamento por CFF ₁ -F e CF ₁ -F	195

LISTA DE ABREVEATURAS E SIGLAS

ANOVA	Análise de Variância
CF-F	Coagulação/floculação/filtração
CFF	Coagulação/Floculação/Flotação por ar dissolvido
CFF-F	Coagulação/Floculação/Flotação por ar dissolvido seguido de filtração
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CV	Coefficiente de Variância
DCCR	Delineamento Composto Central Rotacional
DQO	Demanda Química de Oxigênio
F-valor	F calculado
FAD	Flotação por dissolvido
Gml	Gradiente de velocidade de mistura lenta
Gmr	Gradiente de velocidade de mistura rápida
gl	Grau de liberdade
MQ	Média dos quadrados
N.A	Nível alto de água
N.B	Nível baixo de água
NTK	Nitrogênio total kjeldahl
PAC	Policloreto de alumínio
pH	Potencial hidrogeniônico
rpm	Rotação por minuto
R ²	Coefficiente de determinação
SAO	Separação água e óleo
SEMA	Secretaria do Meio Ambiente
SDF	Sólidos dissolvidos fixos
SDT	Sólidos dissolvidos totais
SDV	Sólidos dissolvidos voláteis
SQ	Soma dos quadrados
SSF	Sólidos suspensos fixos
SST	Sólidos suspensos totais
SSV	Sólidos suspensos voláteis
STF	Sólidos totais fixos
ST	Sólidos totais
STV	Sólidos totais voláteis
UNT	Unidade nefelométrica de turbidez

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	23
CAPÍTULO I.....	25
1 INTRODUÇÃO.....	26
2 METODOLOGIA.....	30
2.1 EFLUENTE DE ESTUDO.....	30
2.2 LEVANTAMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE.....	32
2.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	32
2.3.1 Coleta do Efluente	34
2.3.2 Coagulantes Empregados	35
2.3.3 Determinação das Condições de Coagulação por CFF	35
2.3.3.1 Delineamento experimental.....	35
2.3.3.2 Determinação dos pontos otimizados de concentração dos coagulantes e valor de pH de coagulação.....	38
2.3.4 Ensaio de Tratabilidade.....	39
2.3.4.1 Ensaio de tratabilidade por CFF-F	41
2.3.4.2 Ensaio de tratabilidade por CF-F	41
2.3.4.3 Ensaio de filtração em meio granular sob pressão.....	42
3 RESULTADOS	43
3.1 ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ÁGUA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE.....	43
3.2 ENSAIOS DE CFF PARA DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES OTIMIZADAS DE COAGULAÇÃO.....	47
3.2.1 Modelos Matemáticos.....	55
3.2.1.1 Validação dos modelos matemáticos gerados pelos ensaios de CFF ₁	55
3.2.1.2 Validação dos modelos matemáticos gerados pelos ensaios CFF ₂	61
3.2.2 Ensaio nas Condições Otimizadas de Coagulação.....	67
3.3 ENSAIOS DE TRATABILIDADE DO EFLUENTE DA LAVAGEM DE ÔNIBUS	73
4 CONCLUSÃO.....	80
5 RECOMENDAÇÕES.....	82
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	83
CAPÍTULO II.....	86
1 INTRODUÇÃO.....	87
2 METODOLOGIA.....	89
2.1 EFLUENTE DE ESTUDO.....	89
2.2 LEVANTAMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE.....	90
2.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS.....	91
2.3.1 Coleta do Efluente	91
2.3.2 Coagulantes Empregados	92
2.3.3 Determinação das Condições de coagulação por CFF	92
2.3.3.1 Delineamento experimental.....	92
2.3.3.2 Determinação dos pontos otimizados de concentração de coagulantes e valor de pH de coagulação.....	95
2.3.4 Ensaio de Tratabilidade.....	95
3 RESULTADOS	96

3.1 ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ÁGUA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE	96
3.2 ENSAIOS DE CFF PARA DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES OTIMIZADAS DE COAGULAÇÃO	104
3.2.1 Modelos Matemáticos.....	114
3.2.1.1 Validação dos modelos matemáticos gerados pelos ensaios CFF ₁	114
3.2.1.2 Validação dos modelos matemáticos gerados pelos ensaios CFF ₂	120
3.2.2 Ensaios nas Condições Otimizadas de Coagulação.....	126
3.3 ENSAIOS DE TRATABILIDADE DO EFLUENTE DA LAVANDERIA.....	130
4 CONCLUSÃO	135
5 RECOMENDAÇÕES.....	136
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	137
CAPÍTULO III	140
1 INTRODUÇÃO.....	141
2 METODOLOGIA.....	144
2.1 EFLUENTE DE ESTUDO	144
2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE.....	146
2.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS	147
2.3.1 Coleta do Efluente	147
2.3.2 Coagulantes Empregados	147
2.3.3 Determinação das Condições Otimizadas de Coagulação por CFF	148
2.3.3.1 Delineamento experimental.....	148
2.3.3.2 Determinação dos pontos otimizados de concentração do coagulante e pH de coagulação	150
2.3.4 Ensaios de Tratabilidade.....	151
3 RESULTADOS	152
3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES	152
3.2 ENSAIOS DE CFF PARA DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES OTIMIZADAS DE COAGULAÇÃO	154
3.2.1 Modelos Matemáticos.....	165
3.2.1.1 Validação dos modelos matemáticos gerados pelos ensaios CFF ₁	165
3.2.1.2 Validação dos modelos matemáticos gerados pelos ensaios CFF ₂	171
3.2.2 Ensaios nas Condições Otimizadas de Coagulação.....	178
3.3 ENSAIOS DE TRATABILIDADE.....	182
4 CONCLUSÕES	188
5 RECOMENDAÇÕES.....	189
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	190
CONSIDERAÇÕES FINAIS	194

INTRODUÇÃO GERAL

O setor industrial demanda um alto consumo por recursos hídricos, entretanto, ainda há uma necessidade de se promover um uso mais eficiente desses recursos, de modo a não ocasionar desperdícios constantes de água. Este setor também é responsável pela geração de águas residuárias, que sem um tratamento adequado pode ocasionar impactos ao meio ambiente, bem como o comprometimento da qualidade das águas superficiais e subterrâneas devido ao lançamento destas. Em virtude destes aspectos, muitos empreendimentos acabam adotando o sistema de reúso de águas residuárias tratadas como uma forma de reduzir o consumo de água potável para fins que não necessitem de tal qualidade, de modo consequente, se tem uma maneira de evitar a contaminação dos recursos hídricos.

Empresas do segmento de transporte de ônibus rodoviário demandam um elevado consumo de água, pois, estas carecem de atividades que realizem a limpeza dos ônibus e a lavagem de capas de poltronas e cobertores que são amplamente utilizados para o atendimento dos usuários dos serviços prestados pela empresa. O consumo médio mensal de água destinado a lavagem de ônibus pode atingir 2 mil m³, equivalendo ao consumo médio de 0,5 m³ de água por veículo (RUBIO et al., 2007). O setor de lavanderia também se caracteriza pela alta demanda de água, segundo Sperling (2005) o consumo médio de água neste setor varia entre 20 e 60 L kg⁻¹ de roupa.

Atrelado ao elevado consumo de água, há a geração de um intenso volume de efluente por ambos os setores, sendo estes caracterizados por seu alto poder impactante ao meio ambiente. Dentre os impactos ambientais que estes efluentes podem causar estão: i) eutrofização dos corpos hídricos devido à presença de nitrogênio e fósforo na composição dos tensoativos que compõem os detergentes; ii) variação do pH do corpo hídrico receptor; iii) inibição dos processos de autodepuração; iv) aumento da concentração de xenobióticos; vi) formação de espumas; vii) redução da concentração de oxigênio dissolvido devido a elevada carga orgânica (BRAGA, 2002).

Ademais, estes impactos ambientais estão associados com a utilização de diferentes produtos químicos, dentre eles estão os detergentes automobilísticos, detergentes para a lavagem das capas e cobertores, amaciantes e alvejantes. Tais produtos influenciam nas características físico-químicas das águas residuárias. Os principais poluentes reportados para as águas residuárias da lavagem veicular são: óleos

e graxas, sólidos suspensos, surfactantes e matéria orgânica (MIYAZAKI, 2004; RUBIO e ZANETI, 2009). Enquanto que as águas residuárias de lavanderias são caracterizadas pela presença de solventes, desinfetantes, amaciantes, surfactantes, matéria orgânica, amônia, sólidos dissolvidos e suspensos (AHMAD e EL-DESSOUKY, 2008).

Quando se visa o reúso de águas residuárias deve-se ter um controle da qualidade físico-química e microbiológica destas, implicando em um monitoramento contínuo para inviabilizar qualquer tipo de contaminação, tanto relacionada ao meio ambiente quanto à saúde humana, bem como para garantir o funcionamento de equipamentos e processos envolvidos. Em virtude destes aspectos, a implantação de um sistema de tratamento de efluentes em indústrias e em empreendimentos que visam tal ação é indispensável.

O sistema de tratamento constituído por coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido (FAD) vem sendo empregado para o tratamento de águas residuárias provenientes dos setores de lavagem veicular e de lavanderias, onde este sistema também tem sido alvo de estudos acerca de sua eficiência no tratamento dos efluentes em questão (RUBIO et al., 2007; RUBIO e ZANETI, 2009; CIABATTI et al., 2009; ZANETI et al., 2011; ETCHEPARE et al., 2014). Outro sistema que também pode ser aplicado ao tratamento dos efluentes em questão é a filtração em meio granular sob pressão, podendo este ser aplicado como tratamento terciário de águas residuárias, visando o polimento para remoção dos compostos residuais (MELO, 2014), ou ainda ser aplicado como tratamento secundário, podendo ou não ser precedido de um sistema de coagulação/floculação para aumentar a eficiência na retenção dos sólidos em suspensão e de outros parâmetros.

O presente trabalho teve como objetivo promover o tratamento de efluentes produzidos pela lavagem de ônibus e de uma lavanderia industrial. Os sistemas de tratabilidade foram avaliados em escala de bancada, sendo estes: sistema de coagulação/floculação/FAD (CFF); coagulação/floculação/FAD seguido de pós-tratamento por filtração em meio granular sob pressão (CFF-F); coagulação/floculação/filtração em meio granular sob pressão (CF-F) e filtração direta em meio granular sob pressão, utilizando os coagulantes AQUAFLOC/LS e AQUA-PAC, visando o reúso do efluente tratado na lavagem dos ônibus. O levantamento do consumo de água nestes setores foram estimados, assim como a caracterização físico-química destes.

CAPÍTULO I

TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVAGEM DE ÔNIBUS POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO E FILTRAÇÃO VISANDO O REÚSO

1 INTRODUÇÃO

O desenvolvimento urbano e industrial está associado ao aumento da demanda por recursos hídricos que em conjunção com o desperdício de água pode resultar em cenários de escassez. Outro fator intrínseco ao crescimento urbano desordenado é a contaminação de corpos d'água em virtude do lançamento de águas residuárias de origem doméstica e industrial no meio ambiente sem tratamento adequado. Neste contexto, a disponibilidade de água com qualidade adequada está em uma situação de risco.

Dentre as atividades consideradas como grandes usuários de água, o setor de lavagem veicular é uma atividade urbana de destaque pelo consumo considerável de água, aliado a utilização de produtos químicos que podem comprometer a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Esta atividade é realizada por diferentes empreendimentos, tais como lava-jatos, postos de combustíveis e garagens de ônibus. Estima-se que o consumo de água destinado a lavagem de veículos no Brasil seja superior a 4 milhões de m³ por mês, correspondendo ao consumo mensal de uma cidade com 600 mil habitantes (RUBIO et al., 2007; RUBIO e ZANETI, 2009). Em companhias de ônibus o consumo médio mensal de água destinado à lavagem dos ônibus pode atingir 2 mil m³ de água, equivalendo ao consumo médio de 0,5 m³ de água por veículo (RUBIO et al., 2007). Segundo dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2016) no ano de 2016 a frota de ônibus rodoviário coletivo de passageiros no Brasil compreendia 107 mil veículos, o que corresponderia a um consumo médio mensal de 1,6 milhões de m³ de água, equivalendo ao consumo médio mensal de uma cidade com aproximadamente 200 mil habitantes.

Os principais poluentes reportados para o efluente proveniente da lavagem de veículos são óleos e graxas, sólidos suspensos, surfactantes e matéria orgânica (HAMADA e MIYAZAKI, 2004; RUBIO e ZANETI, 2009).

Produtos a base de detergentes são muito utilizados neste setor. Eles são caracterizados por serem agentes tensoativos ou surfactantes que possuem a capacidade de diminuir a tensão superficial dos líquidos. Em altas concentrações nos corpos hídricos, estes produtos podem ocasionar impactos associados à diminuição da tensão superficial do líquido que pode inviabilizar a sustentação superficial de determinados organismos; ao processo de eutrofização, em virtude da presença de fósforo e nitrogênio

na composição de muitos detergentes sintéticos; e à variação do pH do corpo hídrico receptor (SAWYER, 1994).

Em virtude dos impactos ambientais que o efluente gerado pelo setor de lavagem de veículos pode causar ao meio ambiente, ele é caracterizado como uma atividade potencialmente poluidora no Estado do Paraná pela Resolução CEMA n° 88/2013 e é regido pela Resolução SEMA n° 38/2009 que dispõe sobre o licenciamento ambiental e as condições e critérios para postos de combustíveis, na qual fica estabelecido pelo Art. n° 21 que postos com lavagem de veículos devem possuir um sistema de tratamento primário constituído por uma caixa de separação de material sedimentável e uma caixa de separação de água e óleo (caixa SAO). Ainda, de acordo com o parágrafo único, os postos que realizarem a lavagem de veículos pesados deverão implantar sistema de tratamento complementar.

Alguns estudos têm sido desenvolvidos no âmbito de avaliar diferentes sistemas de tratamento de efluentes provenientes da lavagem de veículos. Exemplos destas tecnologias são: sistema de flotação (RUBIO et al., 2007; RUBIO e ZANETI, 2009; ZANETI et al., 2011), oxidação eletroquímica (PANIZZA e CERISOLA, 2010), ultrafiltração (HAMADA e MIYAZAKI, 2004; LAU et al., 2013) e nanofiltração por sistema de separação por membrana (BOUSSU et al., 2007; LAU et al., 2013).

O sistema de tratamento via coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido (FAD) vem sendo utilizado por empreendimentos que realizam a lavagem de veículos para promover o tratamento de seu efluente.

Os coagulantes à base de taninos e de policloreto de alumínio (PAC) são amplamente utilizados como agentes desestabilizantes. O PAC ou hidroxicloreto de alumínio é um coagulante inorgânico pré-polimerizado a base de cloreto de polialumínio e composto ativo o óxido de alumínio (Al_2O_3), que atua no tratamento de água potável e efluente industrial, apresentando-se como um coagulante superior a outros sais de alumínio frequentemente utilizados (PAVANELLI, 2001; SRIVASTAVA et al., 2005). Este tem como fórmula molecular $Al_n(OH)_nCl_{3n-m}$, a relação $m/3n \cdot 100$ representa a basicidade do produto, desta forma o PAC libera uma quantidade menor de ácido durante o processo de hidrólise do que outros coagulantes, promovendo uma menor variação do pH do meio tratado (PAVANELLI, 2001).

Dependendo da concentração do alumínio no solo ou na água, pode causar impactos ambientais devido a sua toxicidade, além disso, de acordo com Baird (2002) existem alguns indícios que a ingestão humana de alumínio, procedente de água potável

fosse uma das causas da doença relacionadas ao sistema neurológico. Levando-se em consideração aos aspectos relacionados ao sistema de tratamento por coagulação/floculação, os coagulantes à base de alumínio podem proporcionar a acidificação do efluente tratado, devido à precipitação de íons Al^{3+} e liberação de íon H^+ (BAIRD, 2002). Além disso, o lodo gerado pelo tratamento fica classificado como resíduo perigoso de acordo com a ABNT NBR nº 14.0004:2004. Em contrapartida, os coagulantes à base de tanino não proporcionam tal efeito.

O tanino é um complexo fenólico orgânico de carga catiônica e de origem vegetal, sendo extraído da casca de diferentes espécies de árvores, como da Acácia negra (*Acacia mearnsi*) dentre outras (SILVA 1999; CASTRO-SILVA et al., 2004). Ele pode atuar como coagulante, floculante e auxiliar de coagulação no tratamento de águas para abastecimento e águas residuárias, por meio da desestabilização dos colóides através da eliminação da camada de solvatação, reduzindo o potencial zeta durante o processo de coagulação, permitindo desta forma, a formação dos flocos (SILVA, 1999).

O efluente bruto da lavagem veicular pode apresentar uma variação de suas características físico-químicas que podem dificultar porá eficiência de tratamento por processos físico-químicos, desta forma, após o tratamento de separação de óleo e de sólidos e em complemento ao sistema de FAD, pode-se promover a incorporação de um sistema de tratamento visando conferir uma melhor qualidade ao efluente. A filtração em meio granular tem sido amplamente utilizada como sistema de tratamento complementar de águas residuárias para a remoção de sólidos em suspensão, matéria orgânica e outros compostos (MELO, 2014), ou ainda ser aplicado como tratamento secundário.

No sistema de filtração os mecanismos responsáveis pela remoção do material particulado das águas residuárias são: transporte, aderência e desprendimento, sendo estes influenciados pelas características físico-químicas das partículas, da água e do material filtrante (JIMENEZ et al., 2010). Dentre as características das águas residuárias que podem influenciar no tratamento via filtração estão: tamanho das partículas, distribuição de tamanhos, carga e força das partículas sólidas ou flocos (STEVIK et al., 2004). O material em suspensão presente nas águas residuárias apresenta carga negativa, desta forma, há uma força de repulsão entre as partículas, tornando-as estáveis. Assim como no tratamento via flotação por ar dissolvido, a adição de coagulantes químicos inorgânicos e polímeros orgânicos podem aumentar a eficiência do tratamento por filtração ao promover uma desestabilização das partículas e formação

dos flocos, pela ocorrência dos processos de coagulação/floculação, permitindo uma maior retenção do material particulado pelo material filtrante.

O tratamento por filtração pode ser desenvolvido a partir de um sistema com baixa taxa superficial (filtração lenta) ou com uma alta taxa (filtração rápida); filtração em meio filtrante poroso (argila e filtro de papel) ou granular (areia, antracito e cascalho), com fluxo ascendente, descendente ou por uma combinação de ambos; e o sistema de filtração por ocorrer sob pressão ou por ação da gravidade (MELO, 2014).

O sistema de filtração em meio granular sob pressão pode ser aplicado ao tratamento de efluente proveniente da lavagem veicular e empregado como pós-tratamento do sistema de flotação por ar dissolvido, visando aumentar a eficiência no tratamento do efluente ou ainda como um sistema independente, podendo ser precedido de um sistema de coagulação/floculação para aumentar a sua eficiência.

Muitos dos empreendimentos que realizam a lavagem veicular enfrentam problemas quanto ao lançamento de seus efluentes, mesmo após o tratamento realizado, sendo comum o descarte em sistemas de águas pluviais, o que não é recomendável. Um modo de conter esta problemática é a realização da reciclagem do efluente tratado, reutilizando-o na própria lavagem dos veículos. O reúso pode ser lucrativo para o empreendedor, uma vez que haverá uma redução do consumo de água potável, reduzindo custos.

Quando se visa o reúso de efluentes na lavagem de veículos, deve-se levar em consideração o controle de alguns parâmetros físico-químicos, como sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), turbidez, pH, dentre outros (ANA/FIESP e SINDUSCON-SP, 2005), pois estes podem acelerar o processo de corrosão da carroceria dos veículos.

O presente trabalho teve como objetivo promover o tratamento de efluente oriundo da lavagem de ônibus de transporte intermunicipal e interestadual de uma empresa localizada na cidade de Londrina, Paraná. Os sistemas de tratabilidade foram avaliados em escala de bancada: sistema de tratamento por coagulação/floculação/FAD (CFF); sistema de tratamento por coagulação/floculação/FAD seguido de pós-tratamento por filtração em meio granular sob pressão (CFF-F); sistema de tratamento por coagulação/floculação/filtração em meio granular sob pressão (CF-F) e filtração direta em meio granular sob pressão, utilizando os coagulantes AQUAFLOC/LS e AQUA-PAC. Este efluente foi caracterizado por análises físico-químicas e o consumo e geração de efluentes foram estimados.

2 METODOLOGIA

2.1 EFLUENTE DE ESTUDO

O efluente empregado para o desenvolvimento deste trabalho foi proveniente da atividade de lavagem de ônibus de uma empresa de viação intermunicipal e interestadual localizada na cidade de Londrina, Paraná.

A empresa possui um sistema semi-automatizado para a lavagem dos ônibus, sendo utilizado o equipamento *rollover* (Figura 1) e finalizado manualmente.



Figura 1. Equipamento *rollover* empregado para a lavagem dos ônibus

Uma estação de tratamento de efluentes compacta promove o tratamento do efluente gerado pelo setor de lavagem veicular e de uma lavanderia, a qual promove a lavagem de cobertores, capas de poltronas e de cobertores. A estação de tratamento em funcionamento é constituída por um flotor por ar dissolvido (FAD) e por dois reatores biológicos. As etapas do tratamento realizado estão descritas no fluxograma da Figura 2.

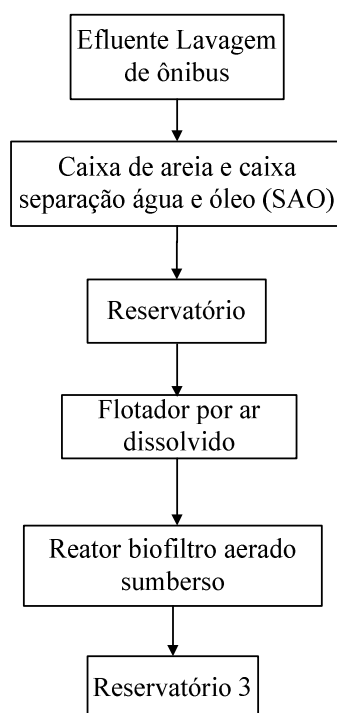


Figura 2. Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes empregado na empresa de ônibus rodoviário

No tratamento via FAD, o coagulante empregado para ocorrência da coagulação/floculação é o cloreto de polialumínio (PAC) e como auxiliar de coagulação é empregado um polímero a base de acrilamida e acrilato de sódio. Os parâmetros técnicos do flotador por ar dissolvido em funcionamento na empresa estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros técnicos do flotador por ar dissolvido empregado na estação de tratamento de efluentes da empresa de ônibus rodoviário

Parâmetros técnicos	
Altura (m)	1,55
Diâmetro (m)	2,0
Volume (m ³)	3,14
Coagulante	Polialumínio de cloreto (PAC)
Concentração do coagulante (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	80
Auxiliar de coagulação	Polímero aniônico
Taxa de aplicação no flotador (m ³ m ⁻² dia ⁻¹)	70

O sistema biológico aplicado como pós-tratamento do efluente do flotador por ar dissolvido é o biofiltro aerado submerso, nesta estação são empregados dois reatores dispostos em paralelo. Cada reator possui capacidade volumétrica de 10 m³ de efluentes e o material suporte utilizado é o anel de Pall.

2.2 LEVANTAMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O levantamento do consumo de água do setor de lavagem de ônibus foi realizado mediante a determinação do volume de água destinado à caixa de separação de água e óleo (caixa SAO), por meio da medição da diferença do nível da água antes e após o acionamento da bomba que encaminha o efluente para a estação de tratamento. Esta medição foi realizada com a utilização de uma trena.

Durante o período de levantamento dos dados, o número de ônibus lavado foi contabilizado para estimar o volume de água necessário para a lavagem de cada veículo. O levantamento dos dados foi realizado por 3 dias, sendo 2 dias de período seco e após um dia de precipitação.

O efluente foi caracterizado de acordo com os parâmetros físico-químicos descritos na Tabela 2, estas análises foram realizadas seguindo as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Tabela 2. Análises físico-químicas para caracterização do efluente da lavagem dos ônibus

Parâmetro	Método analítico
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	5220 D – Método colorimétrico, refluxo fechado 2540 B – Sólidos totais secos a 103-105°C; 2540
Série de sólidos (mg L ⁻¹)	D – Sólidos suspensos totais secos a 103-105°C; 2540 E – Sólidos fixos e voláteis inflamados a 550°C
Nitrogênio NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	4500 N _{org} C – Método semi-micro Kjeldahl
Nitrogênio amoniacal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	4500-NH ₃ C – Método titulométrico
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	4500-NO ₃ ⁻ B – Método espectrofotométrico
Fósforo total (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	4500 P – Método redução com ácido ascórbico
Surfactantes (mg L ⁻¹)	5540 C – MBAS (substâncias que reagem ao azul de metileno)
Condutividade elétrica (µS cm ⁻¹)	2510 B – Método de laboratório
Turbidez (UNT)	2130 B – Método nefelométrico
Cor aparente (UH)	2120 C - Método de espectrofotometria
pH	4500 H ⁺ B – Método eletrométrico

2.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Poluentes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Londrina. Os testes foram realizados no equipamento de teste de jarros, com capacidade de 2 litros dotados para flotação em escala de bancada e um compressor de ar (Figura 3). Um sistema de filtração em meio granular sob pressão em escala de bancada também foi empregado nos ensaios de tratabilidade.



Figura 3. Equipamento Jar Test e compressor de ar empregado nos ensaios de tratabilidade

As etapas dos ensaios de tratabilidade desenvolvidos ao longo deste estudo são apresentadas no fluxograma da Figura 4. Estas compreenderam os ensaios experimentais por coagulação/flotação/FAD (CFF), coagulação/floculação/FAD seguido por filtração em meio granular sob pressão (CFF-F), coagulação/floculação/filtração em meio granular sob pressão (CF-F) e filtração em meio granular sob pressão como sistema de tratamento independente.

Os ensaios CFF1, CFF1-F e CF1-F correspondem aos ensaios em que se empregaram o coagulante AQUAFLOC/LS, enquanto que os ensaios CFF₂, CFF₂-F e CF₂-F foram realizados com o coagulante AQUA-PAC.

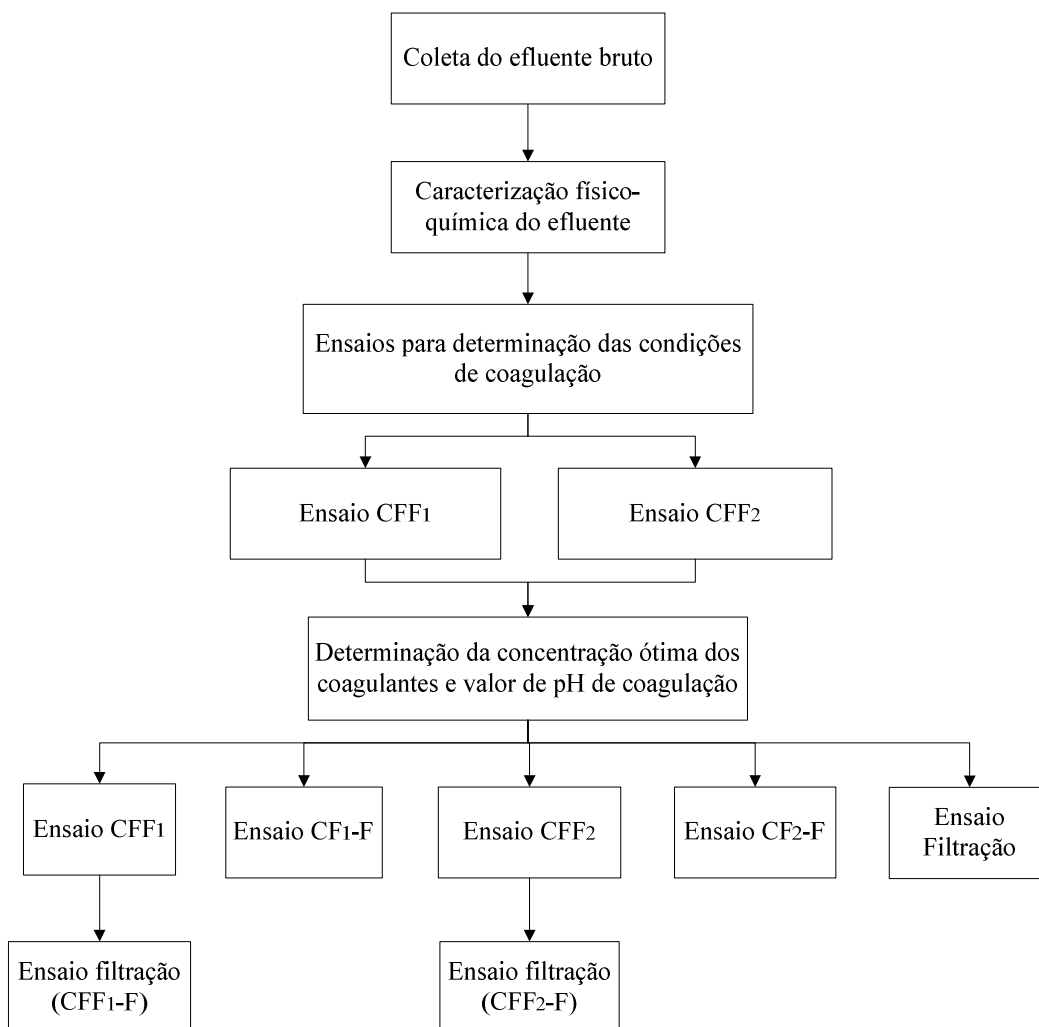


Figura 4. Fluxograma das etapas dos ensaios de tratabilidade desenvolvidos com o efluente bruto

2.3.1 Coleta do Efluente

Para a realização dos ensaios de tratabilidade, o efluente bruto da lavagem veicular foi coletado após caixa de separação de água e óleo (caixa SAO) (Figura 5). A amostragem foi composta, totalizando três coletas ao longo do dia.



Figura 5. Caixa SAO onde foi realizada a coleta do efluente bruto da lavagem de ônibus

2.3.2 Coagulantes Empregados

Os coagulantes empregados nos ensaios de tratabilidade foram o AQUAFLOC/LS (tanino) e AQUA-PAC (policloreto de alumínio), ambos adquiridos na empresa PureWater. O auxiliar de coagulação utilizado nos ensaios foi o polímero aniônico a base de acrilamida e acrilato de sódio, este foi utilizado pela empresa de transporte no sistema de tratamento. As características físico-químicas destes coagulantes e do auxiliar de coagulação estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Características físico-químicas dos coagulantes AQUAFLOC/LS e AQUA-PAC e do auxiliar de coagulação

Características	AQUAFLOC/LS	AQUA-PAC	Polímero aniônico
Densidade específica (g cm ⁻³)	1,05 a 1,15	>1,15	1,0 a 1,1
pH	1,3 – 2,9	1,4 – 3,0	7,5 a 9,0
Concentração ativa (%)	>23	>16 (Al ₂ O ₃)	Concentrado
Solubilidade em água	Solúvel	Solúvel	Não disponível
Cor	Castanho escuro ou avermelhado	Âmbar	Pó claro

Fonte: Fabricante PureWater <<http://www.purewaterrefluentes.com.br/>>

2.3.3 Determinação das Condições de Coagulação por CFF

2.3.3.1 Delineamento experimental

O planejamento estatístico utilizado nos ensaios de CFF foi o Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR).

Os ensaios de CFF foram realizados em duas etapas. As variáveis independentes aplicadas aos ensaios da etapa 1 foram: pH de coagulação e concentração do coagulante à base de tanino (AQUAFLOC/LS). Na etapa 2, empregou-se as variáveis independentes: concentração do coagulante AQUA-PAC e do polímero aniônico.

As faixas de dosagens dos coagulantes, do auxiliar polímero e a faixa de pH de coagulação estabelecidas para os ensaios das duas etapas estão descritas na Tabela 4.

Tabela 4. Concentração dos coagulantes, polímero e pH de coagulação, para a ocorrência da coagulação/floculação

Condições de coagulação	Etapa 1	Etapa 2
Coagulante AQUAFLOC/LS (mg L ⁻¹)	20 a 120	-
pH de coagulação	6,00 a 9,00	6,83*
Coagulante AQUA-PAC (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	-	45 a 85
Polímero (mg L ⁻¹)	-	0,0 a 0,6

***pH do efluente bruto**

As dosagens dos coagulantes e do auxiliar de coagulação foram determinadas por meio da realização de ensaios preliminares. A faixa de pH de coagulação determinada para o ensaio da etapa 1 está relacionada com a faixa de pH estabelecida para o lançamento de efluentes, de acordo com a Resolução CONAMA n°430/2011, sendo de 5,00 a 9,00. Para os ensaios da etapa 2, o pH de coagulação empregado foi o pH do efluente bruto, este foi determinado por ensaios preliminares.

As concentrações dos coagulantes, do polímero e os valores de pH de coagulação estabelecidos pelo método DCCR para as etapas 1 e 2 estão descritos nas Tabelas 5 e 6, respectivamente.

Tabela 5. Valores reais de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e valores de pH de coagulação determinados pelo método DCCR para os ensaios de CFF₁

Ensaio	Valores codificados		Valores reais	
	Concentração AQUAFLOC/LS	pH de coagulação	Concentração AQUAFLOC/LS (mg L ⁻¹)	pH de coagulação
1	-1	-1	34,5	6,40
2	1	-1	105,5	6,40
3	-1	1	34,5	8,50
4	1	1	105,5	8,50
5	-1,41	0	20,0	7,50
6	1,41	0	120,0	7,50
7	0	-1,41	70,0	6,00
8	0	1,41	70,0	9,00
9	0	0	70,0	7,50
10	0	0	70,0	7,50
11	0	0	70,0	7,50
12	0	0	70,0	7,50

Tabela 6. Valores reais da concentração do coagulante AQUA-PAC e do polímero determinados pelo método DCCR para os ensaios de CFF₂

Ensaio	Valores codificados			Valores reais	
	Concentração AQUA-PAC	Concentração polímero	pH de coagulação	Concentração AQUA-PAC (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	Concentração polímero (mg L ⁻¹)
1	-1	-1	6,83	50,8	0,09
2	1	-1	6,83	79,2	0,09
3	-1	1	6,83	50,8	0,51
4	1	1	6,83	79,2	0,51
5	-1,41	0	6,83	45,0	0,30
6	1,41	0	6,83	85,0	0,30
7	0	-1,41	6,83	65,0	0,00
8	0	1,41	6,83	65,0	0,60
9	0	0	6,83	65,0	0,30
10	0	0	6,83	65,0	0,30
11	0	0	6,83	65,0	0,30
12	0	0	6,83	65,0	0,30

Os parâmetros tempo de mistura e gradientes de velocidade média, para ocorrência da coagulação e floculação, são apresentados na Tabela 7. Estes parâmetros foram estabelecidos de acordo com os critérios e parâmetros de projeto descritos por Aisse et al., (2001) para o tratamento de efluentes. A mistura rápida visa obter uma dispersão rápida e homogênea do coagulante. Assim, o gradiente de velocidade pode variar entre 700 e 1500 s⁻¹. Para a fase de floculação que visa o desenvolvimento dos flocos é recomendado realizar a floculação escalonada, com valores decrescentes, visando aumentar a eficiência do processo. Os valores mais usuais de gradientes de

velocidades empregados para a ocorrência da floculação estão entre 10 e 100 s⁻¹ (AISSE et al., 2001).

Tabela 7. Condições para ocorrência da coagulação e floculação

	Tempo (minutos)	Velocidade de agitação (rpm)	Gradiente de velocidade (s⁻¹)
G _{1mr}	1	400	800
G _{2ml}	10	80	90
G _{3ml}	5	60	50
G _{4ml}	5	40	30

G: gradientes

mr: mistura rápida

ml: mistura lenta

A pressão na câmara de saturação foi de 6 bar e a taxa de recirculação de ar saturado foi de 20%. As taxas de aplicação superficial estabelecidas foram de 150 e 70m³ m⁻² dia⁻¹, correspondendo às velocidades ascensionais de 0,17 e 0,08 cm s⁻¹ e aos tempos de coletas de 43 e 92 segundos, respectivamente. A taxa de aplicação de 70m³ m⁻² dia⁻¹ corresponde à taxa aplicada no sistema FAD da estação de tratamento da empresa de viação. Optou-se em utilizar a taxa de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ visando avaliar o sistema quando há o aumento da velocidade ascensional.

As análises físico-químicas empregadas para determinar as condições de coagulação com relação à concentração dos coagulantes foram DQO, turbidez, cor aparente, pH e condutividade elétrica.

Os modelos matemáticos gerados pelo método DCCR foram validados estatisticamente pela análise de variância (ANOVA) a um nível de confiança de 95%.

2.3.3.2 Determinação dos pontos otimizados de concentração dos coagulantes e valor de pH de coagulação

Foram determinadas por meio das curvas de contorno as condições de coagulação com relação à concentração dos coagulantes utilizados e a faixa de pH de coagulação. Sendo assim, a etapa 1 possui uma faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e de pH de coagulação de maior atuação na remoção dos parâmetros

analisados, enquanto que a etapa 2 possui uma faixa de concentração AQUA-PAC e de polímero aniônico.

A partir da faixa de atuação dos coagulantes e pH de coagulação estabelecidas, foram determinados pontos considerados de maior eficiência para serem melhor avaliados com relação à remoção de matéria orgânica, sólidos, nitrogênio, fósforo e surfactantes. As análises físico-químicas empregadas para avaliar a eficiência destes pontos estão descritas na Tabela 2.

2.3.4 Ensaio de Tratabilidade

Foram avaliados diferentes sistemas de tratabilidade visando à obtenção de um efluente passível de ser reutilizado no setor de lavagem dos ônibus. Os sistemas de tratamento testados estão descritos no fluxograma da Figura 6, estes foram avaliados com relação à remoção dos parâmetros físico-químicos descritos na Tabela 2.

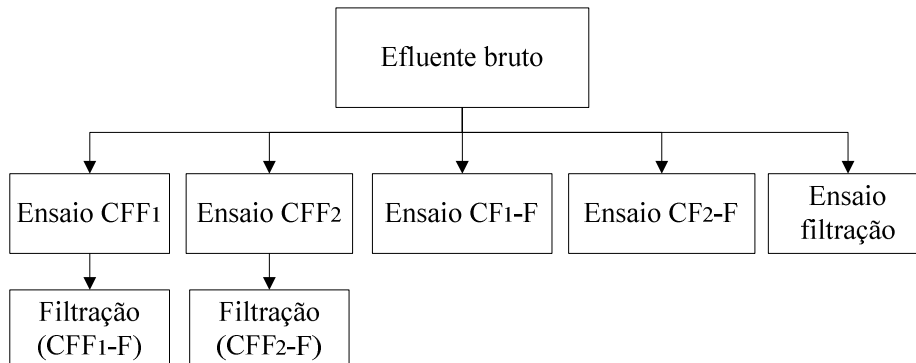


Figura 6. Fluxograma dos sistemas combinado de tratabilidade avaliados

Para a realização dos ensaios de filtração foi desenvolvido em escala de bancada um filtro de areia sob pressão de fluxo descendente. O filtro em questão é constituído por cano de PVC e cano de acrílico contendo como material filtrante areia e cascalho (Figura 7). Uma bomba dosadora de diafragma modelo DLX MA/AD foi utilizada para o bombeamento do efluente.

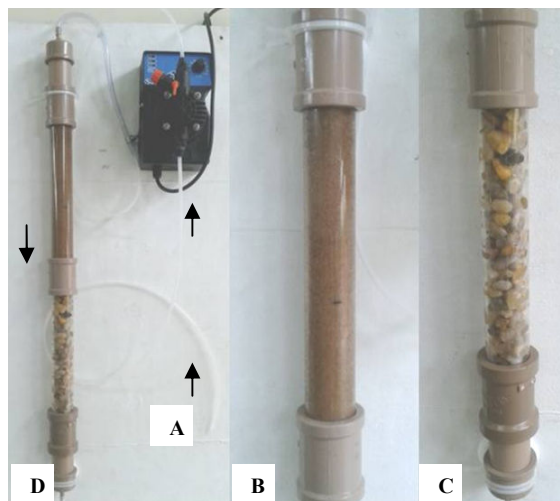


Figura 7. Filtro de areia sob pressão em escala de bancada. A) Tubulação de coleta de efluente destinado a filtração. B) Filtro de areia. C) Filtro de cascalho. D) Saída do efluente tratado

O dimensionamento do sistema de filtração foi baseado na Resolução NBR n° 10.339/1988, que dispõe sobre a execução de projetos de piscinas e de sistemas de recirculação e tratamento. Os parâmetros técnicos do filtro estão dispostos na Tabela 8.

Tabela 8. Dimensões do filtro de meio granular sob pressão

Parâmetros	
Diâmetro (m)	0,04
Altura da camada filtrante de areia (m)	0,30
Altura da camada de cascalho (m)	0,36
Vazão ($\text{m}^3 \text{dia}^{-1}$)	0,216
Taxa de aplicação ($\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$)	171,40

A areia empregada para filtração possui diâmetro efetivo entre 0,40 e 0,59 mm. Para evitar o arraste deste material durante a filtração do efluente, telas de inox de 45 mesh foram alocadas nas três luvas de conexão entre os tubos (Figura 8).

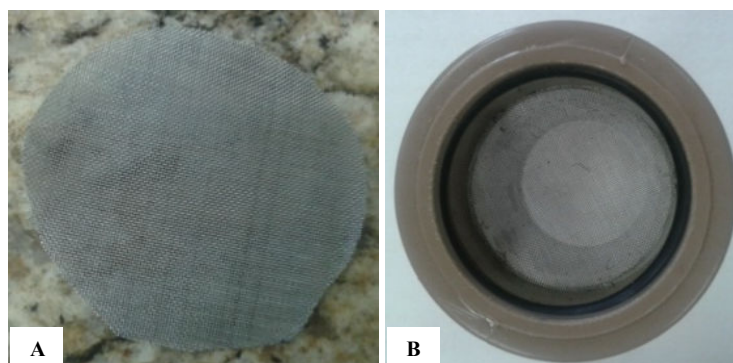


Figura 8. A) Tela de inox de 45 mesh com 0,4 mm de diâmetro. B) Tela de inox disposta dentro da luva de conexão entre as tubulações

O meio filtrante foi lavado com água destilada após cada ensaio de tratabilidade, visando minimizar qualquer interferência nas análises físico-químicas.

2.3.4.1 Ensaio de tratabilidade por CFF-F

Os ensaios de tratabilidade empregando filtração em meio granular sob pressão como pós-tratamento do sistema de CFF foram realizados em duas etapas, de acordo com o coagulante empregado. No ensaio da etapa 1 (CFF₁-F), empregou-se o coagulante AQUAFLOC/LS e na etapa 2 (CFF₂-F), utilizou-se o AQUA-PAC. As dosagens dos coagulantes foram baseadas nas concentrações ótimas estabelecidas pelos ensaios de CFF descritos na seção 2.3.3.2.

As condições de coagulação e floculação foram as mesmas empregadas nos ensaios de CFF descritas na Tabela 7.

2.3.4.2 Ensaio de tratabilidade por CF-F

Os ensaios visando avaliar o sistema de tratabilidade por CF-F foram divididos em duas etapas, de acordo com o coagulante empregado. Na etapa 1, se empregou o coagulante AQUAFLOC/LS (CF₁-F) e na etapa 2, o coagulante AQUA-PAC (CF₂-F). As dosagens utilizadas, também foram baseadas nas concentrações ótimas estabelecidas pelos ensaios realizados na seção 2.3.3.2.

As condições de coagulação/floculação relacionadas aos gradientes de velocidades estão descritas na Tabela 9. Optou-se por essas condições de coagulação/floculação visando obter uma maior dispersão do coagulante e desestabilização dos flocos.

Tabela 9. Condições de coagulação e floculação

	Tempo (minutos)	Velocidade de agitação (rpm)	Gradiente de velocidade (s^{-1})
G _{1mr}	1	400	800
G _{2ml}	2	60	50

G: gradientes.

mr: mistura rápida.

ml: mistura lenta.

2.3.4.3 Ensaio de filtração em meio granular sob pressão

Os ensaios de filtração em meio granular sob pressão foram realizados sem a ocorrência da coagulação/floculação. O pH dos efluentes não foram modificados para o tratamento, permanecendo o pH do efluente bruto.

3 RESULTADOS

3.1 ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ÁGUA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O setor de lavagem de ônibus possui a capacidade para promover a lavagem de aproximadamente 168 ônibus por dia, visto que este setor funciona 24 horas por dia, todos os dias da semana. O consumo médio de água para a lavagem dos veículos varia de acordo com as condições climáticas, como verificado na Tabela 10. Em períodos de seca, o consumo médio de água por ônibus é de $0,39 \text{ m}^3$, enquanto que após período de precipitação o volume médio consumido é de $0,58 \text{ m}^3$ por ônibus, aproximadamente 33% a mais do volume consumido em períodos sem chuva.

Tabela 10. Estimativa do consumo de água para lavagem dos ônibus

Período	Estimativa do consumo médio de água por ônibus (m^3)	Varição do consumo de água por ônibus (m^3)	Estimativa do consumo médio de água por dia (m^3)
Seco	0,39	0,20 – 0,60	65,52
Após precipitação	0,58	0,40 – 0,70	97,44

De acordo com os dados do INMET (2016), a quantidade de dias sem precipitação no ano de 2016 para a cidade de Londrina foi de 253 dias. Levando-se em consideração que a quantidade de dias sem precipitação ultrapassa os dias com precipitação, considerou-se que o volume médio de consumo de água e geração de efluentes está entorno de $65,52 \text{ m}^3$ por dia, visto que esse valor foi determinado em um período sem precipitação.

Os produtos químicos empregados pela empresa para a lavagem dos ônibus estão descritos no Quadro 1, assim como suas características. Dentre os produtos empregados neste setor, destacam-se os produtos derivados de tensoativos, detergentes.

Quadro 1. Produtos empregados no setor de lavagem de ônibus

Setor	Produtos	Características
Lavagem de ônibus	Top plus desengraxante	Desengraxante de superfícies metálicas, rodas, chassi, motores de veículos. Tensoativo aniônico; estabilizantes; espessantes; fluoreto de hidrogênio; conservantes; (pH 2,40 a 3,50)
	Masterfill	Para limpeza de superfície sensível: parabrisa. Tensoativo aniônico (Lauril éter sulfato de sódio); alcalinizante (Metassiliato de sódio); conservante (Isotiazolinonas) – prolonga a vida útil; (pH 7,00 a 7,50)
	Detergente Azulask	Detergente automotivo para lavagem de lataria. Tensoativo aniônico (Lauril éter sulfato de sódio); estabilizante (Trietanolamina); neutralizante (neutralizar ou alcalinizar o sistema); espessante (Sulfato de magnésio penta-hidratado); opalescente (elimina a translucidez e proporciona branqueamento ao sistema; conservante; (pH 7,20 a 8,50)
	Limpador Mill	Para limpeza de superfícies laváveis, como pisos, superfícies gordurosas, esmaltadas ou plásticas. Tensoativo aniônico (Lauril éter sulfato de sódio); alcalinizante (Metassiliato de sódio); (pH 10,00 a 11,00)
	Desinfetante Monogran Água Ken	Desinfetante de uso geral Cloro de benzalcônico (Algicida/bactericida de amplo espectro); cloro-2-metil-4-isotiazolin-ona, 2-metil-4-isotiazolin-3-ona, bromo-2-nitro-2-propanodional (conservante para desinfetantes em geral); (pH 6,50 a 7,80)

A caracterização físico-química do efluente bruto da lavagem de ônibus é apresentada na Tabela 11. Este efluente caracterizou-se por atingir valores elevados com relação aos parâmetros cor, surfactantes, sólidos totais e sólidos dissolvidos.

Tabela 11. Caracterização do efluente bruto da lavagem de ônibus

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Média	CV (%)	Limite admissível para lançamento*
Cor aparente (UH)	159	665	310 ± 165	53	-
Turbidez (UNT)	33,2	194,0	74,6 ± 56,5	76	-
pH	6,75	7,80	7,00 ± 0,20	3	5,00 a 9,00
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	127	337	170 ± 30	18	≤ 300
Condutividade elétrica (µS cm ⁻¹)	438,7	594,5	479,1 ± 53,5	11	-
ST (mg L ⁻¹)	392	617	495 ± 113	23	-
STV (mg L ⁻¹)	182	247	218 ± 33	15	-
STF (mg L ⁻¹)	210	370	277 ± 83	30	-
SST (mg L ⁻¹)	35	52	47 ± 10	22	-
SSV (mg L ⁻¹)	25	32	29 ± 3	13	-
SSF (mg L ⁻¹)	2	27	18 ± 13	76	-
SD (mg L ⁻¹)	340	582	448 ± 123	28	-
SDV (mg L ⁻¹)	152	215	189 ± 32	17	-
SDF (mg L ⁻¹)	187	367	259 ± 95	37	-
Surfactante (mg L ⁻¹)	23,6	31,3	30,2 ± 1,9	6	≤ 2,0
Fósforo total (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	0,97	1,20	0,74 ± 0,57	76	-
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,30	0,39	0,40 ± 0,11	27	-
N- amoniacal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	1,12	6,72	3,29 ± 3,01	91	20,00
NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	2,24	14,30	7,93 ± 6,05	76	-

CV: Coeficiente de variância

Fonte: *Resolução CONAMA nº 430/2011 e Resolução SEMA nº 021/2011

As variáveis analisadas apresentaram uma variação ao longo da amostragem, com exceção do pH. Esta variação pode estar relacionada com as atividades realizadas no momento anterior a amostragem, como por exemplo, a lavagem do pátio de abastecimento, ao uso de determinado produto de limpeza ou a ocorrência de um período de precipitação.

Os detergentes sintéticos são constituídos por matéria orgânica que possuem a característica surfactante em solução aquosa, este representa de 20% a 30% da composição dos detergentes sintéticos (SAWYER, 1994). Para a utilização na lavagem veicular, os detergentes automotivos são utilizados em proporções de diluição com água, estas variam de acordo com as especificações do fabricante.

O efluente apresentou uma elevada concentração de surfactante, não se enquadrando no determinado pelo inciso IV do art. 22 da Resolução SEMA nº 21/2011, para o lançamento de efluentes. A elevada concentração deste parâmetro no efluente está relacionada com a utilização de diferentes produtos a base de tensoativos, como verificado no Quadro 1.

A concentração de fósforo encontrada no efluente foi inferior a 2 mg P-PO₄ L⁻¹, que pode ser considerada relativamente baixa, fato que pode ser explicado pela

substituição progressiva dos detergentes a base de fósforo por derivados de nitrilotriacetato de sódio, carbonato de sódio e EDTA. Esta substituição está relacionada com os possíveis impactos ambientais que os compostos a base de fósforo podem causar aos corpos hídricos receptores, como a eutrofização (BAIRD, 2002).

O pH do efluente bruto não apresentou valores elevados, mantendo-se dentro da faixa de 6,00 a 8,00. Se enquadrando na faixa de pH estabelecido para lançamento de efluente de acordo com a Resolução CONAMA n° 430/2011. De acordo com a caracterização do efluente da lavagem veicular realizada por Rubio e Zaneti (2009), o pH médio deste efluente está entorno de 7,00, enquanto que pela caracterização realizada por Kiran et al., (2015) o pH apresentou uma variação de 6,30 a 7,50 e de 6,51 a 8,74 pela caracterização realizada por Lau et al., (2013). Em geral, o pH do efluente da lavagem veicular está compreendido de 6,00 a 9,00.

A maior parcela dos sólidos presentes no efluente está na forma dissolvida, representando cerca de 87% a 94% do total. De acordo com a caracterização realizada por diferentes estudos, a concentração de sólidos dissolvidos neste tipo de efluente pode apresentar uma variação significativa. Segundo Rubio e Zaneti (2009), a concentração média deste parâmetro averiguada foi de 452 mg L^{-1} , enquanto que de acordo com Lau et al., (2013), a concentração variou de 89 a 152 mg L^{-1} e de 650 a 775 mg L^{-1} segundo Kiran et al., (2015). Um aspecto relevante é que os sólidos presentes no efluente são em sua maioria compostos inorgânicos, determinados pelas análises de sólidos fixos.

A condutividade elétrica do efluente da lavagem bruto da lavagem de veículos segundo alguns estudos realizados, pode variar de 150 a $1570 \mu\text{S cm}^{-1}$ (RUBIO e ZANETI, 2009; LAU et al., 2013; KIRAN et al., 2015). Neste estudo, a condutividade elétrica do efluente variou entre 439 e $595 \mu\text{S cm}^{-1}$ (vide Tabela 11).

O efluente bruto atingiu valores de DQO de 155 a $337 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (vide Tabela 11). De acordo com a caracterização realizada por Rubio e Zaneti (2009), a DQO média foi de $259 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, já Lau et al., (2013) obtiveram um valor de DQO média de $738 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, enquanto que Kiran et al., (2015) obtiveram valores de 150 a $175 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$.

A concentração de nitrogênio amoniacal no efluente bruto foi inferior a $10 \text{ mg N-NH}_4^+ \text{ L}^{-1}$, concentração inferior ao valor máximo admissível pela Resolução CONAMA n° 430/2011. A concentração de nitrato no efluente também foi relativamente baixa, não ultrapassando a concentração máxima de $0,39 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ L}^{-1}$. O nitrogênio total apresentou uma concentração máxima de $14,3 \text{ mg N-NTK L}^{-1}$.

3.2 ENSAIOS DE CFF PARA DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES OTIMIZADAS DE COAGULAÇÃO

As características físico-químicas do efluente bruto da lavagem de ônibus aplicado ao tratamento de água por CFF com os coagulantes AQUAFLOC/LS e AQUA-PAC com o polímero aniônico estão descritas na Tabela 12.

Tabela 12. Caracterização físico-química do efluente bruto da lavagem de ônibus para os ensaios de CFF

Parâmetros	Média
Cor aparente (UH)	247
Turbidez (UNT)	48,7
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	162
Condutividade elétrica (µS cm ⁻¹)	451,6
pH	6,79

De acordo com os resultados dos ensaios de tratabilidade empregando o coagulante AQUAFLOC/LS, verificou-se eficiências de remoção do parâmetro cor aparente superiores a 94%, com uma cor aparente residual entre 8 e 15 UH (vide Tabela 13).

De acordo com os gráficos de curva de contorno para a variável resposta remoção de cor aparente (Figura 9-A e 9-B), a faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS que apresentou uma maior eficiência, foi de aproximadamente 60 a 110 mg L⁻¹. Enquanto que a faixa de pH de coagulação foi de 6,00 a 7,30, para ambas as taxas de aplicação superficial avaliadas.

Tabela 13. Características físico-químicas do efluente da lavagem de ônibus pós-tratamento via CFF₁

Ensaio	Concentração AQUAFLOC/ LS (mg L ⁻¹)	pH de coagulação	pH pós- tratamento	Cor aparente (UH)		Eficiência remoção de cor (%)		Turbidez (UNT)		Eficiência remoção de turbidez (%)		DQO (mg O ₂ L ⁻¹)		Eficiência remoção de DQO (%)		Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	
				T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
1	34,5	6,40	7,04	14	13	94	95	3,15	2,00	94	96	89	84	42	46	418,3	438,6
2	105,5	6,40	7,00	9	9	96	96	1,72	1,46	96	97	84	82	46	47	421,1	421,5
3	34,5	8,50	8,22	85	72	65	70	17,70	13,00	64	73	121	111	22	29	377,0	377,6
4	105,5	8,50	8,00	36	36	85	85	5,95	5,13	88	89	106	92	32	41	379,7	380,6
5	20,0	7,50	7,80	75	54	69	78	20,70	10,70	57	78	116	101	25	35	349,1	348,0
6	120,0	7,50	7,65	9	8	96	97	1,97	1,48	96	97	80	80	48	48	365,3	363,7
7	70,0	6,00	6,62	9	8	96	97	1,64	1,55	97	97	78	70	50	55	358,2	354,2
8	70,0	9,00	8,73	54	53	78	78	7,74	7,04	84	86	112	88	28	43	391,0	391,5
9	70,0	7,50	7,74	11	9	95	96	1,72	1,68	96	97	87	78	44	50	359,6	358,2
10	70,0	7,50	7,77	12	11	95	95	2,40	1,74	95	96	73	78	53	50	361,5	365,2
11	70,0	7,50	7,82	15	12	94	95	2,14	2,13	96	96	92	87	41	44	353,0	354,3
12	70,0	7,50	7,78	13	10	95	96	1,94	1,75	96	96	82	85	47	45	352,2	347,6

T₁: Taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹T₂: Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

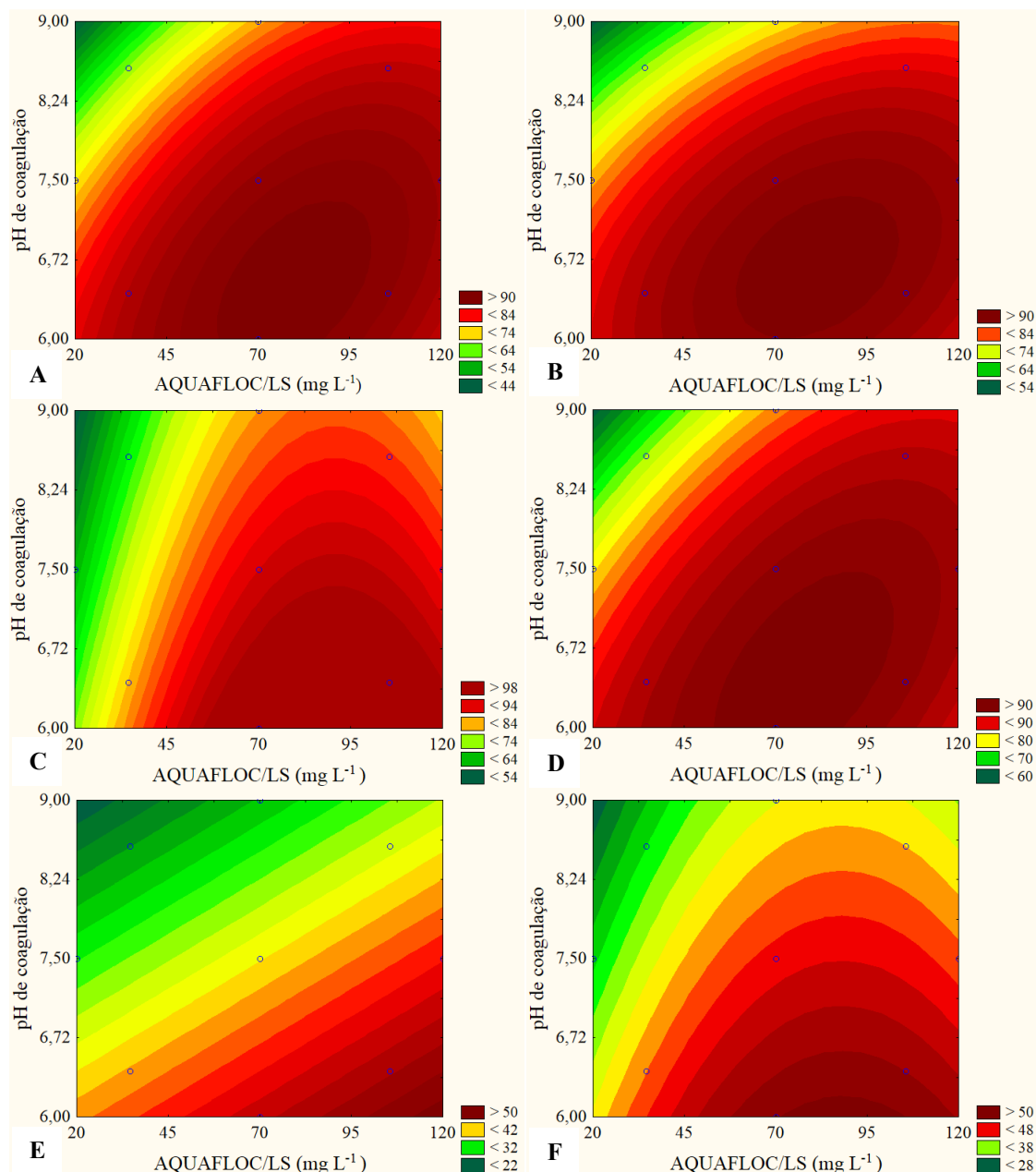


Figura 9. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUAFLOC/LS. Eficiência de remoção de cor aparente (%) A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Remoção de turbidez (%) C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Remoção de DQO (%) E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Com fatores reparametrizados

A turbidez residual do efluente após tratamento com o coagulante AQUAFLOC/LS apresentou valores de 1,64 a 20,70 UNT para a taxa de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, enquanto que para a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ os valores foram de 1,46 a 13,00 UNT (vide Tabela 13).

De acordo com os gráficos de curva de contorno, a faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS de maior eficiência para remoção da variável turbidez ocorreu de 50 a 120 mg L^{-1} para a taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 9-C),

enquanto que para a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi de 50 a 110 mg L^{-1} (Figura 9-D). Com relação à faixa de pH, este se encontrou de 6,00 a 7,50, para ambas as taxas analisadas.

O sistema FAD empregando o coagulante AQUAFLOC/LS apresentou eficiências máximas de remoção do parâmetro DQO na faixa de 50% a 55%, apresentando DQO residual de 70 a $80 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (Tabela 13).

Pelos gráficos de curva de contorno dos ensaios empregando o coagulante a base de tanino é possível verificar que para a taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ os maiores valores de remoção ocorreram com dosagem de coagulante de 100 a 120 mg L^{-1} e faixa de pH de 6,00 a 6,20 (Figura 9-E). Para a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ as maiores eficiência foram obtidas com dosagem de coagulante variando de 70 a 110 mg L^{-1} e faixa de pH de 6,00 a 6,20 (Figura 9-F).

O tratamento mediante a utilização do coagulante AQUA-PAC possibilitou a obtenção de um efluente com uma cor residual variando de 14 a 31 UH para a taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e uma cor residual de 12 a 23 UH para a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Tabela 14). Desta forma, remoções superiores a 88% e 91% foram obtidas por meio da aplicação das taxas de 150 e $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente (Tabela 14).

De acordo com os gráficos de curva de contorno para a variável resposta remoção de cor aparente, para a taxa de aplicação superficial de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, a faixa de concentração do coagulante considerada ótima foi de 60 a $70 \text{ mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ (Figura 10-A), enquanto que para a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi entre 78 e $85 \text{ mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ (Figura 10-B). O polímero aniônico empregado no tratamento não apresentou nenhuma influência na remoção do parâmetro analisado.

Tabela 14. Características físico-químicas do efluente da lavagem de ônibus pós-tratamento via CFF₂

Ensaio	Concentração AQUA-PAC (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	Concentração polímero (mg L ⁻¹)	pH pós- tratamento	Cor aparente (UH)		Eficiência remoção de cor (%)		Turbidez (UNT)		Eficiência remoção de turbidez (%)		DQO (mg O ₂ L ⁻¹)		Eficiência remoção de DQO (%)		Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	
				T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
1	50,8	0,09	6,94	23	23	91	91	5,33	4,49	89	91	92	85	46	50	467,0	435,0
2	79,2	0,09	6,83	24	13	91	95	6,44	2,48	87	95	74	84	50	50	451,1	446,0
3	50,8	0,51	6,91	22	22	91	91	4,10	4,39	92	91	93	88	45	48	420,4	416,7
4	79,2	0,51	6,71	25	14	90	94	8,43	3,15	83	94	80	83	53	53	428,3	437,2
5	45,0	0,30	6,88	20	18	92	93	5,39	4,40	89	91	79	84	50	50	423,0	428,1
6	85,0	0,30	6,65	31	15	88	94	10,10	3,43	79	93	82	75	52	56	441,8	442,5
7	65,0	0,00	6,72	14	13	94	95	3,07	2,36	94	95	83	78	51	54	436,5	439,6
8	65,0	0,60	6,76	23	16	91	94	7,74	4,10	84	92	84	85	50	50	436,1	432,2
9	65,0	0,30	6,88	15	13	94	95	3,13	1,83	94	96	74	77	50	53	432,2	432,6
10	65,0	0,30	6,85	18	12	93	95	4,70	2,16	90	96	87	79	49	53	424,6	429,2
11	65,0	0,30	6,85	15	12	94	95	3,15	2,56	94	95	87	80	49	53	436,3	435,5
12	65,0	0,30	6,79	17	14	93	94	5,15	3,17	89	93	84	80	50	53	433,7	434,0

T₁: Taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹T₂: Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

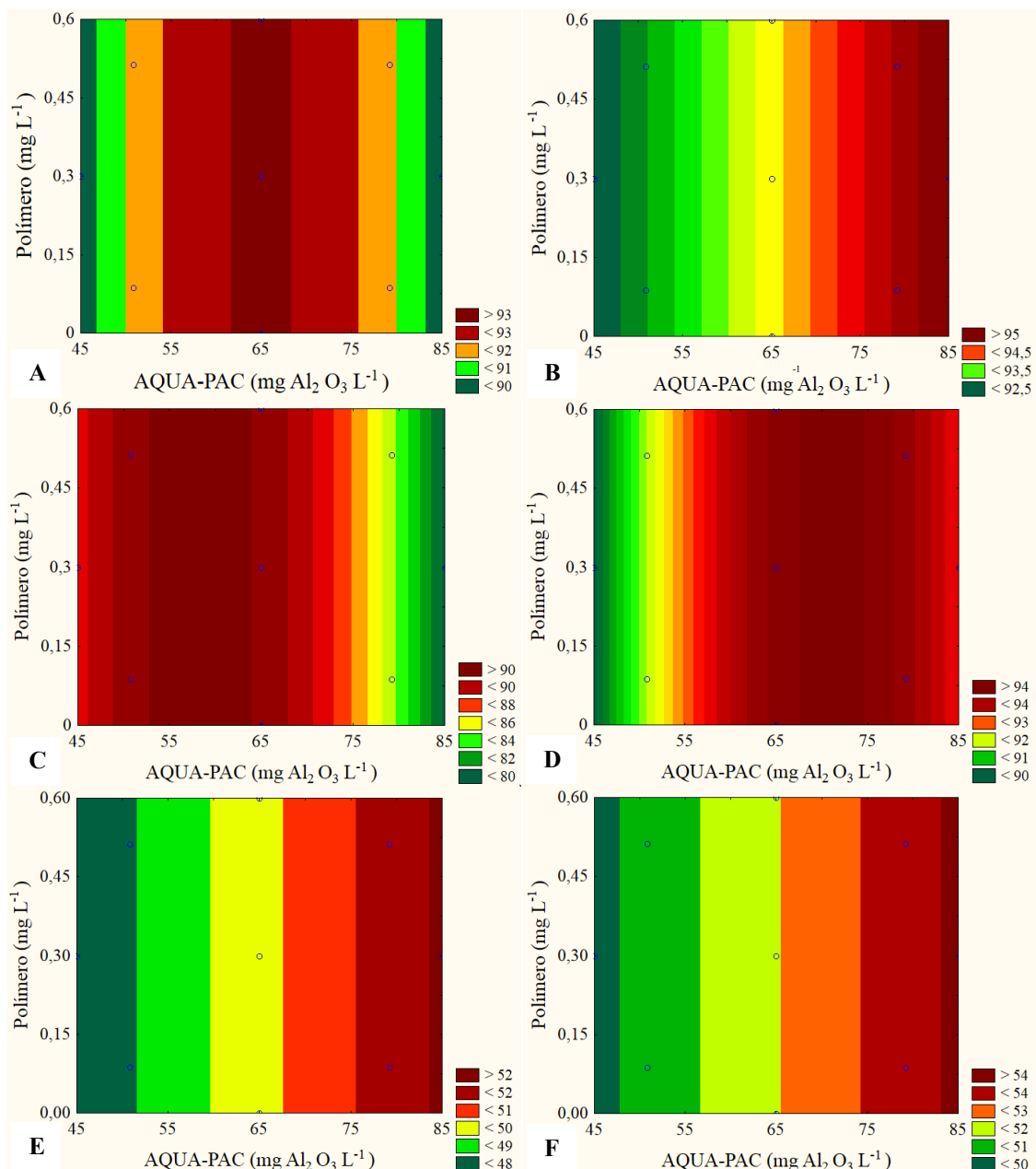


Figura 10. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiência de remoção de cor aparente (%) A) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹; e B) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Remoção de turbidez (%) C) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹; e D) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Remoção de DQO (%) E) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹; e F) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Com fatores reparametrizados

A turbidez remanescente do efluente após tratamento com o coagulante AQUA-PAC variou de 3,00 a 10,10 UNT para a taxa de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e de 1,83 a 4,50 UNT para a taxa de 70 m³ m⁻² dia⁻¹ (vide Tabela 14).

Os maiores valores de remoção da variável turbidez ocorreram na dosagem de AQUA-PAC de 53 a 64 mg Al₂O₃ L⁻¹ para a taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e, de 67 a 75 mg Al₂O₃ L⁻¹ para a taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹, apresentando

eficiências superiores a 90% e 94% para as taxas 1 e 2, respectivamente (vide Figura 10-C e 10-D).

De acordo com os dados obtidos verificou-se que o polímero empregado para auxiliar na coagulação não causou nenhum efeito com relação à remoção da variável turbidez.

Empregando-se o coagulante AQUA-PAC foi possível obter um efluente com DQO residual de $74 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ em ambas as taxas de aplicação (Tabela 14).

Pelos gráficos de curva de contorno obtidos pelos ensaios com o coagulante AQUA-PAC, identificou-se que os maiores valores de remoção da DQO para ambas as taxas de aplicação ocorreram com uma dosagem do coagulante de 82 a $85 \text{ mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ (Figura 10-E e 10-F). O polímero empregado como auxiliar de coagulação não influenciou significativamente na remoção do parâmetro analisado.

A condutividade elétrica do efluente após tratamento com o coagulante a base de tanino apresentou uma variação de $349,1$ a $421,1 \mu\text{S cm}^{-1}$ na taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, enquanto que para a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ variou de $347,6$ a $438,6 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Tabela 11-A).

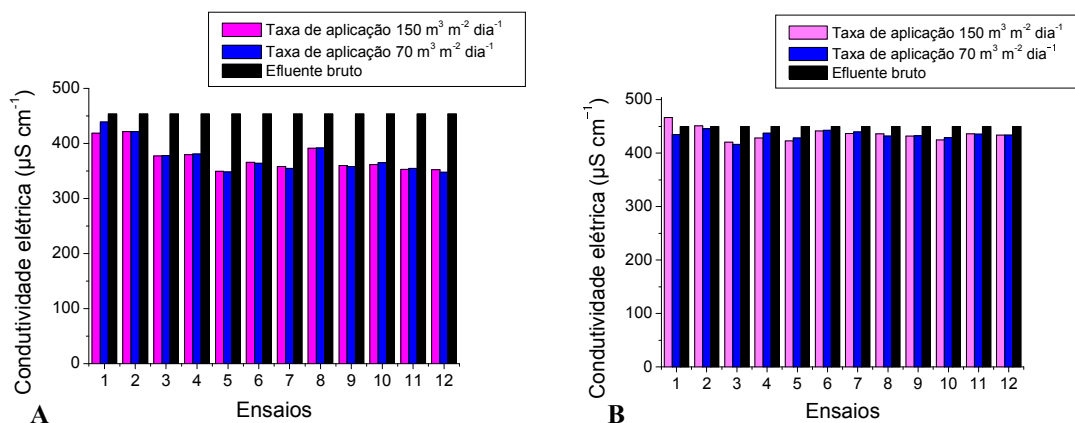


Figura 11. Variação da condutividade elétrica do efluente da lavagem de ônibus após tratamento via A) CFF₁ e B) CFF₂

Ao se empregar o coagulante AQUA-PAC, a condutividade elétrica do efluente após o tratamento variou de $420,4$ a $467,0 \mu\text{S cm}^{-1}$ na taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e de $416,7$ a $446,0 \mu\text{S cm}^{-1}$ para a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; valores próximos do efluente bruto (Figura 11-B).

A condutividade elétrica é um parâmetro físico-químico importante a ser considerado quando se objetiva o reúso de água para a lavagem de veículos. Altas concentrações de íons na água podem propiciar o aparecimento de manchas na lataria.

O pH do efluente após o tratamento com o coagulante AQUAFLOC/LS não apresentou uma variação significativa quando comparado com o pH de coagulação, como verificado na Figura 12-A. De acordo com o fabricante, o coagulante à base de tanino não consome alcalinidade da solução, mantendo inalterado o pH do meio. Devido a sua composição natural, os coagulantes à base de tanino não precipitam sais ou íons no meio, uma vez que não possuem metais em sua estrutura molecular, não consumindo desta forma, a alcalinidade da solução (THAKUR et al., 2014).

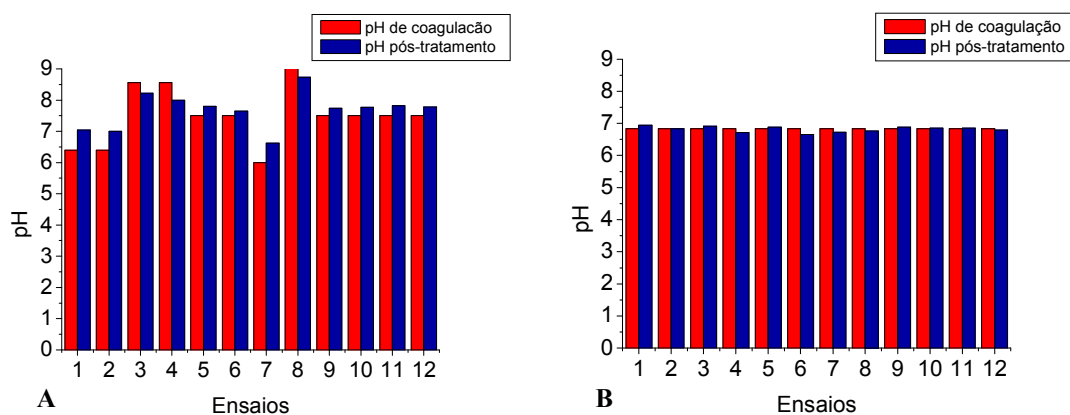


Figura 12. Variação do pH do efluente da lavagem de ônibus após tratamento via A) CFF₁ e B) CFF₂

Com a utilização do coagulante AQUA-PAC, o pH do efluente após tratamento apresentou uma pequena variação quando comparado ao pH de coagulação, porém permaneceu entre 6,50 e 7,00 (Figura 12-B).

Ao se empregar ambos os coagulantes, o pH do efluente após o tratamento permaneceu entre 5,00 e 9,00, faixa de pH estabelecida pela Resolução CONAMA n° 430/2011.

Levando-se em consideração os gráficos de curva de contorno foram estabelecidas faixas de concentração dos coagulantes consideradas mais eficientes para a remoção das variáveis analisadas. A faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS foi de 55 a 110 mg L⁻¹ com pH de coagulação de 6,00 a 7,20.

Enquanto que a faixa de concentração do coagulante AQUA-PAC foi de 65 a 85 mg Al₂O₃ L⁻¹. O polímero utilizado não influenciou significativamente na remoção das variáveis analisadas e o pH de coagulação utilizado foi do efluente bruto de 6,83.

No tratamento de efluente de lavagem veicular por floculação/flotação em coluna, Zaneti et al., (2011) e Zaneti et al., (2012) utilizaram em seus sistemas a concentração do coagulante Tanfloc SL com faixa considerada ótima de 80 a 350 mg L⁻¹.

Com relação ao coagulante PAC, Teixeira (2003) avaliou um sistema de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido no tratamento de efluente da lavagem de veículos com taxa de aplicação superficial de 72 m³ m⁻² dia⁻¹, semelhante à aplicada nesse trabalho. O autor identificou duas regiões de maior eficiência do PAC: 1) dosagem variando de 50 a 70 mg Al₂O₃ L⁻¹ e pH de coagulação variando entre 7,30 e 8,80; e 2) variação entre 10 e 30 mg Al₂O₃ L⁻¹ e pH de coagulação de 7,90 a 9,10. As faixas de maior eficiência dos coagulantes AQUAFLOC/LS e AQUA-PAC encontradas estão próximas da faixa estabelecida pelos autores explicitados, entretanto, as possíveis diferenças encontradas podem estar relacionadas com a variabilidade das características físico-químicas do efluente.

3.2.1 Modelos Matemáticos

3.2.1.1 Validação dos modelos matemáticos gerados pelos ensaios de CFF₁

Os modelos matemáticos gerados para a variável resposta remoção cor aparente estão representados pelas Equações (1) e (2), para as taxas de 150 e 70 m³ m⁻² dia⁻¹, respectivamente. Todas as variáveis independentes avaliadas influenciaram significativamente na remoção do parâmetro cor ao nível de confiança de 95%, em ambas as taxas de aplicação, como verificado pelos gráficos de Pareto representados pela Figura 13, onde todas as variáveis significativas apresentaram os efeitos padrões à direita da linha divisória (p = 0,05).

$$\text{Remoção de cor (\%)} = - 12,7 - 0,03x_1 - 0,0048 x_1^2 + 34,8 x_2 - 3,4 x_2^2 + 0,12 x_1x_2 \quad (1)$$

$$\text{Remoção de cor (\%)} = -49,8 - 0,02x_1 - 0,0035x_1^2 + 44,8 x_2 - 3,9 x_2^2 + 0,09 x_1x_2 \quad (2)$$

Onde x_1 representa a concentração do coagulante AQUAFLOC/LS em mg L^{-1} e x_2 o pH de coagulação.

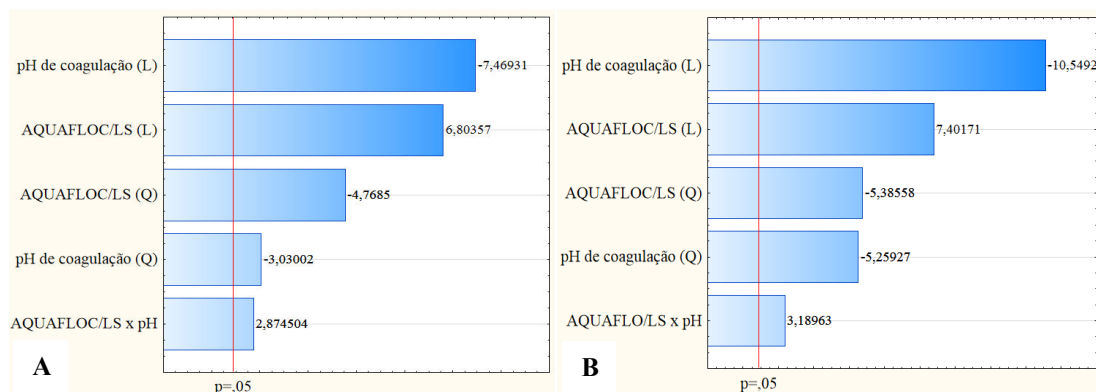


Figura 13. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de cor aparente empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

A variável resposta remoção de turbidez é caracterizada pelos modelos matemáticos representados pelas Equações (3) e (4), correspondendo às taxas de aplicações de 150 e $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. As variáveis independentes que influenciaram significativamente na remoção deste parâmetro ao se aplicar a taxa de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foram o coagulante linear (L) e quadrático (Q) e o pH linear (L), como verificado pelo gráfico de Pareto na Figura 14-A. Na taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ todas as variáveis independentes foram significativas, de acordo com o gráfico de Pareto (vide Figura 14-B).

$$\text{Remoção de turbidez (\%)} = 90,07 + 1,25 x_1 - 0,0069 x_1^2 - 6,65 x_2 \quad (3)$$

$$\text{Remoção de turbidez (\%)} = 28,51 - 0,096 x_1 - 0,0036 x_1^2 + 22,94 x_2 - 2,35 x_2^2 + 0,1 x_1x_2 \quad (4)$$

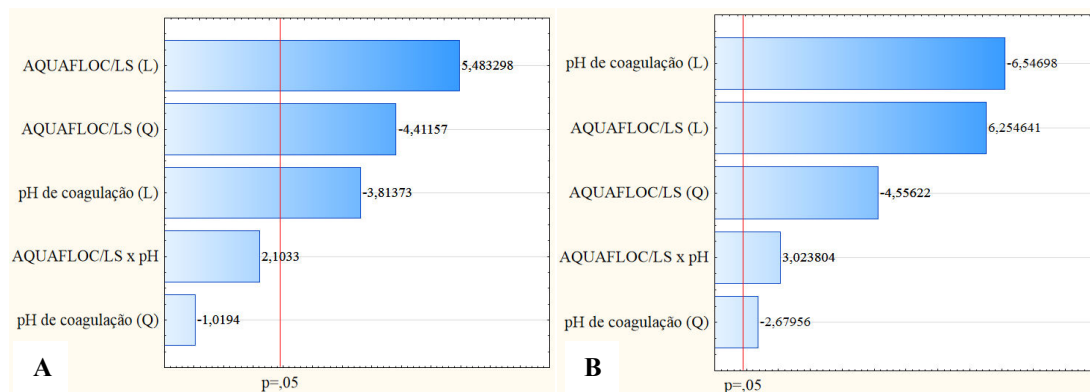


Figura 14. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de turbidez empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

Os modelos matemáticos representando a variável degradação de DQO são representados pelas Equações (5) e (6), correspondendo às taxas de aplicação de 150 e $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. De acordo com os gráficos de Pareto, as variáveis independentes que influenciaram na degradação do parâmetro DQO foram concentração linear (L) do coagulante e pH linear (L) para a taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 15-A), enquanto que para a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ as variáveis significativas foram concentração linear (L) e quadrática (Q) do coagulante e pH linear (L) (vide Figura 15-B).

$$\text{Redução de DQO (\%)} = 86,49 + 0,16 x_1 - 7,72 x_2 \quad (5)$$

$$\text{Redução de DQO (\%)} = 59,00 + 0,54 x_1 - 0,00308 x_1^2 - 4,7 x_2 \quad (6)$$

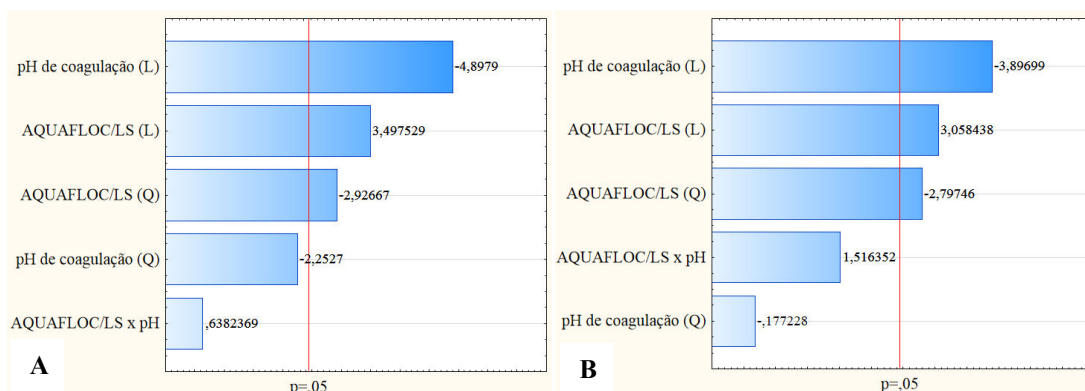


Figura 15. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de DQO empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

A análise de variância (ANOVA) ao nível de 95% de confiança correspondentes aos modelos matemáticos que representam as variáveis de remoção de cor aparente, turbidez e DQO indicam que as variações explicadas ($R^2 > 0,66$) e o F calculado são significativos ($p < 0,01$) (vide Tabela 15).

Tabela 15. Análise de variância (ANOVA) por regressão aplicada as variáveis resposta remoção de cor, turbidez e DQO para os ensaios CFF₁

Variável resposta		gl	SQ	MQ	F-valor	p	R ²
Cor - taxa 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	5	1399,57	279,91	27,53	0,000456	0,96
	Resíduo	6	61,02	10,17			
	Total	11	1460,59				
Cor - taxa 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	5	976,73	195,34	44,72	0,000113	0,97
	Resíduo	6	26,21	4,36			
	Total	11	1002,94				
Turbidez - taxa 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	3	1721,15	573,72	15,27	0,001128	0,85
	Resíduo	8	300,59	37,57			
	Total	11	2021,74				
Turbidez - taxa 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	5	713,4928	142,69	23,04	0,000752	0,95
	Resíduo	6	37,16	6,19			
	Total	11	750,66				
DQO - taxa 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	2	789,79	394,89	8,81	0,007608	0,66
	Resíduo	9	403,61	44,85			
	Total	11	1193,41				
DQO - taxa 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	3	428,28	142,76	10,39	0,003911	0,79
	Resíduo	8	109,89	13,74			
	Total	11	538,17				

gl: Grau de liberdade

SQ: Soma dos quadrados

MQ: Média dos quadrados

Os dados experimentais das variáveis respostas se ajustaram aos modelos matemáticos, como verificados pela Figura 16, que apresenta os resultados experimentais versus os resultados preditivos dos modelos. Os erros de ajustamento dos modelos são independentes e normalmente distribuídos.

A Figura 17 mostra uma distribuição praticamente aleatória entre os resíduos de todos os ensaios, indicando que estes são independentes. Entretanto, existem alguns pontos atípicos, ou seja, mal ajustados, os quais apresentaram resíduos elevados fora do intervalo de -2 a 2. Os pontos são representados pelos ensaios 1, 3, 4, 6, 8 e 10, que podem ter influenciado no ajuste dos modelos matemáticos.

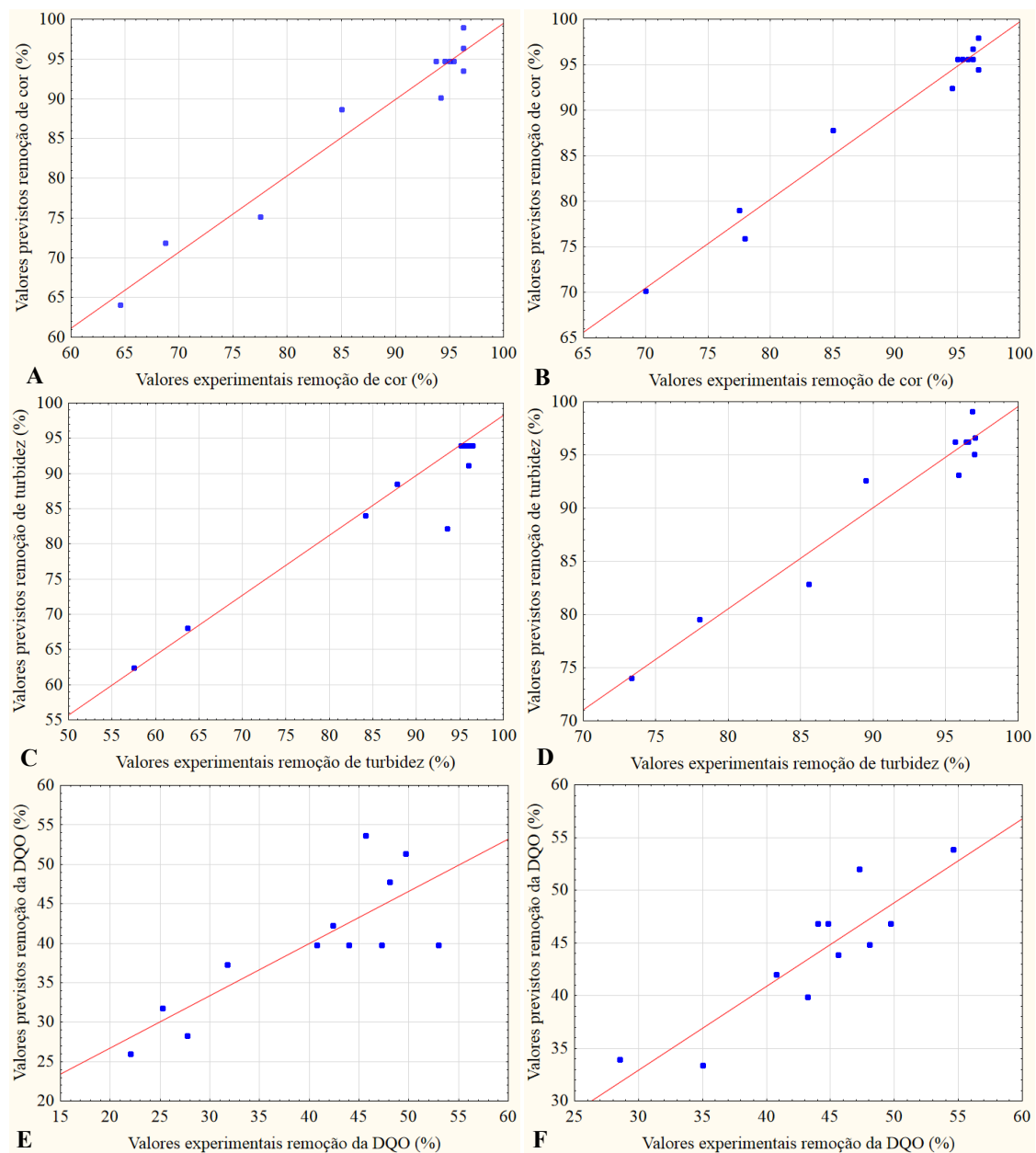


Figura 16. Gráficos dos valores experimentais versus valores preditivos dos modelos dos ensaios CFF₁. Parâmetro cor aparente A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Parâmetro turbidez C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Parâmetro DQO E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

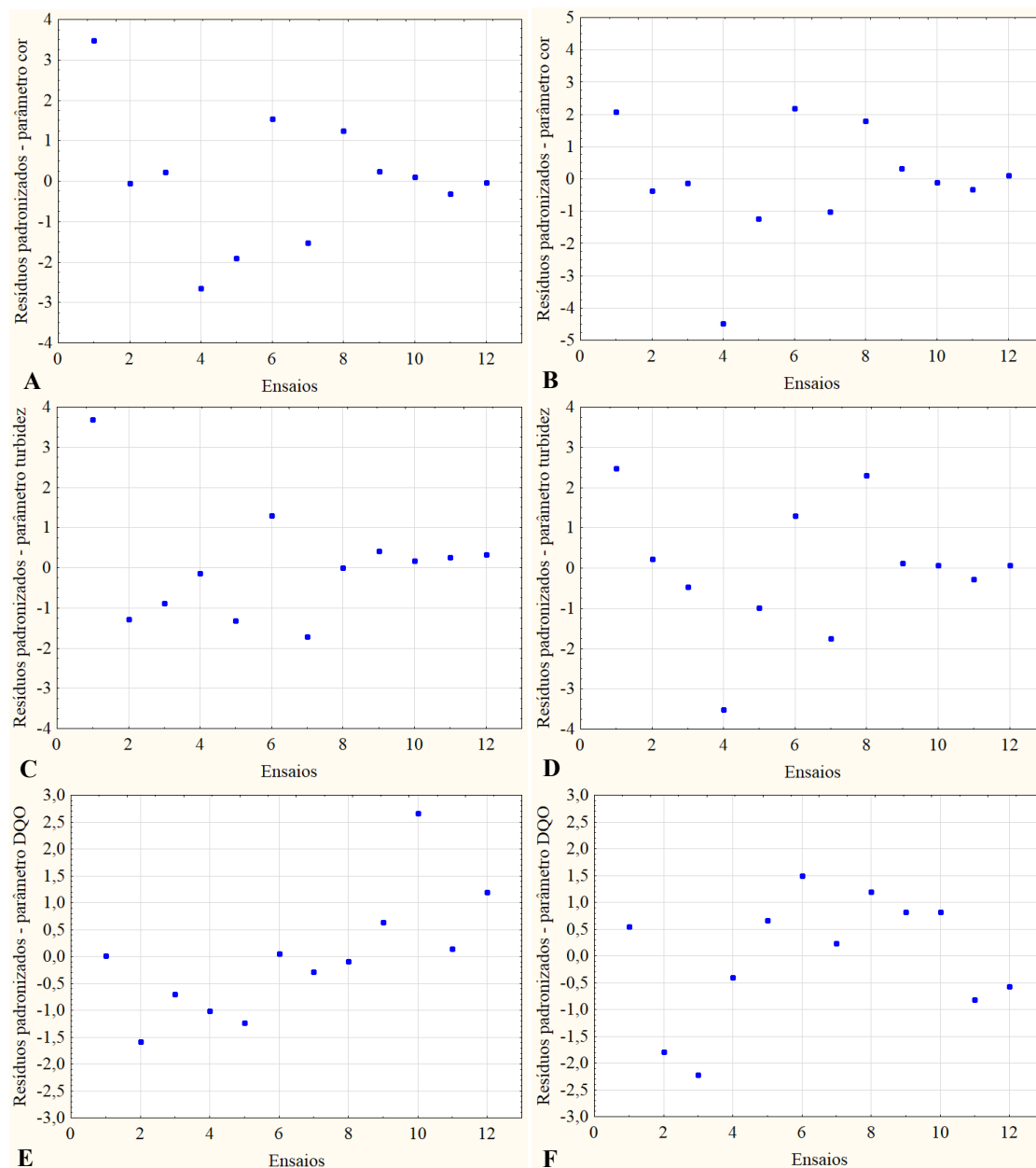


Figura 17. Gráficos dos valores dos resíduos padronizados versus os ensaios do sistema CFF₁. Cor aparente A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

No gráfico de normalidade da Figura 18 é possível verificar a inexistência de pontos distantes da reta, indicando a normalidade dos resíduos. Tais condições de independência e de normalidade são exigidas pelo modelo estatístico na análise de variância. Desta forma, é possível considerar que as pressuposições dos modelos matemáticos estão satisfeitas nas condições de coagulação e floculação e faixas de concentrações dos coagulantes e faixa de pH aplicados aos ensaios deste estudo.

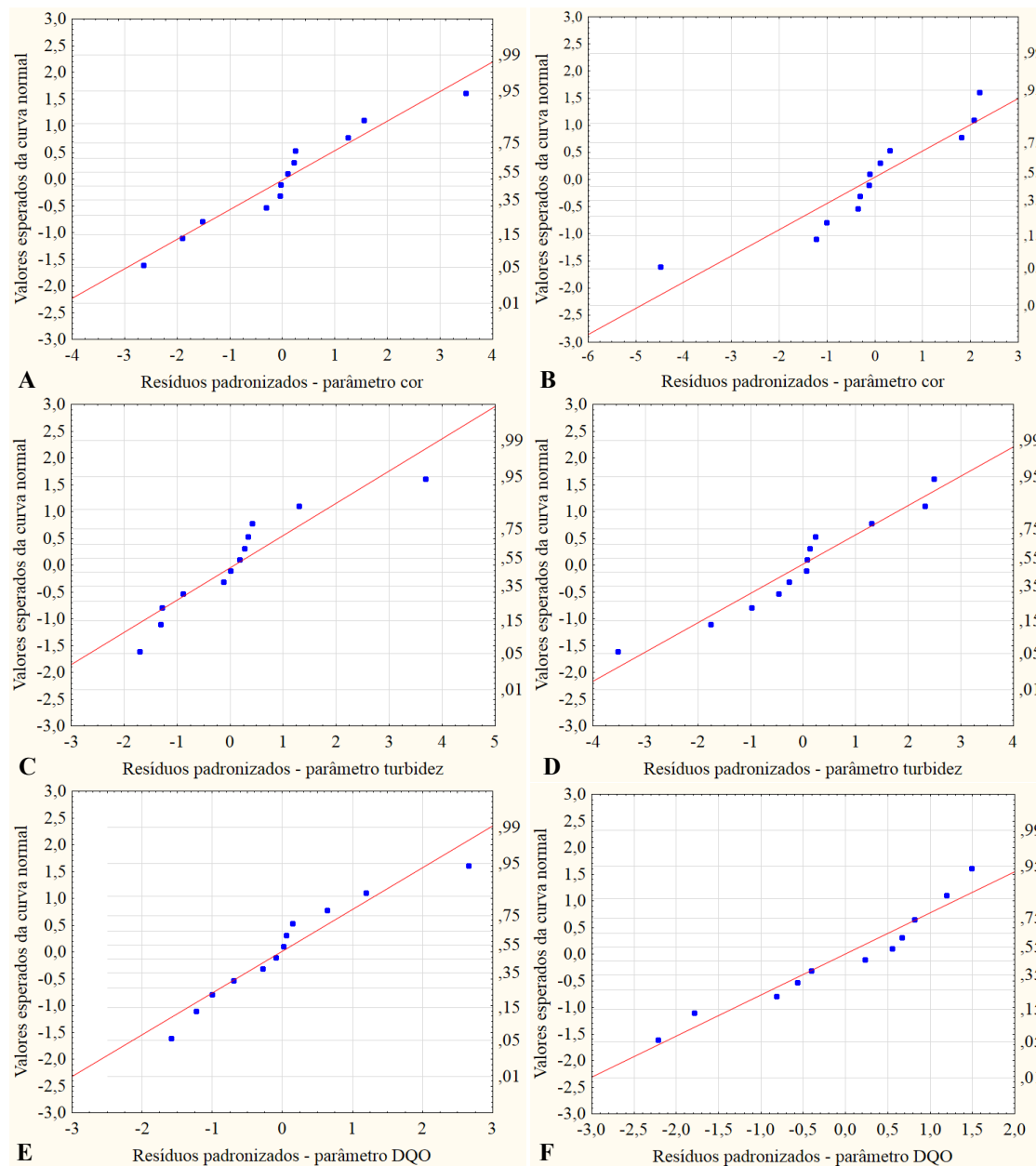


Figura 18. Gráficos de distribuição dos valores dos resíduos padronizados em torno da reta que indica a normalidade para os ensaios CFF₁. Cor aparente A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

3.2.1.2 Validação dos modelos matemáticos gerados pelos ensaios CFF₂

Os modelos matemáticos que representam a variável resposta remoção do parâmetro cor são descritos pelas Equações (7) e (8), para as taxas de aplicação de 150 e $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. A variável independente que influenciou significativamente para a taxa

de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi a concentração quadrática (Q) do coagulante AQUA-PAC, enquanto que para a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ a variável significativa foi a concentração linear (L) (Figura 19).

$$\text{Remoção de cor (\%)} = 53,71 + 1,21 x_1 - 0,00932 x_1^2 \quad (7)$$

$$\text{Remoção de cor (\%)} = 88,58 + 0,082 x_1 \quad (8)$$

Onde x_1 representa a concentração do coagulante AQUA-PAC em $\text{mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$. O polímero empregado para auxiliar na ocorrência da coagulação não influenciou na remoção dos parâmetros analisados.

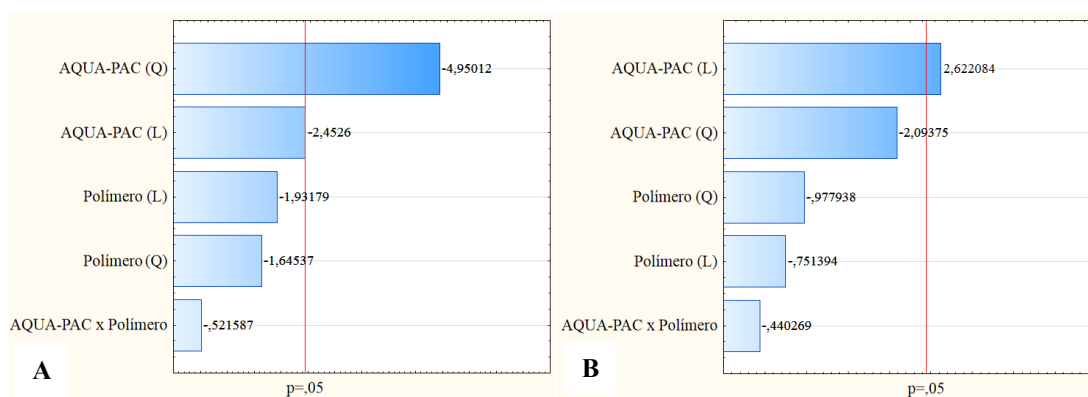


Figura 19. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de cor aparente empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

A variável resposta remoção de turbidez é caracterizada pelos modelos matemáticos representados pelas Equações (9) e (10), correspondendo às taxas de aplicações de 150 e $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. As variáveis independentes que influenciaram significativamente na remoção deste parâmetro foram às concentrações linear (L) e quadrática (Q) do coagulante AQUA-PAC, para ambas as taxas de aplicação descritas pelos gráficos de Pareto da Figura 20.

$$\text{Remoção de turbidez (\%)} = 35,05 + 1,93 x_1 - 0,0165 x_1^2 \quad (9)$$

$$\text{Remoção de turbidez (\%)} = 59,76 + 0,98 x_1 - 0,0069 x_1^2 \quad (10)$$

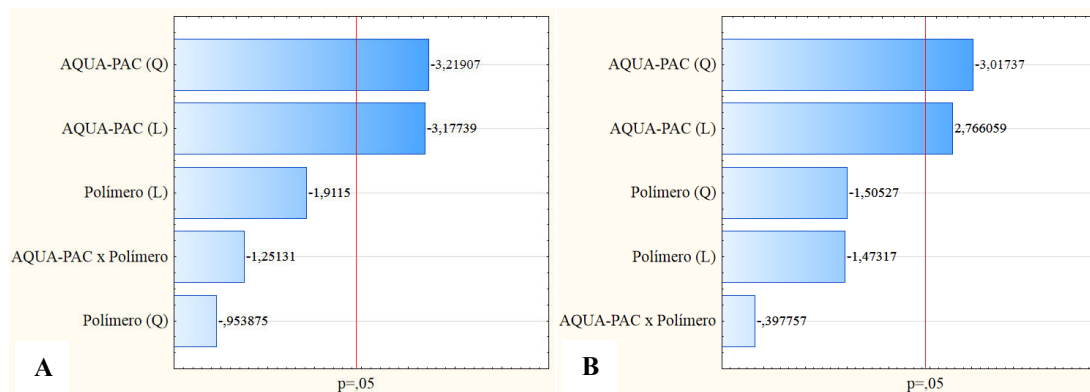


Figura 20. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de turbidez empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

Os modelos da variável DQO são representados pelas Equações (11) e (12), correspondendo as taxas de aplicação de 150 e 70 m³ m⁻² dia⁻¹, respectivamente. A variável independente que influenciou significativamente na degradação do parâmetro DQO em ambas as taxas de aplicação foi à concentração linear (L) do coagulante, como verificado pelos gráficos de Pareto representados pela Figura 21.

$$\text{Redução de DQO (\%)} = 41,56 + 0,12 x_1 \quad (11)$$

$$\text{Redução de DQO (\%)} = 44,57 + 0,11 x_1 \quad (12)$$

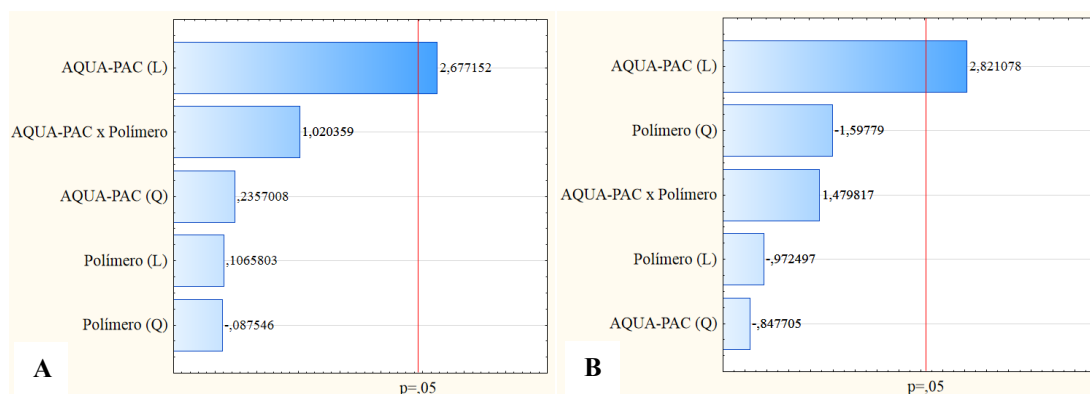


Figura 21. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de DQO empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

O polímero empregado para auxiliar na ocorrência da coagulação não influenciou na remoção dos parâmetros analisados.

A análise de variância (ANOVA) ao nível de 95% de confiança correspondente aos modelos matemáticos que representam as variáveis de remoção das variáveis cor

aparente, turbidez e DQO indica que o F calculado é significativo ($p < 0,03$), entretanto o R^2 obtido para ambos os modelos mostraram-se relativamente baixos, como verificado pela Tabela 16.

Tabela 16. Análise de variância (ANOVA) por regressão aplicada as variáveis resposta remoção de cor, turbidez e DQO para os ensaios de CFF₂

Variável resposta		gl	SQ	MQ	F-valor	p	R ²
Cor - taxa 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	1	23,51	23,51	11,46	0,006949	0,53
	Resíduo	10	20,52	2,05			
	Total	11	44,03				
Cor - taxa 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	1	10,74	10,74	6,79	0,026186	0,40
	Resíduo	10	15,81	1,58			
	Total	11	26,55				
Turbidez - taxa 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	2	150,82	75,41	8,19	0,009394	0,65
	Resíduo	9	82,80	9,20			
	Total	11	233,63				
Turbidez - taxa 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	2	24,05	12,02	6,00	0,022034	0,57
	Resíduo	9	18,02	2,00			
	Total	11	42,07				
DQO - taxa 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	1	25,14	25,14	9,37	0,012013	0,48
	Resíduo	10	26,82	2,68			
	Total	11	51,97				
DQO - taxa 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	1	20,62	20,62	6,51	0,028835	0,40
	Resíduo	10	31,69	3,17			
	Total	11	52,31				

gl: Grau de liberdade.

SQ: Soma dos quadrados.

MQ: Média dos quadrados.

Os dados experimentais das variáveis respostas obtidos pelo tratamento com o coagulante AQUA-PAC não se ajustaram perfeitamente aos valores previstos pelos modelos matemáticos, como verificados pela Figura 22, que apresenta os resultados experimentais versus os resultados preditivos dos modelos.

Os erros de ajustamento dos modelos se mostraram independentes e normalmente distribuídos, como verificado pela Figura 23 que mostra uma distribuição aleatória entre os resíduos de todos os ensaios, indicando que estes são independentes. Entretanto, foram identificados alguns pontos atípicos, onde estes apresentaram valores de resíduos elevados, fora do intervalo -2 e 2, sendo estes os ensaios 2, 3, 5 e 8. Estes pontos podem estar relacionados com o ajuste dos modelos matemáticos.

No entanto, no gráfico de normalidade da Figura 24, é possível verificar a inexistência de pontos distantes da reta, indicando a normalidade dos resíduos. Sendo possível considerar que as pressuposições dos modelos matemáticos estão satisfeitas e estes podem ser utilizados.

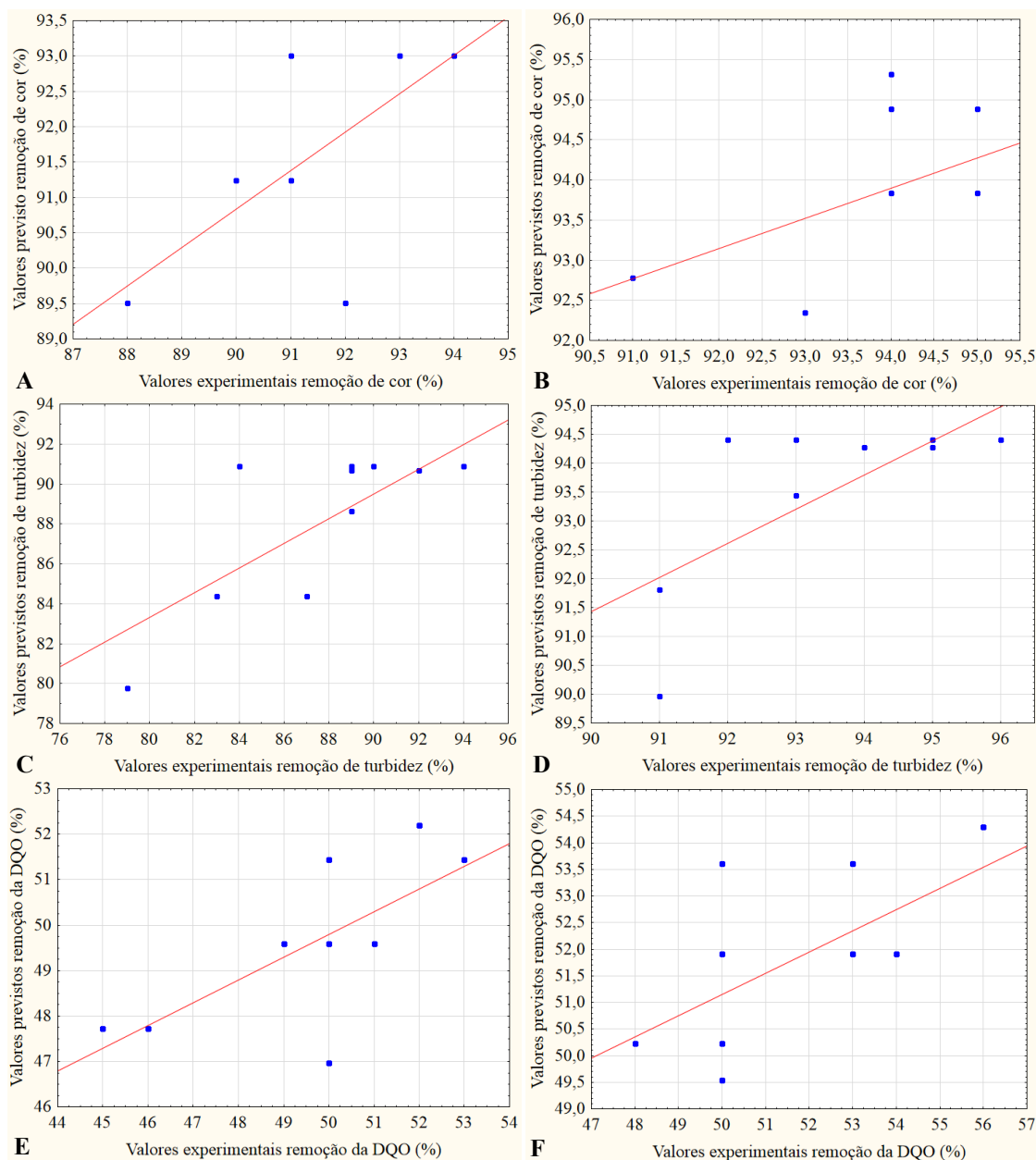


Figura 22. Gráficos dos valores experimentais versus valores previstos dos modelos dos ensaios CFF₂. Cor aparente A) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Turbidez C) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. DQO E) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

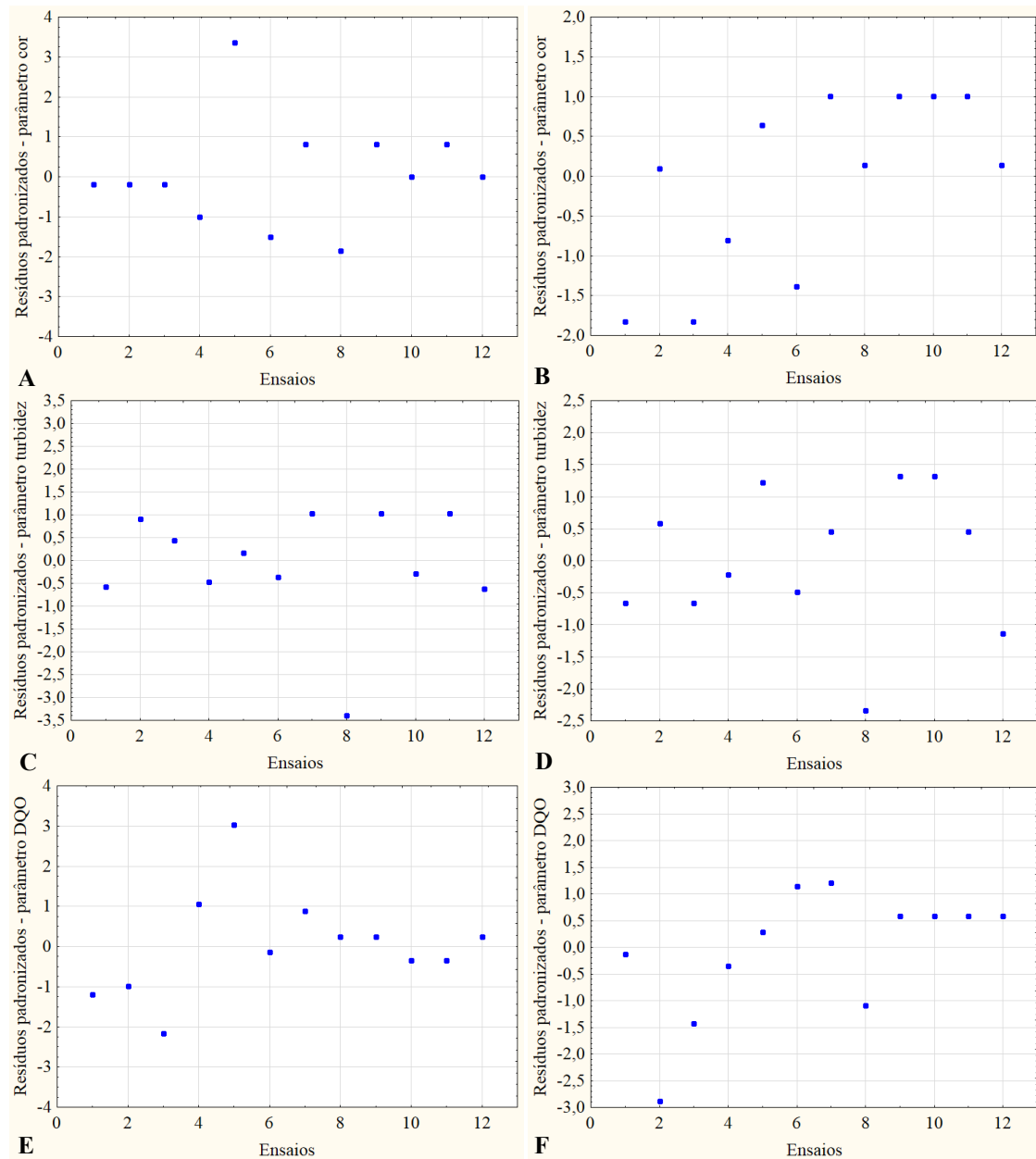


Figura 23. Gráficos dos valores dos resíduos padronizados versus os ensaios do sistema CFF₂. Cor aparente A) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Turbidez C) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. DQO E) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

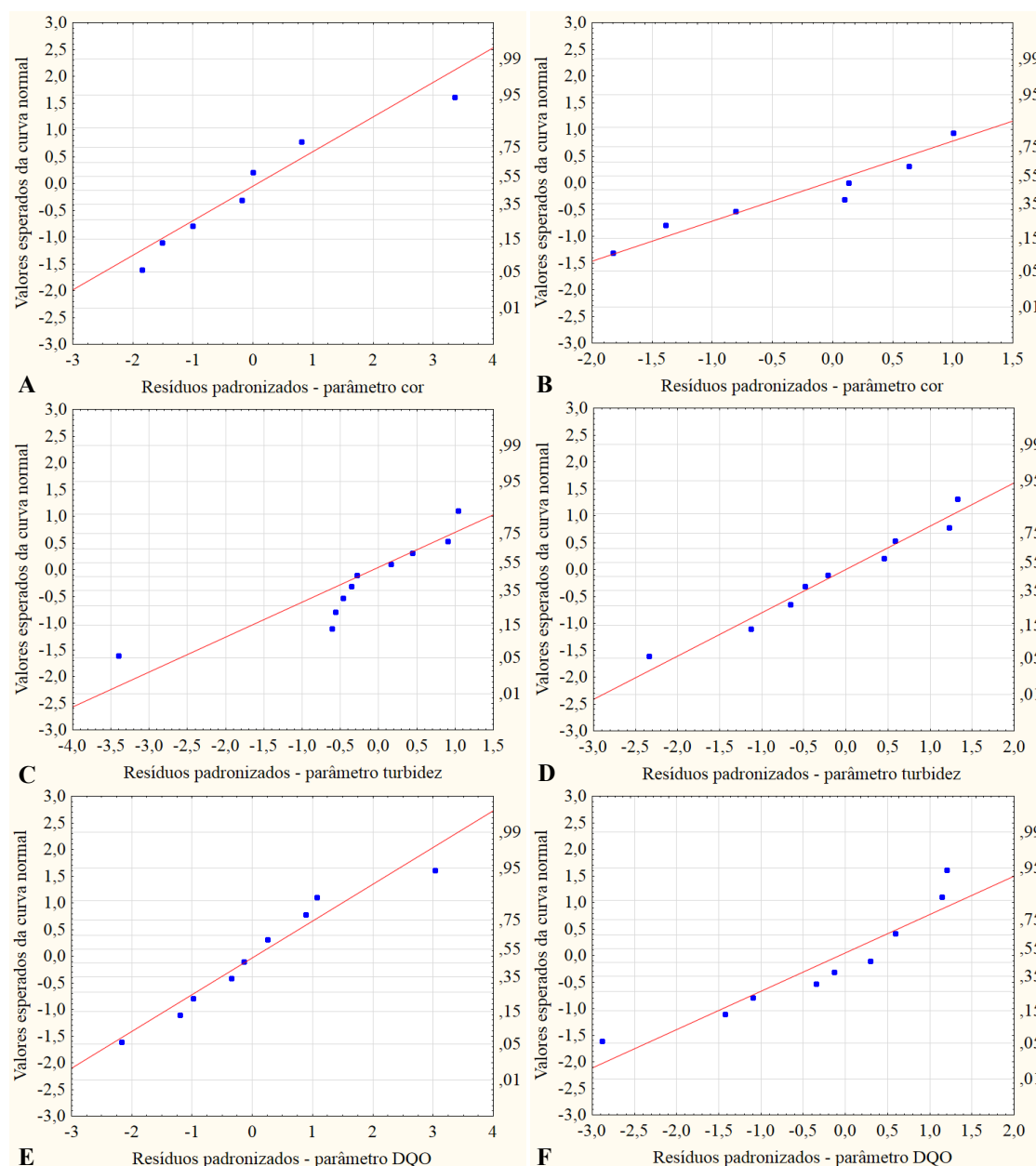


Figura 24. Gráficos de distribuição dos valores de normalidade dos resíduos dos ensaios de CFF₂. Cor aparente A) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Turbidez C) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. DQO E) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

3.2.2 Ensaios nas Condições Otimizadas de Coagulação

De acordo com os ensaios de tratabilidade determinados na seção 3.2 foram determinadas faixas de valores das variáveis independentes de maior eficiência na remoção das variáveis analisadas.

A faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS foi de 55 a 110 mg L⁻¹ com pH de coagulação de 6,00 a 7,20. A faixa de concentração do coagulante AQUA-PAC foi de 65 a 85 mg Al₂O₃ L⁻¹ com valor de pH do efluente bruto, sendo que o polímero utilizado não influenciou significativamente na remoção das variáveis analisadas.

Os pontos otimizados, com relação à concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e valores de pH de coagulação estão descritos na Tabela 17. Estes foram determinados com o auxílio dos modelos matemáticos gerados para as variáveis repostas avaliadas. Onde foram avaliados de modo a otimizar as condições de coagulação para o tratamento do efluente da lavagem dos ônibus.

Tabela 17. Pontos otimizados de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e valor de pH de coagulação

Ensaio	Variáveis independentes	
	Coagulante AQUAFLOC/LS (mg L ⁻¹)	pH de coagulação
1	70	6,00
2	79	6,44
3	79	6,97

As características físico-químicas do efluente após o tratamento com o coagulante AQUAFLOC/LS estão descritas na Tabela 18 e as eficiências de remoção dos parâmetros analisados são apresentadas na Tabela 19.

Tabela 18. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições ótimas de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e pH de coagulação

Parâmetros	Efluente bruto	Ensaio						Limite admissível para reúso*
		1		2		3		
		T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	196	113	109	108	106	107	107	-
ST (mg L ⁻¹)	617	337	307	387	380	330	337	-
STV (mg L ⁻¹)	247	187	135	197	220	150	177	-
STF (mg L ⁻¹)	370	150	172	190	160	180	160	-
SST (mg L ⁻¹)	35	17	8	nd	15	30	25	≤ 5
SSV (mg L ⁻¹)	32	17	8	nd	15	30	25	-
SSF (mg L ⁻¹)	3	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
SDT (mg L ⁻¹)	582	320	299	387	365	300	312	≤ 500
SDV (mg L ⁻¹)	215	170	126	197	205	120	152	-
SDF (mg L ⁻¹)	367	150	172	190	160	180	160	-
N-NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	14,9	8,4	9,5	10,9	10,1	12,3	9,8	-
Nitrogênio amoniacal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	6,7	3,6	3,9	2,7	3,1	3,6	3,1	≤ 20,0

Tabela 18. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições ótimas de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e pH de coagulação (continuação)

Parâmetros	Efluente Bruto	Ensaio						Limite admissível para reúso*
		1		2		3		
		T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,39	0,29	0,31	0,35	0,38	0,37	0,36	< 10,0
Fósforo total (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	1,16	0,53	0,55	0,71	0,71	0,51	0,53	≤ 0,1
Surfactantes (mg L ⁻¹)	27,9	17,3	17,1	16,5	17,0	17,7	17,5	≤ 0,5
Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	478,2	493,9	505,1	452,8	457,8	440,3	447,7	-
Turbidez (UNT)	42,6	4,97	4,01	6,43	3,75	4,48	4,07	2,00 a 5,00
Cor (UH)	212	33	27	27	26	36	31	≤ 10
pH	7,26	6,63	6,63	7,00	7,00	7,44	7,44	6,00 a 9,00

T₁: Taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹

T₂: Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

nd: Não detectado

Fonte: *ANA/FIESP e SINDUSCON-SP (2005) e da NBR n° 13.969/1997

Tabela 19. Eficiências dos pontos considerados ótimos de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e do pH de coagulante

Parâmetros	Ensaio					
	1		2		3	
	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
DQO (%)	42	44	45	46	46	46
ST (%)	45	50	37	39	47	45
STV (%)	24	46	20	11	39	28
STF (%)	60	53	49	57	51	57
SST (%)	50	76	100	57	14	29
SSV (%)	46	74	100	54	8	23
SSF (%)	100	100	100	100	100	100
SDT (%)	45	49	34	37	49	46
SDV (%)	21	41	8	5	44	29
SDF (%)	59	53	48	57	51	57
N-NTK (%)	41	33	24	29	14	31
Nitrogênio amoniacal (%)	47	42	59	53	47	53
Nitrato (%)	26	21	11	4	5	7
Fósforo total (%)	55	53	39	39	56	54
Surfactantes (%)	38	39	41	39	37	38
Turbidez (%)	88	91	85	91	89	90
Cor aparente (%)	84	87	87	88	83	85

T₁: Taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹

T₂: Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

O ensaio que apresentou os maiores valores de remoção dos parâmetros analisados foi o ensaio 1, com a utilização de 70 mg L⁻¹ do coagulante AQUAFLOC/LS, pH de coagulação 6,00 e taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹ (Tabela 18). Nessa dosagem, o sistema avaliado promoveu a redução de 44% da DQO, 91% da turbidez e 87% da cor aparente, com uma DQO residual de 109 mg O₂ L⁻¹, uma turbidez residual de 4 UNT e 27 UH de cor aparente (Tabelas 18 e 19).

Ao se avaliar o ensaio 1 na taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, foi possível obter um efluente tratado com um valor de turbidez residual dentro do padrão estabelecido pela Resolução NBR nº 13.969/1997.

Ao se aplicar a concentração de 70 mg L^{-1} do AQUAFLOC/LS e pH de coagulação de 6,00, a remoção de sólidos totais aproximou-se de 50%, de sólidos suspensos foi de 76% e dos sólidos dissolvidos 49% (Tabela 19). O efluente obtido apresentou características que permitem o reúso, pois, obteve-se um efluente com uma concentração de sólidos suspensos de 8 mg L^{-1} , próximo ao estabelecido e uma concentração de sólidos dissolvidos inferior ao recomendado (Tabela 18).

O nitrogênio amoniacal residual do efluente após o tratamento pelo ensaio 1 apresentou uma concentração de $3,9 \text{ mg N-NH}_3 \text{ L}^{-1}$, redução de 42%. Enquanto que a redução de nitrato foi de 20% e de nitrogênio total 33% (Tabela 19), obtendo-se um efluente com residual de $0,3 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ L}^{-1}$ e $9,5 \text{ mg N-NTK L}^{-1}$, (Tabela 18). Com relação ao parâmetro nitrogênio, o efluente obtido pelo ensaio considerado otimizado se enquadrou nos valores máximos recomendados.

A remoção de surfactante foi de 39% com um valor residual de $17,1 \text{ mg L}^{-1}$, valor superior ao recomendado para o reúso de efluente na lavagem de veículos (Tabela 18).

A remoção de fósforo foi de 53%, obtendo-se um efluente com um residual de $0,5 \text{ mg PO}_4 \text{ L}^{-1}$, valor próximo ao recomendado (Tabela 18).

Os pontos considerados ótimos de concentração do coagulante AQUA-PAC determinados para a realização dos ensaios estão descritos na Tabela 20. Os valores de pH de coagulação empregados nestes ensaios referem-se aos valores de pH do efluente bruto.

Tabela 20. Pontos considerados ótimos de concentração do coagulante AQUA-PAC e pH de coagulação

Ensaio	Variáveis independentes	
	Coagulante AQUA-PAC ($\text{mg Al}_2\text{O}_3\text{L}^{-1}$)	pH de coagulação
1	80	6,83*
2	80	7,34*

*pH do efluente bruto empregado nos ensaios da seção 3.2

*pH do efluente coletado no dia do ensaio

Os resultados obtidos para os ensaios nos pontos considerados ótimos de concentração do coagulante AQUA-PAC estão descritos na Tabela 21 e as eficiências na redução dos parâmetros avaliados são apresentadas na Tabela 22.

Tabela 21. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições ótimas de coagulante AQUA-PAC e do pH de coagulação

Parâmetros	Efluente bruto	Ensaio				Limite admissível para reúso*
		1		2		
		T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	337	145	133	141	142	-
ST (mg L ⁻¹)	392	357	367	330	352	-
STV (mgL ⁻¹)	182	160	127	155	185	-
STF (mg L ⁻¹)	210	197	240	175	167	-
SST (mg L ⁻¹)	52	nd	nd	nd	nd	≤ 5
SSV (mgL ⁻¹)	30	nd	nd	nd	nd	-
SSF (mg L ⁻¹)	22	nd	nd	nd	nd	-
SDT (mgL ⁻¹)	340	357	367	330	352	≤ 500
SDV (mgL ⁻¹)	152	160	127	155	185	-
SDF (mg L ⁻¹)	187	197	240	175	167,5	-
N-NTK (mg N-NTKL ⁻¹)	6,7	6,2	6,2	5,0	4,5	-
Nitrogênio amoniacal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	1,1	1,0	0,6	1,0	1,0	≤ 20,0
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,30	0,41	0,46	0,40	0,41	< 10,0
Fósforo total (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	0,97	0,09	0,06	0,09	0,05	≤ 0,1
Surfactantes (mg L ⁻¹)	31,3	16,3	15,6	16,9	16,7	≤ 0,5
Condutividade (μS cm ⁻¹)	438,7	473,4	474,4	428,2	427,4	-
Turbidez (UNT)	97,2	6,80	6,63	6,79	4,46	2,00 a 5,00
Cor aparente (UH)	413	27	25	28	21	≤ 10
pH	7,34	6,41	6,41	6,53	6,53	6,00 a 9,00

T₁: Taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹

T₂: Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

nd: Não detectado

Fonte: *ANA/FIESP e SINDUSCON-SP (2005) e da NBR n° 13.969/1997

Tabela 22. Eficiências dos pontos considerados ótimos de concentração do coagulante AQUA-PAC e do pH de coagulação

Parâmetros	Ensaio			
	1		2	
	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
DQO (%)	57	61	58	58
ST (%)	9	6	16	10
STV (%)	12	30	15	-1
STF (%)	6	-14	17	20
SST (%)	100	100	100	100
SSV (%)	100	100	100	100
SSF (%)	100	100	100	100
SDT (%)	-5	-8	3	-4
SDV (%)	-5	16	-2	-21
SDF (%)	-5	-28	7	11
N-NTK (%)	8	8	25	33
Nitrogênio amoniacal (%)	15	50	15	15

Tabela 22. Eficiências dos pontos considerados ótimos de concentração do coagulante AQUA-PAC e do pH de coagulação

(Continuação)

Parâmetros	Ensaio			
	1		2	
	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
Nitrato (%)	-36	-52	-33	-35
Fósforo total (%)	91	94	91	95
Surfactantes (%)	48	50	46	47
Turbidez (%)	93	93	93	95
Cor (%)	94	94	93	95

T₁: Taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹
T₂: Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

De acordo com as análises realizadas, o ensaio 2, onde se empregou 80 mg Al₂O₃ L⁻¹ e pH de coagulação de 7,34, apresentou em geral os maiores valores de remoção dos parâmetros analisados, em ambas as taxas de aplicação. A eficiência de remoção do parâmetro DQO foi de 58% em ambas as taxas e as variáveis cor e turbidez apresentaram uma remoção variando entre 93% e 95%, apresentando um efluente com DQO em torno de 142 mg O₂ L⁻¹, turbidez residual entre 4,00 e 7,00 UNT e cor aparente variando entre 21 e 28 UH (Tabelas 21 e 22).

Apenas o parâmetro turbidez apresentou uma concentração residual inferior ao recomendado para reúso. Teixeira (2003) também obteve um efluente tratado com turbidez residual inferior ao recomendado ao aplicar as condições otimizadas de concentração do coagulante PAC de 65 mg Al₂O₃ L⁻¹ e pH de coagulação de 7,30 e 70 mg Al₂O₃ L⁻¹ e pH de coagulação de 7,70, com taxa de aplicação superficial de 72 m³ m⁻² dia⁻¹.

As eficiências na remoção dos sólidos totais em ambos os ensaios empregando o AQUA-PAC foram baixas. No ensaio 2, a remoção variou de 10% a 16% e a concentração de sólidos totais no efluente ficou foi de 330 a 352 mg L⁻¹. Sólidos em suspensão não foram detectados na amostragem após o tratamento (Tabela 21).

No ensaio 2, a eficiência na remoção do nitrogênio amoniacal foi baixa nas duas taxas de aplicação, aproximadamente 15% (Tabela 22). Ocorreu um aumento na concentração de nitrato e a concentração do nitrogênio total foi reduzida em 33%, ao se aplicar a taxa de 70 m³ m⁻² dia⁻¹ (Tabela 22). Obtendo-se um efluente com uma concentração de nitrogênio amoniacal residual de 0,6 mg N-NH₃ L⁻¹, nitrato de 0,46 mg N-NO₃⁻ L⁻¹ e nitrogênio total de 6,2 mg N-NTK L⁻¹. O efluente tratado apresentou características passíveis de reúso, com relação ao parâmetro nitrogênio de acordo com as recomendações (Tabela 21).

A remoção de surfactante foi de 46% com um valor residual de 17 mg L^{-1} , valor superior ao recomendados (Tabela 21). A concentração de fósforo no efluente foi reduzida em 95%, obtendo um efluente com concentração inferior a $1,0 \text{ mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$, entretanto, superior ao estabelecido (Tabela 21).

De acordo com os resultados obtidos, verificou-se que entre as dosagens avaliadas, a concentração do coagulante AQUAFLOC/LS que proporcionou uma maior eficiência no tratamento do efluente em questão foi de 70 mg L^{-1} e pH de coagulação de 6,00, e a concentração do coagulante AQUA-PAC foi de $80 \text{ mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ e pH de coagulação de 7,34, ambos para a taxa de aplicação superficial de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

3.3 ENSAIOS DE TRATABILIDADE DO EFLUENTE DA LAVAGEM DE ÔNIBUS

As condições otimizadas de coagulação determinadas foram: 70 mg L^{-1} de AQUAFLOC/LS e pH de coagulação 6,00; e $80 \text{ mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ do AQUA-PAC e pH de coagulação de 7,34. A taxa de aplicação superficial aplicada aos ensaios de flotação foi de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, (vide seção 3.3.2).

Na Tabela 23 é apresentada a caracterização físico-química do efluente bruto da lavagem dos ônibus e a qualidade do efluente após tratamento pelos diferentes sistemas e na Tabela 24 são apresentadas as eficiências de remoção das variáveis analisadas.

O sistema de CFF₁ apresentou eficiências de remoção de DQO de 50%, turbidez e cor aparente de 89% (Tabela 24).

Rubio e Zaneti (2009) ao avaliarem o sistema de floculação/flotação em coluna no tratamento de efluente proveniente da lavagem de ônibus empregando uma concentração de 500 mg L^{-1} de Tanfloc SL, pH de coagulação de 7,00 obtiveram um efluente com uma DQO residual de $231 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, cor aparente residual de 62 UH, turbidez de 10,00 UNT e uma concentração de sólidos suspensos de 12 mg L^{-1} , correspondendo a eficiências de 11%, 80%, 95% e 93%, respectivamente.

Tabela 23. Caracterização físico-química do efluente após ensaios de tratabilidade

Parâmetros	Efluente bruto	CFF ₁	CFF ₂	CFF _{1-F}	CFF _{2-F}	CF _{1-F}	CF _{2-F}	Ensaio de filtração	Limite admissível para reúso*
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	202	101	76	54	49	54	50	65	-
pH	6,83	6,65	6,12	6,68	6,53	4,18	5,88	7,72	6,00 a 9,00
Turbidez (UNT)	57,7	6,15	8,66	4,74	4,23	3,9	6,8	6,09	2,0 a 5,0
Cor aparente (UH)	197	21	11	7	8	8	13	19	≤ 10
Condutividade (μS cm ⁻¹)	448,6	433,2	442,6	274,2	323,6	292,9	327,4	375	-
N-amoniaco (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	2,02	2,40	1,30	0,60	0,70	1,60	1,80	1,70	≤ 20,0
NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	7,28	6,7	16,8	7,3	4,5	7,3	6,2	3,9	-
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,52	0,47	0,40	0,26	0,29	0,28	0,31	0,36	< 10,0
ST (mg L ⁻¹)	475	350	350	222	262	260	132	112	-
SV (mg L ⁻¹)	225	125	175	125	192	152	85	32	-
SF (mg L ⁻¹)	250	225	175	97	70	107	47	80	-
SST (mg L ⁻¹)	52	nd	nd	10	10	12	nd	nd	≤ 5
SSV (mg L ⁻¹)	25	nd	nd	8	10	12	nd	nd	-
SSF (mg L ⁻¹)	27	nd	nd	2	nd	nd	nd	nd	-
SDT (mg L ⁻¹)	422	350	350	212	252	247	132	112	≤ 500
SDV (mg L ⁻¹)	200	125	175	117	182	140	85	32	-
SDF (mg L ⁻¹)	222	225	175	95	70	107	47	80	-
Surfactante (mg L ⁻¹)	31,2	17,2	15,6	1,2	2,9	0,6	1,8	5,1	≤ 0,5
Fósforo (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	0,10	0,10	0,09	0,08	0,09	0,08	0,08	0,10	≤ 0,1

1: Ensaio com o coagulante AQUAFLOC/LS

2: Ensaio com o coagulante AQUA-PAC

nd: Não detectado

Fonte: *ANA/FIESP e SINDUSCON-SP (2005) e da NBR n° 13.969/1997

Tabela 24. Eficiências dos ensaios de tratabilidade

Parâmetro	CFF ₁	CFF ₂	CFF _{1-F}	CFF _{2-F}	CF _{1-F}	CF _{2-F}	Ensaio de filtração
DQO (%)	50	62	73	76	73	75	68
Turbidez (%)	89	85	92	93	93	88	89
Cor (%)	89	94	96	96	96	93	90
N-amoniaco (%)	-19	33	72	67	19	11	14
NTK (%)	8	-131	0	38	0	15	46
Nitrato (%)	9	24	50	45	47	41	31
ST (%)	26	26	53	45	45	72	76
SV (%)	44	22	44	14	32	62	86
SF (%)	10	30	61	72	57	81	68
SST (%)	100	100	81	81	76	100	100
SSV (%)	100	100	70	60	50	100	100
SSF (%)	100	100	91	100	100	100	100
SDT (%)	17	17	50	40	41	69	73
SDV (%)	37	13	41	9	30	58	84
SDF (%)	-1	21	57	69	52	79	64
Surfactante (%)	45	50	96	91	98	94	84
Fósforo (%)	7	12	20	12	20	20	5

1: Ensaio com o coagulante AQUAFLOC/LS

2: Ensaio com o coagulante AQUA-PAC

Etchepare et al., (2014) também avaliaram o sistema de floculação/flotação em coluna no tratamento de efluente de lavagem veicular, onde utilizaram o coagulante Tanfloc SL a uma concentração de 1.200 mg L^{-1} . Em suas análises, o sistema avaliado apresentou uma eficiência considerável na remoção dos parâmetros turbidez e sólidos suspensos, sendo na ordem de 91% e 85%, respectivamente, entretanto a redução do parâmetro DQO foi de 39%.

Ao se aplicar o sistema de CFF₂, o sistema promoveu a remoção de 62% da DQO, 85% da turbidez, 94% da cor e não foi detectada a presença de sólidos suspensos. Teixeira (2003) ao aplicar uma concentração de $50 \text{ mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ e pH de coagulação de 7,0, obteve uma eficiência de remoção de turbidez de 95%.

O sistema de CFF avaliado neste trabalho não foi eficiente na remoção dos parâmetros sólidos dissolvidos e surfactantes, não enquadrando o efluente nos padrões máximos admissíveis, como verificados na Tabela 23.

Ao avaliar a eficiência do sistema de floculação/flotação em coluna, Rubio e Zaneti (2009) verificaram um aumento da concentração de sólidos dissolvidos no efluente, assim como Etchepare et al., (2014).

Ao se aplicar o sistema de tratamento por filtração em meio granular sob pressão, a eficiência na remoção do parâmetro DQO foi superior ao obtido pelo tratamento via CFF, obtendo um efluente com DQO residual de $65 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (Tabela 22). O sistema de filtração foi eficiente na remoção dos parâmetros cor, turbidez, sólidos suspensos, sólidos dissolvidos e surfactantes, mas não se enquadrou nos padrões de qualidade para água de reúso com relação aos parâmetros cor, turbidez e surfactante (vide Tabela 23).

Os tratamentos via CFF-F e CF-F apresentaram os maiores eficiências de remoção da DQO, com valores entre 73% e 76%, obtendo um efluente com concentração de DQO residual entre 49 e $54 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (Tabelas 23 e 24).

Zaneti et al., (2011) avaliaram o sistema de floculação/flotação em coluna seguido pós-tratamento por filtração em areia e cloração, com o coagulante Tanfloc SL na faixa de concentração de 80 a 350 mg L^{-1} , o que reduziu 63% da concentração da DQO no efluente, com uma concentração residual média de $71 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$.

Os sistemas de CFF-F e CF-F apresentaram eficiências de remoção de cor aparente superiores a 93% (Tabela 24).

Os sistemas de tratamento via CFF₁-F, CFF₂-F e CF₁-F obtiveram um efluente tratado com turbidez residual dentro dos padrões determinados para água de reúso. Os

demais sistemas de tratamento obtiveram um efluente com uma turbidez remanescente superior ao estabelecido por esta Resolução.

Zaneti et al., (2011) ao avaliar o sistema de filtração e cloração como pós-tratamento do processo de floculação/flotação em coluna obteve um efluente com uma turbidez residual de 15 UNT, superior ao recomendado, entretanto com uma eficiência média do sistema de 91%.

O pH do efluente a ser reutilizado no setor de lavagem veicular deve estar entre 6,00 e 9,00. Dentre os sistemas de tratamento avaliados, apenas o tratamento via CF₁-F e CF₂-F não se enquadraram, apresentando valores de pH inferiores a 6,00, sendo necessário a correção deste parâmetro. O decaimento do pH do efluente após tratamento via CF₁-F está relacionado com a precipitação de íons de alumínio, devido a utilização do coagulante PAC (BAIRD, 2002).

As concentrações de nitrogênio nos efluentes tratados por CFF₁-F e CF₁-F foram relativamente baixas (Tabela 23).

Os maiores valores de remoção dos sólidos presentes no efluente ocorreram no ensaio em que se empregou o sistema de tratamento via CF₂-F. Por meio da aplicação deste sistema, foi possível obter um efluente sem a presença de sólidos em suspensão e um efluente com um residual de sólidos dissolvidos de 132 mg L⁻¹, como verificado na Tabela 23.

O ensaio aplicando o sistema de tratamento via CF₁-F apresentou um efluente com uma concentração residual de surfactante de 0,6 mg L⁻¹, valor próximo ao recomendado para águas de reúso (Tabela 23). Os sistemas de tratamento via CFF₂-F e CF₂-F apresentaram elevados valores de remoção de surfactante, eficiências superiores a 84% (Tabela 32). Zaneti et al., (2011) obtiveram uma eficiência de remoção de surfactante de 43%, inferior ao obtido pelo sistema de filtração em meio granular sob pressão aplicado neste trabalho.

A concentração de fósforo no efluente bruto foi inferior a 0,1 mg P-PO₄ L⁻¹, após o tratamento pelos sistemas avaliados verificou-se que não houve uma redução significativa deste parâmetro (Tabela 23).

Os sistemas avaliados apresentaram bons resultados com relação ao tratamento do efluente da lavagem dos ônibus. Levando-se em consideração a todas as recomendações de ANA/FIESP e SINDUSCON-SP (2005) e da NBR n° 13.969/1997, com relação à qualidade da água residuária para reúso na lavagem veicular, o sistema via CF₁-F não se enquadrou apenas com relação ao pH final e a concentração de sólidos

suspensos, podendo este ser corrigido após o tratamento. O sistema de filtração em meio granular sob pressão se mostrou eficiente ao ser aplicado como pós-tratamento, possibilitando um maior controle das características do efluente tratado. Este sistema também apresentou uma significativa eficiência quando aplicada como um sistema de tratamento independente, apresentando eficiências superiores às obtidas pelo sistema de CFF.

O sistema de tratamento via CF₁-F apresentou os maiores valores de remoção dos parâmetros analisados, assim como, permitiu a obtenção de um efluente passível de reúso. Entretanto ensaios em escala piloto poderiam ser realizados visando avaliar melhor este sistema e o coagulante aplicado.

Além disso, devem-se levar em consideração outros parâmetros para a escolha do melhor sistema, como: custos com energia, destinação do lodo e produtos químicos, como no caso do coagulante e produtos para correção de pH.

O sistema FAD é caracterizado pela geração de um lodo denso e com um elevado teor de sólidos (REALI, 1991). Dependendo de suas características físico-químicas este deve ser disposto em aterros industriais, devido aos possíveis impactos a saúde e ao meio ambiente.

Ao se empregar apenas os sistemas de CF-F é possível reduzir consideravelmente a produção de lodo na estação de tratamento de efluentes, conseqüentemente há uma redução de custos com a disposição final deste. Além disso, a empresa também pode vir a ter uma redução de custos com relação à energia elétrica, pois, em sistemas de flotação por ar dissolvido tem a necessidade de promover uma injeção de ar saturado no sistema, o que requer o consumo considerável de energia. Outro aspecto a ser considerado é que ao se aplicar o sistema de CF₁-F, a concentração do coagulante aplicado, neste caso o AQUAFLOC/LS, poderia vir a ser reduzida, entretanto ensaios visando avaliar novas dosagens deveriam ser realizados para comprovar esta possibilidade, podendo proporcionar mais uma redução de custo para a empresa.

Recomenda-se a diluição da água de reúso tratada com água subterrânea ou água da chuva, independente do sistema de tratamento realizado. Ainda segundo recomendações de Metcalf e Eddy (2003), a água de enxágue final dos veículos pode ser realizada com água de melhor qualidade visando à remoção de sais dissolvidos. Além disso, deve-se levar em consideração a necessidade da cloração da água para

inativação de microrganismos que possam vir a causar algum impacto à saúde dos operadores.

4 CONCLUSÃO

O efluente proveniente da lavagem dos ônibus apresentou uma variabilidade de suas características físico-químicas, sendo caracterizado por sua carga orgânica, elevada turbidez e cor aparente, bem como pelas altas concentrações de sólidos dissolvidos e surfactantes, sendo assim, o setor de lavagem veicular é considerado como uma atividade potencialmente poluidora.

Ao se aplicar o método DCCR aos ensaios de CFF, foram determinadas as condições otimizadas de coagulação, com relação às faixas de concentração dos coagulantes avaliados no tratamento do efluente da lavagem dos ônibus. A faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS determinada foi de 55 a 110 mg L⁻¹ e a faixa de pH de coagulação estabelecida foi de 6,0 a 7,2. A faixa de concentração do coagulante AQUA-PAC determinada foi de 65 a 85 mg Al₂O₃ L⁻¹, o polímero utilizado não influenciou significativamente na remoção dos parâmetros analisados e o pH de coagulação foi o pH do efluente bruto.

Ao se analisar pontualmente, determinou-se a concentração dos coagulantes que apresentaram maior eficiência no tratamento do efluente. A concentração do coagulante AQUAFLOC/LS determinada foi de 70 mg L⁻¹ e o pH de coagulação foi de 6,00, enquanto que a concentração do coagulante AQUA-PAC que apresentou maior eficiência foi de 80 mg Al₂O₃ L⁻¹ e o pH de coagulação foi de 7,50, referente ao pH do efluente bruto. O coagulante AQUAFLOC/LS apresentou maior eficiência de remoção dos parâmetros analisados, apresentando uma eficiência de 62% na remoção da DQO, 85% de turbidez, 94% de cor aparente, 50% de remoção de surfactantes e sólidos suspensos não foram detectados. Apresentando um residual de 76 mg O₂ L⁻¹ de DQO, 8,66 UNT de turbidez, 11 UH de cor e 15,6 mg L⁻¹ de surfactante.

Dentre os sistemas combinados avaliados para o tratamento do efluente em questão, o sistema de CF₁-F apresentou maior eficiência na remoção dos parâmetros analisados, assim como, possibilitou a obtenção de um efluente passível de ser reutilizado no setor de lavagem veicular. Este sistema promoveu a remoção de 73% da DQO, 93% de remoção de turbidez, 96% de cor, 98% de surfactante e 76% de remoção de sólidos suspensos. Apresentando um residual de 54 mg O₂ L⁻¹ de DQO, 3,90 UNT de turbidez, 8 UH de cor, 0,6 mg L⁻¹ de surfactante e 12 mg L⁻¹ de sólidos suspensos. O

sistema de filtração como pós-tratamento possibilitou um polimento do efluente, aumentando a eficiência na remoção destes parâmetros.

O sistema de filtração em meio granular sob pressão ao ser aplicado no tratamento do efluente apresentou elevada eficiência na remoção dos parâmetros DQO, turbidez, cor, surfactantes e sólidos. Apresentando um efluente com residual de 65 mg O₂ L⁻¹ de DQO, 6,09 UNT de turbidez, 19 UH de cor, 5,1 mg L⁻¹ de surfactante e sem a detecção de sólidos suspensos.

5 RECOMENDAÇÕES

As principais recomendações originadas deste estudo são:

- Nos ensaios de CFF₂ da seção 3.3, o pH de coagulação empregado em todos os ensaios foi o próprio pH do efluente bruto, este se mostrou eficiente no tratamento do efluente em questão. Entretanto, novos ensaios poderiam ser realizados com o objetivo de avaliar a variação do pH de coagulação ao se empregar o coagulante AQUA-PAC no tratamento do efluente da lavagem dos ônibus, para desta forma, identificar uma faixa de pH de coagulação, visando melhorar o sistema de tratamento e economizar na utilização de produtos químicos para a correção do pH do efluente antes e após o tratamento.
- O polímero aniônico empregado nos ensaios de CFF₂ da seção 3.3 não foi eficiente na remoção e degradação dos parâmetros analisados, empregou-se este polímero pelo fato dele ser empregado na empresa de transporte de ônibus, entretanto para futuros trabalhos, seria interessante avaliar outros polímeros no tratamento deste efluente.
- O lodo gerado nos ensaios de tratabilidade via CFF não foi analisado quanto suas características físico-químicas. Recomenda-se que para futuros trabalhos este seja analisado, visando determinar suas características e volume gerado a partir do tratamento por determinados coagulantes.
- Novos ensaios de CF-F poderiam ser realizados visando identificar novas dosagens do coagulante, para verificar uma possível redução de sua dosagem.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13969/1997 - Tanques Sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 14.004:2004 – Classificação de resíduos sólidos. Rio de Janeiro, 2004.

AISSE, M. M.; JÜRGENSEN, D. ; REALI, M. A. P.; et al. Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios por Sistemas de Aeração. In: CHERNICHARO, C. A. L.; **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. FINEP/PROSAB, 2001.544 p.

ANA/FIESP/SINDUSCON-SP – Agência Nacional das Águas/Federação das Indústrias do Estado de São Paulo/Sindicato da Indústria de Construção do Estado de São Paulo. **Conservação e reuso da água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 22nd Ed. Washington: American Public Health Association. 1360p. 2012.

BAIRD, Colin. *Química Ambiental*. Tradução Maria Angeles, Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2 ed. Porto Alegre, Bookman, 2002. 622 p.

BRAGA, J. K.; MOTTERAN, F.; MACEDO, T. Z.; et al. Biodegradation of linear alkylbenzenesulfonate in commercial laundry wastewater by anaerobic fluidized bed reactor. **Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering**. 50, p.946-957. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluente. 2011.

BOUSSU, K.; KINDTS, K.; VANDECASTEELE, C.; et al. Applicability of nanofiltration in the carwash industry. **Separation and Purification Technology**. 54, p.139-146. 2007.

CASTRO-SILVA, M. A. et al. Microrganismos associados ao tratamento de águas de abastecimento com coagulante orgânico vegetal (tanato quaternário de amônio) – I. Microrganismos Filamentosos. **Revista Estudos de Biologia**, v. 26, n. 54, p. 21-27, jan./mar. 2004.

Confederação Nacional do Transporte. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Boletim/boletim-estatistico-cnt>> acesso em 24 de janeiro de 2017.

ETCHEPARE, R. G.; ZANETI, R.; AZEVEDO, A.; et al. Application of flocculation-flotation followed by ozonation in vehicle wash wastewater treatment/desinfection and water reclamation. **Desalination and Water Treatment**.10p. 2014.

HAMADA, T.; MIYAZAKY, Y. Reuse of carwash water with a cellulose acetate ultrafiltration membrane aided by flocculation and activated carbon treatments. **Desalination**.169, p.257-267. 2004.

JIMENEZ, B.; MARA, D.; CARR, R.; BRISSAUD, F. Wastewater treatment for pathogen removal and nutrient conservation: suitable systems for use in developing countries. In: *Wastewater Irrigation and Health – Assessing and mitigating risk in low-income countries*. Earthscan, IDRC. 2010.

KIRAN, S. A.; ARTHANAREESWARAN, G.; THUYAVAN, Y. L.; et al. Influence of bentonite in polymer membranes for effective treatment of car wash effluent to protect the ecosystem. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. n.121, p.186-192. 2015

LAU, W. J.; ISMAIL, A. F.; FIRDAUS, S. Car wash industry in Malaysia: treatment of car wash effluent using ultrafiltration and nanofiltration membranes. **Separation and Purification Technology**. n.104, p.26-31. 2013.

MELO, A. R. B. de. **Pós-tratamento de efluente de reator UASB por filtração em areia e carvão ativo**. 2014. 70f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil – Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2014.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 4rd ed. New York, McGraw Hill, 2003. 1334p.

PANIZZA, G.; CERISOLA, G. Applicability of electrochemical methods to carwash wastewaters for reuse. Part 2: electrocoagulation and anodic oxidation integrated process. **Journal of Electroanalytical Chemistry**.n. 638, p.236-240.2010

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos–SEMA. Resolução SEMA nº 021 de 4 de julho de 2011. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios para postos de combustíveis e/ou sistemas retalhistas de combustíveis, revoga a Resolução nº 038/09/SEMA, Resolução nº018/10/SEMA e Resolução nº 077/10/SEMA dá outras providências. **2011**

PARANÁ. Conselho Estadual do Meio Ambiente – CEMA. Resolução nº 88 de 27 de agosto de 2013. Estabelece critérios, procedimentos e tipologias para licenciamento ambiental municipal de atividades, obras e empreendimentos que causem ou possam causar impacto ambiental. 2013

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMA. Resolução nº 38 de 19 de agosto de 2009. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios para postos de combustíveis e/ou sistemas retalhistas de combustíveis e dá outras providências. 2009.

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulante na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 216 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

PUREWATER. Disponível em: <<http://www.purewaterrefluentes.com.br/>> Acesso em 24 de janeiro de 2017.

RUBIO, J.; CARISSIMI, E.; ROSA, J. J. Flotation in water and wastewater treatment and reuse: recent trend in Brazil. **International Journal of Environmental and Pollution**. 30 (2), p.193-207. 2007.

RUBIO, J.; ZANETI, R. N. Treatment of wash rack wastewater with water recycling by advanced flocculation-column flotation. **Desalination and Water Treatment**. n.8, p.146-153. 2009.

SAWYER, C. N. **Chemistry for environmental engineering**. 4^a Ed. Singapura, McGraw-Hill. 1994.

SILVA, Telma S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. 1999. 87 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz, São Paulo, 1999.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 3ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 452p. 2005.

SRIVASTAVA, Vimal C. et al. Treatment of pulp and paper mill wastewater with poly aluminium chloride and bagasse fly ash. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 260, n. 1-3, p. 17-28, jun. 2005.

STEVIK, T.K., AA, K., AUSLAND, G., HANSEN, J.F. 2004. Retention and removal of pathogenic bacteria in wastewater percolating through porous media: a review. **Water Research**, 38, p.1355-1367

TEIXEIRA, P, da C. **Emprego da flotação por ar dissolvido no tratamento de efluente de lavagem de veículos visando a reciclagem de água**. 2003. 199f. Dissertação (Mestrado Engenharia Civil) Universidade Estadual de Campinas, SP. 2003.

ZANETI, R.; ETCHEPARE, R.; RUBIO, J. Car wash wastewater reclamation: full-scale application and upcoming features. **Resources, Conservation and Recycling**. 55, p.953-959. 2011.

ZANETI, R.; ETCHEPARE, R.; RUBIO, J. More environmentally friendly vehicle washes: water reclamation. **Journal of Cleaner Production**. 37, p.115-124. 2012.

CAPÍTULO II

SISTEMAS DE FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO E FILTRAÇÃO APLICADOS AO TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVANDERIAVISANDO O REÚSO

1 INTRODUÇÃO

A expansão dos centros urbanos e o desenvolvimento industrial podem vir a comprometer a qualidade dos recursos hídricos, isto em virtude da crescente demanda por água potável e pelo lançamento inadequado de águas residuárias sem um tratamento satisfatório, ocasionando a contaminação de águas superficiais e subterrâneas. O setor de lavanderia se caracteriza pela alta demanda de água. O consumo de água estimado para este setor é de 10% do volume consumido por uma região urbana (Menezes 2005). Segundo Sperling (2005) o consumo médio de água neste setor varia entre 20 e 60 L kg⁻¹ de roupa.

Desta forma, as lavanderias comerciais, hospitalares e industriais acabam produzindo um elevado volume de efluente, este por sua vez é caracterizado pela presença de solventes, desinfetantes, amaciantes, detergentes, matéria orgânica, amônia, sólidos dissolvidos, dentre outros poluentes (AHMAD e EL-DESSOUKY, 2008), em razão dos compostos que constituem os produtos químicos empregados.

O reúso de água residuária tratada é uma técnica empregada para reduzir o consumo de água potável, bem como minimizar os impactos ambientais potenciais de alguns segmentos. Nas empresas de viação intermunicipal e interestadual é possível promover o reúso do efluente tratado da lavanderia no setor de lavagem veicular e/ou na lavagem de pátio de abastecimento de combustível, reduzindo desta forma, custos com o consumo de água potável e produtos, como detergentes.

Entretanto, quando se objetiva o reúso de águas residuárias o controle de determinados parâmetros físico-químicos é essencial para evitar problemas relacionados com a sua finalidade e a saúde dos operadores, para isto, diferentes sistemas de tratabilidade devem ser avaliados de modo a se obter uma água residuária passível de reutilização. Alguns dos parâmetros que devem ser monitorados são: sólidos suspensos totais (SST), sólidos dissolvidos totais (SDT), turbidez e pH (ANA/FIESP e SINDUSCON-SP 2005; Resolução NBR n° 13969/1997).

Algumas das tecnologias avaliadas para o tratamento de efluentes provenientes de lavanderias são: oxidação eletroquímica (GE et al., 2003), ultrafiltração (ŠOSTARTURK et al., 2005); adsorção em carvão ativado (MATSUO e NISHI, 2000) e reator anaeróbio de leiteo fluidizado (BRAGA et al., 2015). O sistema de tratabilidade via

coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido (FAD) também pode ser aplicado ao tratamento de efluentes do setor de lavanderia (TEIXEIRA, 2003).

O tratamento via coagulação/floculação/FAD consiste na aplicação de produtos químicos que promovem a desestabilização química de partículas coloidais presentes no efluente, tal mecanismo é denominado coagulação. Estes desestabilizantes podem ser à base de sais de ferro ou de alumínio, polímeros orgânicos e sintéticos. A etapa de floculação visa promover a agregação dos flocos formados durante a desestabilização das partículas coloidais, de modo a promover a separação destes da fase líquida pela injeção de ar saturado no sistema, estas partículas sobem à superfície e são removidas por uma operação de raspagem superficial (METCALF & EDDY, 2003; AISSE et al., 2001). Dentre os desestabilizantes estão os coagulantes à base de taninos e de policloreto de alumínio (PAC).

Outro sistema que pode ser aplicado ao tratamento do efluente em questão é a filtração em meio granular sob pressão. Este sistema pode ser aplicado como tratamento terciário de águas residuárias, visando o polimento para remoção e degradação dos compostos residuais (MELO, 2014). Ou ainda ser aplicado como tratamento secundário, podendo ou não ser precedido de um sistema de coagulação/floculação para aumentar a eficiência na retenção dos sólidos em suspensão e de outros parâmetros.

O presente estudo teve como objetivo caracterizar o efluente de uma lavanderia industrial e estimar o volume de água consumido no setor, assim como, promover o tratamento do efluente gerado. Avaliaram-se diferentes sistemas de tratabilidade em escala de bancada, sendo estes: sistema de coagulação/floculação/FAD (CFF); coagulação/floculação/FAD seguido de pós-tratamento por filtração em meio granular sob pressão (CFF-F); coagulação/floculação/filtração em meio granular sob pressão (CF-F) e filtração direta em meio granular sob pressão, utilizando os coagulantes AQUAFLOC/LS e AQUA-PAC, visando o reúso do efluente tratado no setor de lavagem veicular e/ou do piso da área de abastecimento de combustível.

2 METODOLOGIA

2.1 EFLUENTE DE ESTUDO

O efluente estudado é proveniente de uma lavanderia instalada em uma empresa de ônibus de viação intermunicipal e interestadual localizada na cidade de Londrina, Paraná. O efluente produzido por este setor é gerado pela lavagem de cobertores, capas de cobertores e capas de poltronas (Figura 1).



Figura 1. Máquina de lavar empregada no setor de lavanderia

A empresa de viação possui uma estação de tratamento de efluentes compacta destinada ao tratamento do efluente proveniente da lavanderia. Este sistema é composto por um flotador por ar dissolvido (FAD) e por dois reatores biológicos, sendo estes o biofiltro aerado submerso, dispostos em paralelo. O efluente tratado é clorado e armazenado em reservatórios, onde posteriormente é lançado em um corpo hídrico receptor.

Os parâmetros técnicos do sistema FAD em funcionamento na empresa estão descrito na Tabela 1. O coagulante empregado para a ocorrência da coagulação no flotador é o polialumínio de cloreto (PAC) e como auxiliar de coagulação é empregado um polímero a base de acrilamida e acrilato de sódio.

Tabela 1. Parâmetros técnicos do flotor por ar dissolvido empregado na estação de tratamento de efluentes da empresa de ônibus rodoviário

Parâmetros técnicos	
Altura (m)	1,55
Diâmetro (m)	2,0
Volume (m ³)	3,14
Coagulante	Policloreto de alumínio (PAC)
Concentração do coagulante (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	80
Auxiliar de coagulação	Polímero aniônico
Taxa de aplicação no flotor (m ³ m ⁻² dia ⁻¹)	70

2.2 LEVANTAMENTO DO CONSUMO DE ÁGUA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

A determinação do consumo de água no setor da lavanderia foi realizada mediante ao levantamento do número de lavagens que são realizadas diariamente, assim como o número de ciclos empregados para a lavagem de cada tipo de roupa.

A caracterização físico-química do efluente foi realizada em duas etapas. A etapa 1 contemplou a caracterização da água residuária da lavagem de cada tipo de roupa, como verificado pelo fluxograma da Figura 2, sendo o efluente coletado na tubulação de saída de água da máquina de lavar. E a etapa 2 correspondeu a caracterização do efluente total da lavanderia, onde a coleta do efluente foi realizada no reservatório de armazenamento.

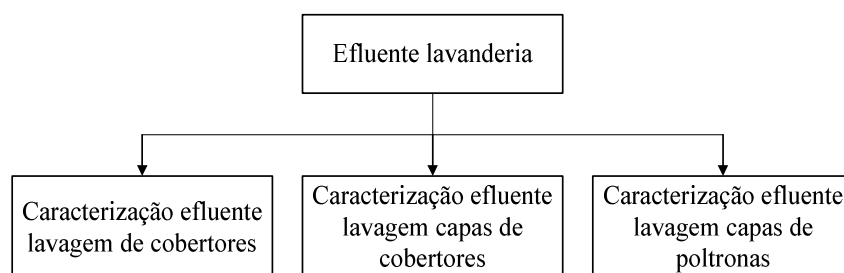


Figura 2. Fluxograma da caracterização do efluente proveniente da lavanderia

Os parâmetros físico-químicos empregados para caracterização do efluente estão descritos na Tabela 2. Todas as análises foram realizadas de acordo com as

recomendações do *Standard Methods for the Examination of the Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Tabela 2. Análises físico-químicas estabelecidas para caracterização do efluente do setor de lavanderia

Parâmetro	Método analítico
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	5220 D – Método colorimétrico, refluxo fechado
Série de sólidos (mg L ⁻¹)	2540 B – Sólidos totais secos a 103-105°C; 2540 D – Sólidos suspensos totais secos a 103-105°C; 2540 E – Sólidos fixos e voláteis inflamados a 550°C
Nitrogênio NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	4500 N _{org} C – Método semi-micro Kjeldahl
Nitrogênio amoniacal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	4500-NH ₃ C – Método titulométrico
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	4500-NO ₃ ⁻ B – Método espectrofotométrico
Fósforo total (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	4500 P – Método redução com ácido ascórbico
Surfactantes (mg L ⁻¹)	5540 C – MBAS (substâncias que reagem ao azul de metileno)
Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	2510 B – Método de laboratório
Turbidez (UNT)	2130 B – Método nefelométrico
Cor aparente (UH)	2120 C - Método de espectrofotometria
pH	4500 H ⁺ B – Método eletrométrico

2.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Poluentes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Londrina. Os testes foram realizados no equipamento de teste de jarros, com capacidade de 2 litros dotados para flotação em escala de bancada e um compressor de ar (Figura 3). Um sistema de filtração em meio granular sob pressão em escala de bancada também foi empregado nos ensaios de tratabilidade. (vide descrição item 2.3 do Capítulo 1).

2.3.1 Coleta do Efluente

Para os ensaios de tratabilidade o efluente da lavanderia foi coletado no reservatório destinado para o armazenamento somente deste efluente, não tendo assim, a influência do efluente da lavagem veicular (Figura 3).



Figura 3. Reservatório de armazenamento do efluente da lavanderia

2.3.2 Coagulantes Empregados

Os coagulantes empregados nos ensaios de tratabilidade foram o AQUAFLOC/LS (tanino), e AQUA-PAC (polialumínio de cloreto) com o auxílio de um polímero de acrilamida e acrilato de sódio (vide descrição na Tabela 3 do Capítulo 1).

2.3.3 Determinação das Condições de coagulação por CFF

2.3.3.1 Delineamento experimental

O planejamento estatístico aplicado aos ensaios de CFF foi baseado no Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). As variáveis independentes foram pH de coagulação, concentração dos coagulantes (AQUA-PAC e AQUAFLOC/LS) e concentração do polímero.

Os ensaios de CFF foram realizados em duas etapas. As variáveis independentes aplicadas aos ensaios da etapa 1 foram pH de coagulação e concentração do coagulante AQUAFLOC/LS. Na etapa 2 empregou-se as variáveis independentes pH de coagulação, concentração do coagulante AQUA-PAC e do polímero.

As dosagens dos coagulantes, do polímero e a faixa de pH de coagulação estabelecidas para os ensaios de cada etapa estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Concentrações dos coagulantes, polímero e pH de coagulação, para a ocorrência da coagulação/floculação

Condições de coagulação	Etapa 1 – CFF ₁	Etapa 2 – CFF ₂
Coagulante AQUAFLOC/LS (mg L ⁻¹)	200 a 1000	-
pH de coagulação	6,00 a 9,00	6,0 a 9,0
Coagulante AQUA-PAC (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	-	300 a 800
Polímero (mg L ⁻¹)	-	1,0 a 2,0

As dosagens dos coagulantes e do polímero foram determinadas por meio da realização de ensaios preliminares. A faixa de pH de coagulação estabelecida para os ensaios está relacionada com a faixa de pH instituída para o lançamento de efluentes, de acordo com a Resolução CONAMA n°430/2011.

As Tabelas 4 e 5 apresentam os valores codificados e reais das concentrações dos coagulantes, do polímero e os valores de pH.

Tabela 4. Valores reais de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e valores de pH de coagulação determinados pelo método DCCR para os ensaios de CFF₁

Ensaio	Valores codificados		Valores reais	
	Concentração AQUAFLOC/LS	pH de coagulação	Concentração AQUAFLOC/LS (mg L ⁻¹)	pH de coagulação
1	-1	-1	316	6,40
2	1	-1	884	6,40
3	-1	1	316	8,50
4	1	1	884	8,50
5	-1,41	0	200	7,50
6	1,41	0	1000	7,50
7	0	-1,41	600	6,00
8	0	1,41	600	9,00
9	0	0	600	7,50
10	0	0	600	7,50
11	0	0	600	7,50

Tabela 5. Valores reais da concentração do coagulante AQUA-PAC e do polímero determinados pelo método DCCR para os ensaios de CCF₂

Ensaio	Valores codificados			Valores reais		
	Concentração AQUA-PAC	Concentração polímero	pH de coagulação	Concentração AQUA-PAC (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	Concentração polímero (mg L ⁻¹)	pH de coagulação
1	-1	-1	-1	401	0,4	6,61
2	1	-1	-1	699	0,4	6,61
3	-1	1	-1	401	1,6	6,61
4	1	1	-1	699	1,6	6,61
5	-1	-1	1	401	0,4	8,39
6	1	-1	1	699	0,4	8,39
7	-1	1	1	401	1,6	8,39
8	1	1	1	699	1,6	8,39
9	-1,68	0	0	300	1,0	7,50
10	1,68	0	0	800	1,0	7,50
11	0	-1,68	0	550	0,0	7,50
12	0	1,68	0	550	2,0	7,50
13	0	0	-1,68	550	1,0	6,00
14	0	0	1,68	550	1,0	9,00
15	0	0	0	550	1,0	7,50
16	0	0	0	550	1,0	7,50
17	0	0	0	550	1,0	7,50

As condições de coagulação e floculação estão apresentadas na Tabela 7 do Capítulo 1. Estes parâmetros foram baseados nas recomendações de Aisse et al., (2001) para o tratamento de efluentes.

A taxa de recirculação de ar saturado foi de 20% e a pressão de saturação da câmara de ar foi de 6 bar. As taxas de aplicação superficial estabelecidas para os ensaios com o coagulante AQUAFLOC/LS foram de 150 e 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Para os ensaios com o coagulante AQUA-PAC, as taxas de aplicação superficial empregadas foram de 120 e 70 m³ m⁻² dia⁻¹. A velocidade ascensional ao se aplicar a taxa de 120 m³ m⁻² dia⁻¹ é de 0,14 cm s⁻¹ correspondendo ao tempo de coleta de 54 segundos. A taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹ corresponde à taxa aplicada ao flutador por ar dissolvido em funcionamento na empresa de viação. A taxa de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ não foi aplicada aos ensaios com o coagulante AQUA-PAC, pois nos ensaios preliminares todos os valores dos parâmetros avaliados sofreram um aumento considerável devido à remoção incompleta dos flocos formados no ponto de coleta do jarro.

As análises físico-químicas empregadas para avaliar a eficiência dos diferentes coagulantes nos ensaios de CFF foram DQO, cor, turbidez, condutividade elétrica e pH.

Os modelos matemáticos gerados pelo método DCCR para as variáveis respostas remoção e redução dos parâmetros cor aparente, turbidez e DQO foram

validados estatisticamente pela análise de variância (ANOVA) a um nível de confiança de 95%.

2.3.3.2 Determinação dos pontos otimizados de concentração de coagulantes e valor de pH de coagulação

Por meio dos gráficos de curva de contorno foram determinadas as faixas consideradas ótimas das variáveis independentes que obtiveram maiores eficiências na remoção das variáveis analisadas, DQO, cor aparente e turbidez.

A partir da faixa ótima de atuação dos coagulantes e pH de coagulação, foram determinados pontos considerados ótimos para serem melhor avaliados com relação à remoção de matéria orgânica, sólidos, nitrogênio, fósforo e surfactantes, para isto, novos ensaios de CFF foram realizados. As análises realizadas para caracterizar o efluente após o tratamento estão descritas na Tabela 2.

2.3.4 Ensaios de Tratabilidade

Avaliaram-se diferentes combinações de sistemas de tratabilidade visando avaliá-los quanto à obtenção de um efluente passível de ser reutilizado no setor de lavagem dos ônibus, setor caracterizado pelo elevado consumo de água na empresa. Os sistemas de tratamento estão descritos no item 2.3.4 do Capítulo 1. Estes foram avaliados com relação à remoção dos parâmetros físico-químicos descritos na Tabela 2.

Os parâmetros técnicos do sistema de filtração estão descritos no item 2.3.4 do Capítulo 1. Os Ensaios de CFF e de CF-F também foram realizados segundo os itens 2.3.4.1 e 2.3.4.2 do Capítulo 1, respectivamente. As dosagens dos coagulantes foram baseadas nas concentrações otimizadas estabelecidas na seção 2.3.3.2 deste Capítulo.

3 RESULTADOS

3.1 ESTIMATIVA DO CONSUMO DE ÁGUA E CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

No setor da lavanderia são realizadas cerca de 20 lavagens diariamente, totalizando aproximadamente a lavagem de 20.000 kg de roupa por mês.

Para cada tipo de roupa há uma quantidade de etapas de lavagem específica, classificadas como ciclos, onde, para a lavagem de capas de poltronas e capas de cobertores são empregados 10 ciclos de lavagem (Quadro 1), enquanto que para a lavagem dos cobertores são empregados 5 ciclos (Quadro 2).

Quadro 1. Etapas e produtos empregados na lavagem de capas de poltronas e capas de cobertores

Ciclo de lavagem	Capas de poltronas		Capas de cobertores	
	Nível da água	Etapas/Produto empregado	Nível da água	Produto empregado
1	N.A	Sem adição de produto	N.A	Sem adição de produto
2	N.B	Umectação/Remograx	N.B	Umectação/Remograx
3	N.A	Enxágue	N.A	Enxágue
4	N.B	Lavagem/Detersol UL	N.B	Lavagem/Detersol UL e Detersol NA700
5	N.A	Enxágue	N.A	Enxágue
6	N.B	Alvejamento/Detersol L Plus; Alvisol CHL90	N.B	Alvejamento/Detersol NA700; Alvisol CHL90
7	N.A	Enxágue	N.A	Enxágue
8	N.A	Enxágue	N.A	Enxágue
9	N.B	Remoclor	N.A	Enxágue
10	N.B	Amaciamento/All soft	N.B	Amaciamento/Remoclor e All soft

N.A: nível alto de água: 0,24 m³

N.B: nível baixo de água: 0,15 m³

Quadro 2. Etapas e produtos empregados na lavagem de cobertores

Ciclo de lavagem	Cobertores	
	Nível da água	Etapa/Produto empregado
1	N.A	Sem adição de produto
2	N.B	Lavagem/Detersol L Plus
3	N.A	Enxágue
4	N.A	Enxágue
5	N.B	Amaciamento/All Soft

N.A: nível alto de água: 0,24 m³

N.B: nível baixo de água: 0,15 m³

Para cada tipo de roupa lavada há um consumo específico de água, em virtude do número de ciclos de lavagem e do volume de água empregado em cada um, como descrito pela Tabela 6.

Tabela 6. Consumo de água na lavanderia

	Ciclos de nível baixo de água (N.B)	Quantidade de água NB (m ³)	Ciclos de nível alto de água (N.A)	Quantidade de água NA (m ³)	Consumo total de água (m ³)
Cobertores	2	0,30	3	0,72	1,02
Capas de cobertores	4	0,60	6	1,44	2,04
Capas de poltronas	5	0,75	5	1,20	1,95

N.A: nível alto de água: 0,24 m³

N.B: nível baixo de água: 0,15 m³

O consumo médio de água na lavanderia é de 33 m³ dia⁻¹, visto que a lavanderia funciona de segunda a sábado e o maior consumo de água é representado pela lavagem das capas de poltronas, devido a sua maior utilização nas viagens, representando cerca de 50% do consumo de água neste setor.

Na lavanderia são empregados diferentes tipos de produtos químicos, a caracterização destes produtos são apresentadas no Quadro 3. Estes produtos, em geral, possuem em sua composição detergente, sendo derivados de tensoativos.

Quadro 3. Produtos químicos utilizados no setor da lavanderia

Setor	Produtos	Características
Lavanderia	Remograx	Removedor de óleos, gorduras e graxas orgânicas e minerais (pH = 7,50 à 8,00)
	DetersolUL	Detergente – tensoativo aniônico, não iônico e solvente (pH = 10,50 à 11,40)
	Detersol NA 700	Detergente alcalino (pH > 13,50)
	Detersol L Plus	Detergente e aditivo alcalino – tensoativo aniônico e não iônico, alcalinizante e sequestrante (pH = 12,30 à 12,70)
	Alvisol CH90	Alvejante a base de cloro ativo (pH = 10,00 à 11,50)
	Remoclor	Acidulante para neutralizar a alcalinidade e remover o cloro residual (pH = 4,10 à 4,70)
	All soft	Amaciante siliconizado e antiestático, tensoativo catiônico anti-aderente (pH = 3,50 à 4,00)

Devido as suas particularidades e a presença de surfactantes, cloro ativo, agentes alcalinizantes e solventes, os produtos empregados neste setor influenciam na qualidade do efluente promovendo o aumento do valor de determinados parâmetros físico-químicos, bem como o aumento ou diminuição do pH, (Tabelas 7, 8 e 9).

Os parâmetros que foram significativamente influenciados pela utilização dos produtos químicos para a lavagem das roupas forma DQO, cor aparente, turbidez, condutividade elétrica, nitrogênio NTK, sólidos totais, sólidos dissolvidos, surfactantes e fósforo, verificado ao se comparar os dados das análises das etapas de lavagem que utilizaram algum produto químico e a primeira etapa da lavagem de cada roupa, onde ocorreu a utilização apenas de água (vide Tabelas 7, 8 e 9), onde há um aumento significativo dos valores destes parâmetros.

O pH do efluente apresentou uma significativa variação de acordo com a etapa de lavagem. Ao se empregar os produtos à base de tensoativos e alvejante o pH do efluente aumentou consideravelmente, em virtude da presença de alcalinizantes na composição desses produtos.

Tabela 7. Caracterização do efluente da lavagem de capas de poltronas

Parâmetros	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	44	1633	404	1256	373	564	195	189	106	116
pH	8,20	8,00	8,40	11,60	10,50	11,30	10,00	9,30	8,60	9,60
Turbidez (UNT)	5,0	36,7	24,3	55,1	23,4	37,8	22,9	24,9	12,8	19,2
Cor aparente (UH)	13	114	71	174	60	103	42	46	26	32
Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	438,3	451,6	438,0	3320,0	840,4	3480,0	1171,0	799,7	920,6	802,7
N-amoniacoal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	nd	0,1	0,2	4,6	0,3	nd	0,1	0,1	nd	nd
NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	1,1	4,8	4,8	11,8	4,8	3,6	2,5	2,5	2,5	2,0
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,5	1,6	0,6	0,7	0,6	0,7	0,6	0,5	0,5	0,5
ST (mg L ⁻¹)	778	899	392	1065	501	1835	836	612	702	566
SV(mg L ⁻¹)	496	284	136	340	111	259	144	87	81	42
SF(mg L ⁻¹)	282	615	256	725	390	1576	692	525	621	524
SST (mg L ⁻¹)	50	62	47	90	55	65	20	57	37	47
SSV (mg L ⁻¹)	25	27	20	30	10	22	10	12	17	10
SSF (mg L ⁻¹)	25	35	27	60	45	42	10	45	20	37
SDT (mg L ⁻¹)	728	836	345	975	446	1770	816	555	665	519
SDV (mg L ⁻¹)	471	256	116	310	101	236	134	75	64	32
SDF (mg L ⁻¹)	257	580	229	665	345	1534	682	480	601	486
Surfactante (mg L ⁻¹)	1,0	1,4	0,5	15,8	5,1	3,0	1,6	0,2	0,8	1,0
Fósforo total (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	0,4	1,5	0,8	4,0	0,8	1,1	0,7	0,8	0,7	0,7

E: Etapas dos processos de lavagem de acordo com o Quadro 1

nd: Não detectado

Tabela 8. Caracterização do efluente da lavagem de capas de cobertores

Parâmetros	E1	E2	E3	E4	E5	E6	E7	E8	E9	E10
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	68	450	118	1154	274	413	137	74	46	213
pH	7,80	4,30	6,60	11,90	10,70	11,60	10,10	9,40	8,90	7,90
Turbidez (UNT)	10,6	25,8	14,4	50,1	20,1	31,2	14,6	12,3	8,5	35,0
Cor aparente (UH)	22	71	31	153	47	79	27	19	17	84
Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	335,7	520,9	297,1	2690,0	611,0	1170,0	427,3	335,1	311,0	395,7
N-amoniaco (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	1,4	1,4	5,5	1,4	0,7	1,4	2,2	1,6	1,3	0,6
NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	5,6	30,2	9,5	20,7	8,4	14,3	7,0	5,3	5,3	9,8
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,6	0,6	0,5	0,7	0,5	0,5	0,5	0,5	0,4	0,4
ST (mg L ⁻¹)	300	597	275	1680	572	892	325	355	332	505
SV (mg L ⁻¹)	97	302	137	390	122	892	7	132	152	202
SF (mg L ⁻¹)	202	295	137	1290	450	nd	317	222	180	302
SST (mg L ⁻¹)	17	30	20	77	25	40	5	25	16	37
SSV (mg L ⁻¹)	17	20	12	70	25	40	5	17	16	37
SSF (mg L ⁻¹)	nd	10	7	7	nd	nd	nd	7	nd	nd
SDT (mg.L ⁻¹)	282	567	255	1602	547	852	320	330	316	467
SDV (mg L ⁻¹)	80	282	125	320	97	852	2	115	136	165
SDF (mg L ⁻¹)	202	285	130	1282	450	nd	317	215	180	302
Surfactante (mg L ⁻¹)	0,1	0,7	0,6	25,5	7,4	9,1	1,7	1,1	0,6	0,3
Fósforo total (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	0,7	11,8	1,7	9,0	1,4	1,6	0,6	0,5	0,5	0,2

E: Etapas dos processos de lavagem de acordo com o Quadro 1

nd: Não detectado

Tabela 9. Caracterização do efluente da lavagem de cobertores

Parâmetros	E1	E2	E3	E4	E5
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	23	192	94	64	118
pH	8,00	10,50	9,50	9,80	9,20
Turbidez (UNT)	6,3	26,3	11,5	10,7	18,2
Cor aparente (UH)	13	50	13	3	18
Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	458,1	927,6	550,1	515,3	521,5
N-amoniacoal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	0,7	1,0	1,0	0,9	0,6
NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	3,6	5,3	2,2	2,2	2,0
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
ST (mg L ⁻¹)	297	642	436	417	374
SV(mg L ⁻¹)	194	294	236	239	174
SF(mg L ⁻¹)	104	349	200	179	200
SST (mg L ⁻¹)	50	37	47	5	25
SSV (mg L ⁻¹)	25	25	20	5	20
SSF (mg L ⁻¹)	25	12	27	nd	5
SDT (mg.L ⁻¹)	247	605	389	412	349
SDV (mg L ⁻¹)	168	269	216	234	154
SDF (mg L ⁻¹)	78	336	172	179	195
Surfactante (mg L ⁻¹)	0,7	2,8	0,9	0,7	0,0
Fósforo total (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	0,3	0,7	0,5	0,4	0,6

E: Etapas dos processos de lavagem de acordo com o Quadro 1

nd: Não detectado

Para a lavagem dos cobertores são empregados apenas dois produtos químicos, sendo estes responsáveis pela lavagem e amaciamento. Os efluentes provenientes da lavagem dos cobertores apresentaram uma menor concentração para alguns parâmetros, quando comparado ao efluente gerado pela lavagem das capas. Os parâmetros influenciados foram: DQO, cor, turbidez, nitrogênio NTK, surfactante e fósforo (Tabela 9).

A caracterização da água residuária da lavanderia sem distinção do tipo de roupa lavada é apresentada na Tabela 10.

Tabela 10. Caracterização do efluente bruto do setor de lavanderia

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Média	CV (%)	Limite para lançamento*
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	78	519	300 ± 173	58	-
pH	8,34	10,25	9,50 ± 0,74	8	5,00 a 9,00
Turbidez (UNT)	26,8	194,5	36,52 ± 21,97	60	-
Cor aparente (UH)	82	585	114 ± 69	61	-
Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	576,4	1.068,0	784,82 ± 201,89	26	-
N-amoniacoal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	0,17	0,70	0,42 ± 0,27	63	≤ 20,0
NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	6,4	14,3	9,23 ± 4,16	45	-
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,58	0,67	0,62 ± 0,05	7	-
ST (mg L ⁻¹)	657	752	778 ± 136	17	-
SV (mg L ⁻¹)	147	327	283 ± 120	42	-
SF (mg L ⁻¹)	425	510	495 ± 64	13	-

Tabela 10. Caracterização do efluente bruto do setor de lavanderia

(continuação)

Parâmetros	Mínimo	Máximo	Média	CV (%)	Limite para lançamento*
SST (mg L ⁻¹)	30	32	104 ± 126	121	-
SSV (mg L ⁻¹)	27	32	53 ± 41	76	-
SSF (mg L ⁻¹)	0	150	51 ± 86	168	-
SDT (mg L ⁻¹)	625	722	674 ± 49	7	-
SDV (mg L ⁻¹)	115	300	230 ± 100	44	-
SDF (mg L ⁻¹)	422	510	536 ± 128	24	-
Surfactante (mg L ⁻¹)	1,79	4,20	4,46 ± 2,81	63	-
Fósforo total (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	0,13	1,38	0,60 ± 0,68	114	-

CV: Coeficiente de variância

Fonte: CONAMA n° 430/2011

O efluente analisado caracterizou-se por apresentar um elevado pH em virtude da composição dos produtos químicos empregados para a lavagem das roupas, sendo estes constituídos por agentes alcalinizantes, com valores de pH superiores a 10,00.

Ao longo da caracterização do efluente, este apresentou uma variação significativa dos parâmetros DQO, cor aparente e turbidez. Este efeito pode estar relacionado com o tipo de roupa que estava sendo lavado no momento antes da coleta, bem como a etapa de lavagem que estava sendo realizada, sendo influenciado pelo produto químico utilizado.

A DQO do efluente chegou a atingir um valor de 519 mg O₂ L⁻¹, valor inferior ao obtido por alguns estudos ao caracterizarem efluentes de lavanderia comercial. Delforno et al., (2014) ao observaram um valor médio de DQO de 1.603 mg O₂ L⁻¹, enquanto que Braga et al., (2015) de 1.434 mg O₂ L⁻¹. Essa variação nos valores obtidos por diferentes estudos podem estar relacionadas com o tipo de produto químico empregado nas lavanderias, assim como os compostos que os constituem e a dosagem aplicada. Šostar-Turk et al., (2005) ao caracterizar um efluente proveniente de uma lavanderia industrial obteve uma DQO média de 280 mg O₂ L⁻¹, valor inferior ao obtido pelos autores citados, entretanto próximo de alguns dos valores apresentados neste trabalho.

O efluente apresentou uma elevada concentração de sólidos totais, chegando a atingir uma concentração de 752 mg L⁻¹. A maior parcela dos sólidos presentes no efluente está na forma dissolvida, representando cerca de 96%, influenciando desta forma, na condutividade elétrica do efluente. Além disso, esses sólidos são caracterizados por serem constituídos em sua maior parcela por composto inorgânico, como verificado pela análise de sólidos fixos (Tabela 10).

De acordo com a caracterização de um efluente de uma lavanderia comercial realizada por Delforno et al., (2014) a concentração média de sólidos totais no efluente foi de 4.530 mg L^{-1} , sendo este também constituído em sua maior parcela por sólidos dissolvidos, representando cerca de 4.410 mg L^{-1} , e por matéria inorgânica representado pelos sólidos fixos, com cerca de 2.900 mg L^{-1} .

A concentração de fósforo encontrada nas amostras de efluente foram inferiores a $2,00 \text{ mg PO}_4 \text{ L}^{-1}$, esta baixa concentração pode estar relacionada com a substituição progressiva dos detergentes sintéticos à base de fosfato por derivados de nitrilotriacetato de sódio, carbonato de sódio, EDTA, dentre outros; isto devido aos possíveis impactos ambientais que os compostos a base de fósforo podem causar aos corpos hídricos receptores, como a eutrofização (BAIRD, 2002). Entretanto, de acordo com a caracterização de efluentes de lavanderia comercial realizadas por Delforno et al., (2014) e Braga et al., (2015) a concentração média de fósforo neste tipo de efluente foi de $196,00 \text{ mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$ e $146,00 \text{ mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$, respectivamente. A concentração média de fósforo determinada na caracterização de Šostar-Turk et al., (2005) foi próximo a $10,00 \text{ mg PO}_4 \text{ L}^{-1}$, isto para uma lavanderia industrial.

A concentração de surfactante foi inferior a $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 10). De acordo com a caracterização realizada por Delforno et al., (2014) a concentração média de surfactante no efluente foi de 181 mg L^{-1} , enquanto que na caracterização realizada por Braga et al., (2015) a concentração média foi $2.273,0 \text{ mg L}^{-1}$. Na caracterização realizada por Šostar-Turk et al., (2005) a concentração média de surfactante foi $10,0 \text{ mg L}^{-1}$, concentração próxima ao obtido na caracterização deste trabalho.

A concentração de nitrogênio total NTK no efluente bruto variou entre $6,4 \text{ mg}$ e $14,3 \text{ mg N-NTK L}^{-1}$. Pela caracterização realizada por Delforno et al., (2014) a concentração média de nitrogênio total foi $32,0 \text{ mg N-NTK L}^{-1}$, enquanto que na análise realizada por Braga et al., (2015) a concentração média foi de $18 \text{ mg N-NTK L}^{-1}$, próximo a concentração obtida pela caracterização deste trabalho. Entretanto, Šostar-Turk et al., (2005) ao caracterizar o efluente de lavanderia industrial, obteve uma concentração média de nitrogênio total inferior ao determinado pelos demais autores, com $2,75 \text{ mg N-NTK L}^{-1}$.

Por meio das análises realizadas e pela caracterização deste tipo de efluente realizada por diferentes estudos, é possível verificar que este efluente apresenta uma variação significativa de suas características, onde esta pode variar de acordo com o tipo de roupa lavada, os produtos empregados e suas dosagens. Também, em virtude disto,

efluentes provenientes do setor de lavanderia podem apresentar um elevado potencial poluidor de corpos hídricos.

3.2 ENSAIOS DE CFF PARA DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES OTIMIZADAS DE COAGULAÇÃO

As características físico-químicas do efluente empregado para os ensaios de tratabilidade estão descritos na Tabela 11.

Tabela 11. Caracterização físico-química do efluente bruto de lavanderia empregado para os ensaios de CFF

Parâmetros	Média
Cor aparente (UH)	109
Turbidez (UNT)	31,0
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	252
Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	780,2
pH	9,29

Ao se avaliar a aplicação do sistema de CFF₁, verificou que este atingiu eficiências de remoção do parâmetro cor de 94% a 95% (Tabela 12), obtendo um efluente com uma cor residual variando de 7 UH a 8 UH (Tabela 12), isto para ambas as taxas de aplicação.

De acordo com os gráficos de curva de contorno para esta variável, foram identificadas duas faixas de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e do pH de coagulação que apresentaram maiores eficiências de remoção do parâmetro cor. Para a taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹, a faixa de concentração do coagulante foi de 200 mg L⁻¹ à aproximadamente 300 mg L⁻¹, enquanto que o valor do pH de coagulação não foi significativo para a remoção deste parâmetro (Figura 4-A). A concentração do coagulante ao se aplicar a taxa de 70 m³ m⁻² dia⁻¹ foi de 200 a 400 mg L⁻¹ e o valor do pH de coagulação foi de 8,00 a 9,00 (Figura 4-B).

Tabela 12. Características físico-químicas do efluente de lavanderia após tratamento via CFF₁

Ensaio	Concentração do AQUAFLOC/LS (mg L ⁻¹)	pH de coagulação	pH pós-tratamento	Cor (UH)		Eficiência de remoção de cor (%)		Turbidez (UNT)		Eficiência de remoção de turbidez (%)		DQO (mg O ₂ L ⁻¹)		Eficiência de remoção de DQO (%)		Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	
				T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
1	316	6,40	7,20	30	27	77	79	4,59	4,27	86	87	63	59	19	24	620,7	625,1
2	884	6,40	7,17	105	105	19	19	16,6	15,9	50	52	168	181	-116	-133	718,8	717,6
3	316	8,50	8,04	8	7	94	95	1,78	1,77	95	95	48	44	39	44	555,4	539,5
4	884	8,50	7,87	98	83	25	36	9,69	8,04	71	76	137	137	-76	-76	618,0	622,3
5	200	7,50	7,89	8	8	94	94	1,8	1,75	95	95	51	49	34	37	619,2	685,4
6	1000	7,50	7,54	59	55	55	58	7,49	7,39	78	78	127	124	-63	-60	746,7	746,4
7	600	6,00	6,50	99	93	24	28	20,9	17,4	37	48	152	143	-95	-84	679,9	654,4
8	600	9,00	7,83	10	10	92	92	2,58	2,17	92	94	62	63	21	19	651,8	599,7
9	600	7,50	7,35	72	56	45	57	8,52	8,14	74	76	122	116	-57	-48	617,5	614,0
10	600	7,50	7,82	71	53	45	59	8,6	8,33	74	75	112	103	-44	-32	624,9	603,7
11	600	7,50	7,63	78	53	40	59	8,69	8,11	74	76	108	103	-39	-32	603,2	607,5

T₁: Taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹T₂: Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

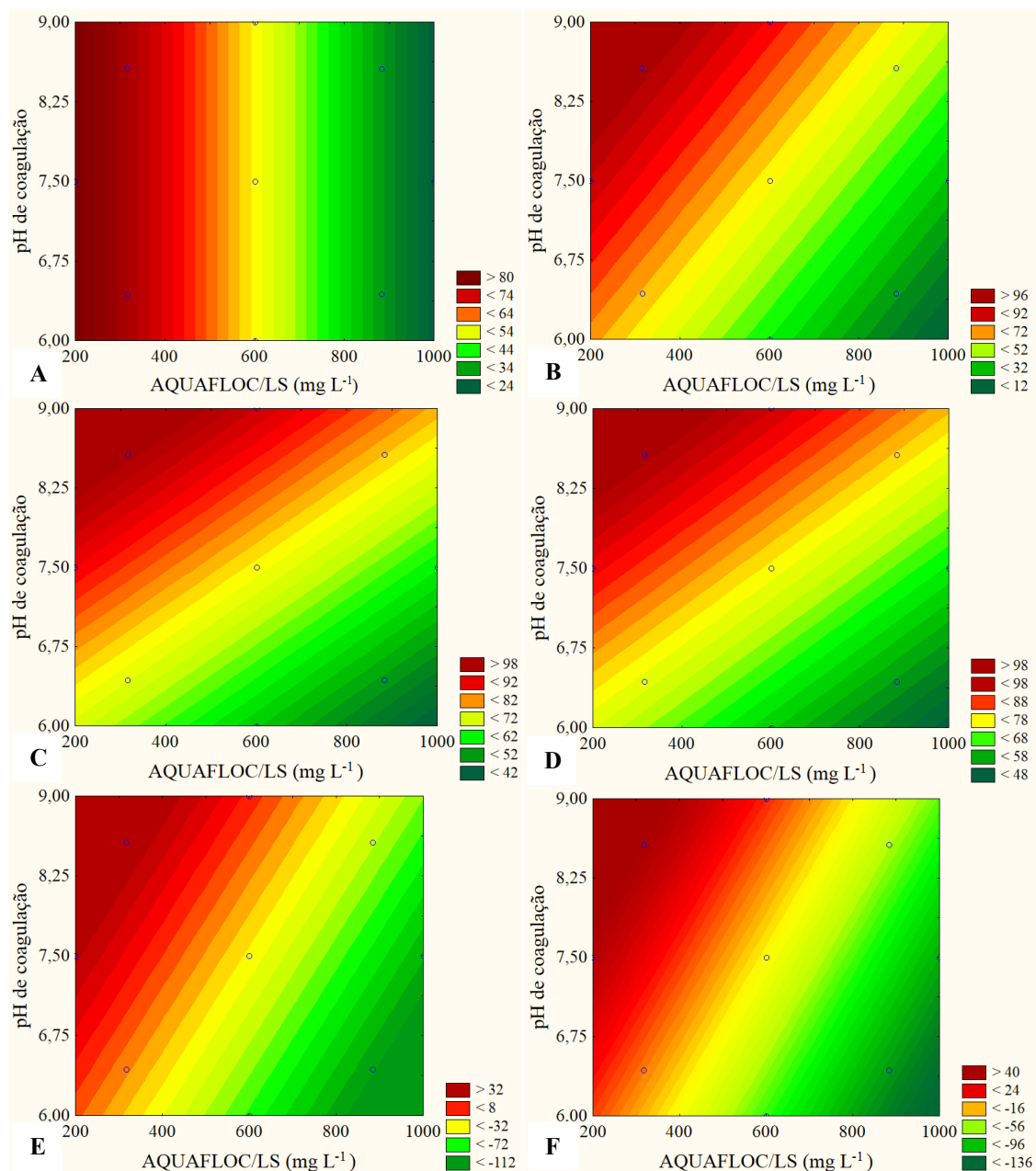


Figura 4. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUAFLOC/LS. Eficiências de remoção de cor aparente (%) A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Eficiências de remoção de turbidez (%) C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Eficiências de remoção de DQO (%) E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Com fatores reparametrizados

Com relação à turbidez, ao se aplicar o coagulante AQUAFLOC/LS no tratamento a eficiência de remoção atingiu 95%, com uma turbidez residual de 1,70 a 1,80 UNT (Tabela 12).

De acordo com os gráficos de curva de contorno para a variável resposta remoção de turbidez, a faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS considerada que apresentou maior eficiência na remoção da turbidez está compreendida

de 200 a 500 mg L⁻¹, enquanto que a faixa de pH de coagulação foi de 8,20 a 9,00, para ambas as taxas de aplicação (Figura 4-C e 4-D).

De acordo com os resultados das análises da variável DQO, ao se aplicar o coagulante AQUAFLOC/LS, a máxima eficiência atingida foi de 44% para a taxa de 70 m³ m⁻² dia⁻¹, com DQO residual de 44 mg O₂ L⁻¹ (vide Tabelas 12).

A faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS que promoveu uma maior remoção de DQO foi de 200 a 400 mg L⁻¹, enquanto que a faixa do pH de coagulação foi de 7,50 a 9,00, para ambas as taxas de aplicação (Figura 4-E a 4-F).

Por meio dos ensaios empregando o coagulante AQUA-PAC, a eficiência na remoção do parâmetro cor foi relativamente baixa. A maior eficiência na remoção da cor aparente foi de 55% obtendo residual de até 43 UH (Tabelas 13). Em alguns dos ensaios realizados ocorreu um aumento significativo do parâmetro analisado, este efeito deve estar relacionado com o floco formado durante a coagulação e floculação, em virtude da concentração de coagulante aplicado.

De acordo com os gráficos de curva de contorno para a variável cor aparente, a faixa de concentração do coagulante AQUA-PAC que apresentou maior eficiência na remoção deste parâmetro foi de 612 a 700 mg Al₂O₃ L⁻¹, e a faixa de pH de coagulação está entre 7,20 a 7,60 (Figuras 5), isto em ambas as taxas de aplicação avaliadas. O polímero empregado como auxiliar de coagulação não influenciou significativamente na remoção do parâmetro.

Tabela 13. Características físico-químicas do efluente de lavanderia após tratamento via CFF₂

Ensaio	Concentração AQUA-PAC (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	Concentração polímero (mg L ⁻¹)	pH de coagulação	pH pós- tratamento	Cor (UH)		Eficiência de remoção de cor (%)		Turbidez (UNT)		Eficiência de remoção de turbidez (%)		DQO (mg O ₂ L ⁻¹)		Eficiência de remoção de DQO (%)		Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	
					T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
1	401	0,4	6,61	3,81	340	328	-286	-273	102	101	-257	-253	373	368	12	13	1280	1286
2	699	0,4	6,61	3,62	40	37	55	58	14,4	14	50	51	292	293	31	31	1688	1660
3	401	1,6	6,61	3,75	347	338	-294	-284	104	102	-264	-257	363	358	15	16	1294	1290
4	699	1,6	6,61	3,68	43	39	51	56	15,9	14,3	44	50	284	279	33	34	1627	1606
5	401	0,4	8,39	4,03	308	298	-250	-239	93,2	92,6	-226	-224	388	365	9	14	1212	1212
6	699	0,4	8,39	3,66	96	77	-9	13	39,1	33,2	-37	-16	351	339	17	20	1587	1595
7	401	1,6	8,39	3,88	329	327	-274	-272	101	99,3	-253	-247	373	381	12	10	1230	1213
8	699	1,6	8,39	3,63	105	81	-19	8	39,5	31,1	-38	-9	361	337	15	21	1559	1580
9	300	1,0	7,50	4,25	338	338	-284	-284	102	102	-257	-257	371	376	13	12	1125	1132
10	800	1,0	7,50	3,64	113	105	-28	-19	39,4	36,1	-38	-26	362	367	15	14	1761	1430
11	550	0,0	7,50	3,75	43	39	51	56	17,2	15,1	40	47	273	263	36	38	1449	1439
12	550	2,0	7,50	3,73	43	38	51	57	16,3	14,9	43	48	260	264	39	38	1475	1451
13	550	1,0	6,00	3,64	375	375	-326	-326	112	112	-292	-292	363	372	15	12	1524	1527
14	550	1,0	9,00	3,74	171	135	-94	-53	62,6	53,6	-119	-87	356	333	16	22	1342	1365
15	550	1,0	7,50	3,74	59	35	33	60	21,3	13,6	26	52	269	260	37	39	1463	1488
16	550	1,0	7,50	3,82	60	41	32	53	22,5	14,2	21	50	266	259	37	39	1479	1568
17	550	1,0	7,50	3,81	50	37	43	58	19	14,5	34	49	265	255	38	40	1426	1445

T₁: Taxa de aplicação de 120 m³m⁻²dia⁻¹T₂: Taxa de aplicação de 70 m³m⁻²dia⁻¹

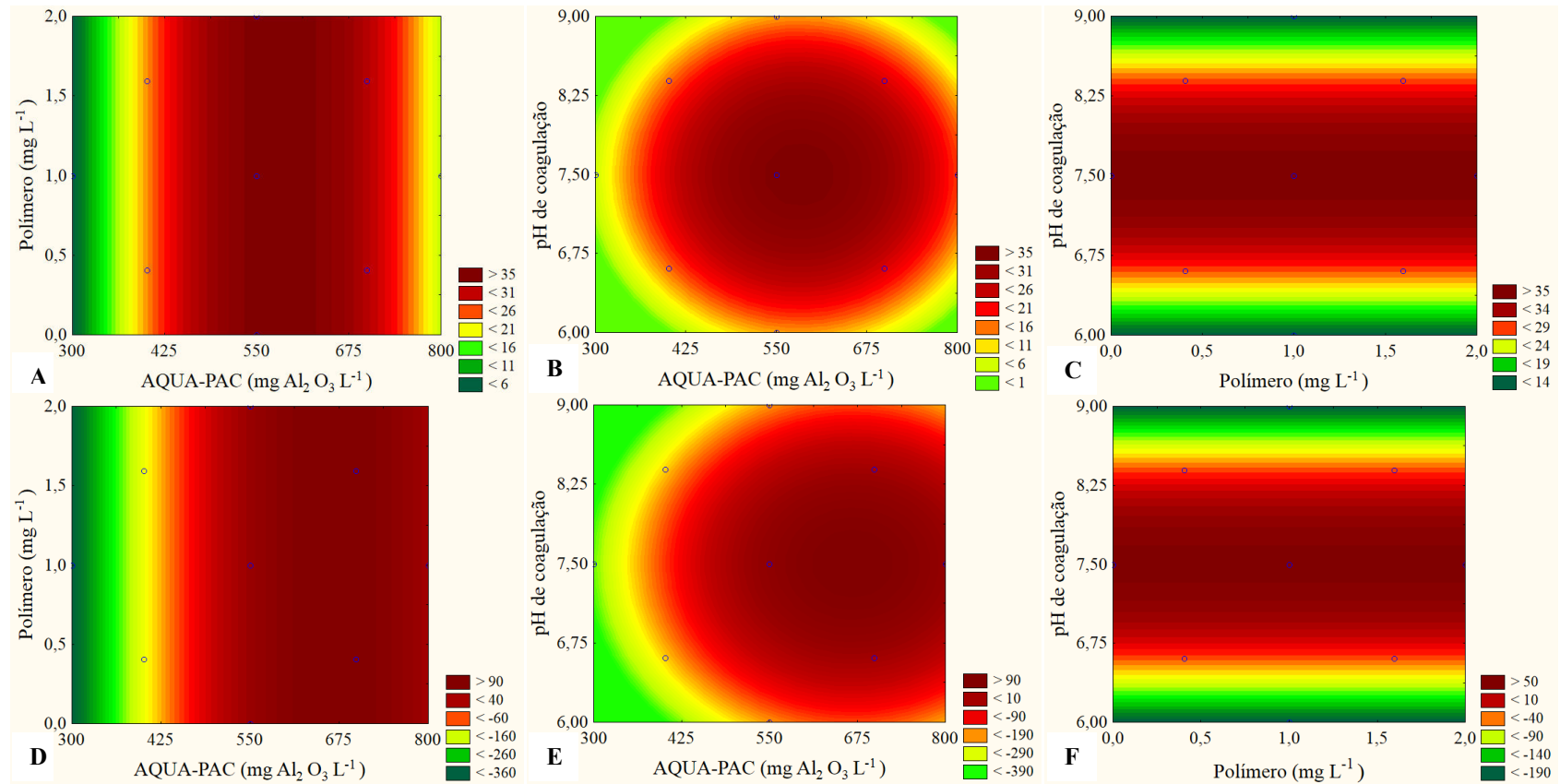


Figura 5. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiências de remoção de cor aparente (%) A), B) e C) Taxa de aplicação de 120 m³ m⁻² dia⁻¹. D), E) e F) Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Com fatores reparametrizados

Os ensaios empregando o coagulante AQUA-PAC atingiram eficiência variando de 53% a 60%, com uma turbidez residual de 13,00 a 23,00 UNT (Tabelas 13).

A faixa de concentração do coagulante que proporcionou maior eficiência na remoção da turbidez foi de 612 a 700 mg $\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ e a faixa de pH de coagulação variou de 7,20 a 7,60, isto ao se aplicar a taxa de aplicação de 70 $\text{m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Figuras 6-D e 6-E). O polímero empregado para auxiliar na coagulação não influenciou significativamente (Figura 6).

Os ensaios empregando o coagulante AQUA-PAC apresentaram uma eficiência de remoção da DQO relativamente baixa, chegando a atingir eficiências de 31% a 40%, com DQO remanescente de 255 a 293 mg $\text{O}_2 \text{ L}^{-1}$ (Tabelas 13).

De acordo com os gráficos de curva de contorno para a variável DQO, a faixa de concentração do coagulante AQUA-PAC que apresentou maior eficiência foi de 550 a 620 mg $\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$, e o pH de coagulação está na faixa de 7,30 a 7,60, para ambas as taxas de aplicação (Figura 7).

Em geral, ao se empregar o coagulante AQUAFLOC/LS foi possível obter uma maior eficiência no tratamento do efluente da lavanderia. O tanino promoveu a formação de flocos susceptíveis ao fenômeno da flotação por ar dissolvido em escala de bancada, o mesmo não ocorreu ao se utilizar o coagulante AQUA-PAC, mesmo os flocos formados em ambos os ensaios terem apresentado uma tendência a flotação.

A presença de surfactantes e de outros produtos químicos no efluente pode ter interferido nas características dos flocos formados ao se empregar o coagulante AQUA-PAC, devido à baixa eficiência na remoção das variáveis analisadas.

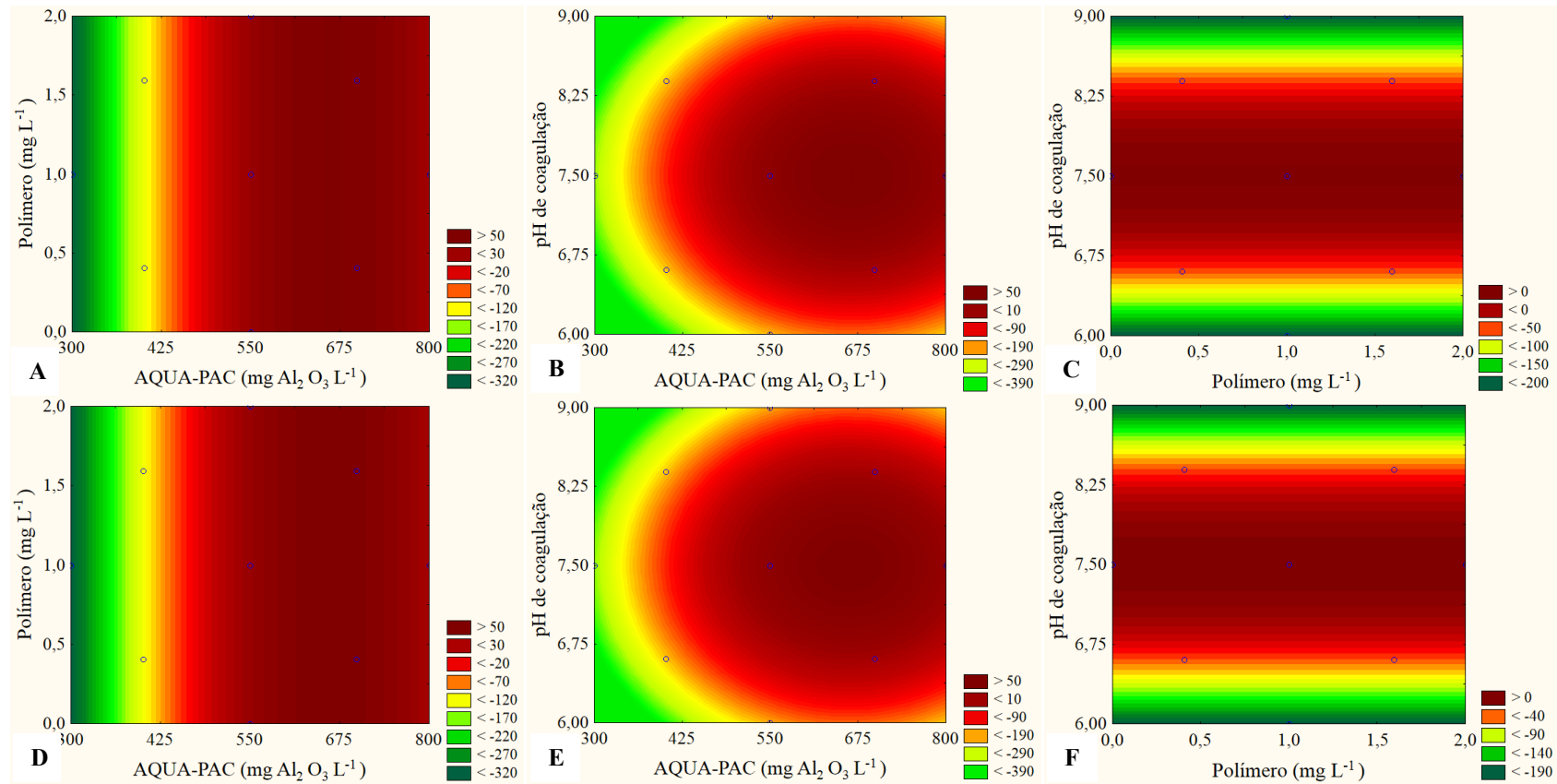


Figura 6. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiências de remoção de turbidez (%) A), B) e C) Taxa de aplicação de 120 m³ m⁻² dia⁻¹. D), E) e F) Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Com fatores reparametrizados

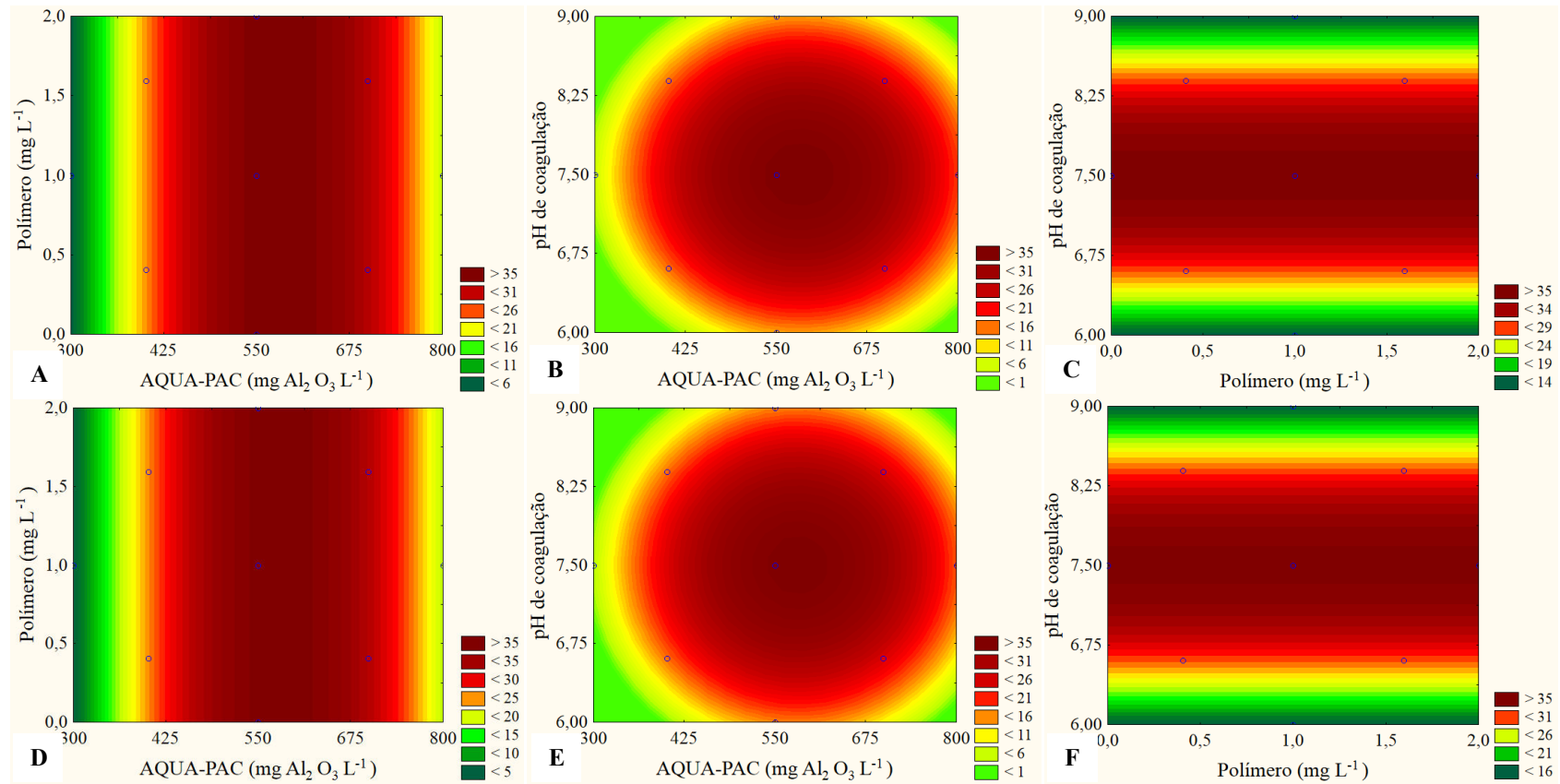


Figura 7. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiências de remoção de DQO (%) A), B) e C) Taxa de aplicação de 120 m³ m⁻² dia⁻¹. D), E) e F) Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Com fatores reparametrizados

A condutividade elétrica do efluente após tratamento com ambos os coagulantes apresentou um aumento, principalmente ao se empregar o coagulante AQUA-PAC (vide Figura 8). A aplicação do coagulante AQUAFLOC/LS exerceu efeito na condutividade elétrica que variou entre 555 e 747 $\mu\text{S cm}^{-1}$, enquanto que ao se empregar o coagulante AQUA-PAC os valores ficaram entre 1.125 e 1.688 $\mu\text{S cm}^{-1}$ (Tabelas 12 e 13).

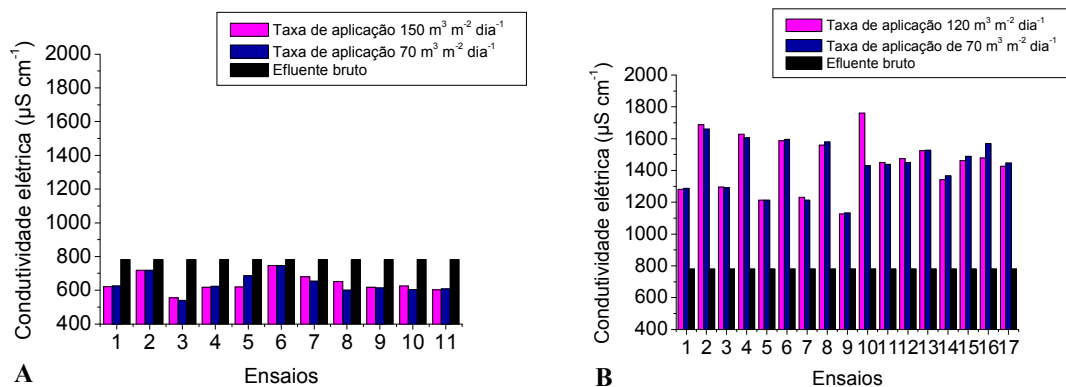


Figura 8. Variação da condutividade elétrica do efluente da lavanderia após tratamento via A) CFF₁ e B) CFF₂

Com relação ao pH do efluente após o tratamento via CFF₁, este não apresentou uma variação significativa (Figura 9-A). Devido a sua composição natural, os coagulantes à base de tanino não precipitam sais ou íons no meio, uma vez que não possuem metais em sua estrutura molecular, não consumindo desta forma, a alcalinidade da solução (THAKUR et al., 2014).

Ao se aplicar o coagulante AQUA-PAC o pH do efluente após o tratamento apresentou um decaimento significativo (Figura 9-B). A redução do pH do efluente tratado está relacionado com a precipitação de íons de alumínio (Al^{3+}) na solução devido a dissolução do óxido de alumínio, promovendo desta forma, a liberação de íons H^+ , ocasionando o decaimento do pH (BAIRD, 2002).

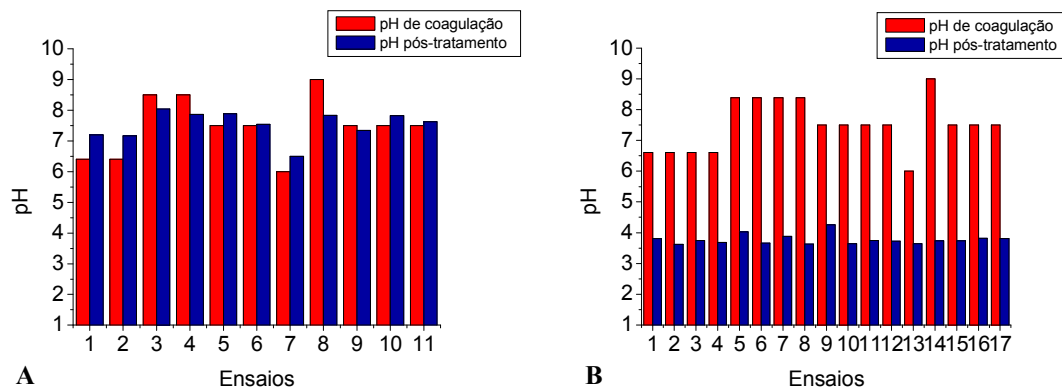


Figura 9. Variação do pH do efluente da lavanderia após tratamento via A) CFF₁ e B) CFF₂

Ao se empregar o coagulante AQUA-PAC, o efluente após o tratamento não se enquadrou na faixa de pH permitido pela legislação para o lançamento, sendo necessário a correção deste parâmetro (Tabela 13). Já para o coagulante AQUAFLOC/LS, o efluente tratado permaneceu na faixa estabelecida pela legislação (Tabela 12).

Levando-se em consideração os gráficos de curva de contorno foram estabelecidas faixas de concentração dos coagulantes consideradas mais eficientes para a remoção das variáveis analisadas. Para os ensaios de CFF₁, a faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS foi de 200 a 400 mg L⁻¹ e a faixa de pH de coagulação foi de 8,00 a 9,00. Para o coagulante AQUA-PAC, a faixa de concentração foi de 600 a 700 mg Al₂O₃ L⁻¹ e o pH de coagulação foi de 7,20 a 7,60, o polímero utilizado não influenciou significativamente na remoção dos parâmetros analisados.

3.2.1 Modelos Matemáticos

3.2.1.1 Validação dos modelos matemáticos gerados pelos ensaios CFF₁

Os modelos matemáticos gerados para a variável resposta remoção do parâmetro cor estão representados pelas Equações (1) e (2), para as taxas de 150 e 70 m³ m⁻² dia⁻¹, respectivamente. Estes foram reparametrizados a partir das variáveis independentes significativas. A variável independente que influenciou

significativamente na remoção do parâmetro cor ao se aplicar a taxa de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi à concentração linear do coagulante (L), como verificado pelo gráfico de Pareto (Figura 10-A). Enquanto que para a taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ as variáveis independentes que influenciaram foram a concentração linear do coagulante e o pH de coagulação linear (L) (Figura 10-B), ao nível de confiança de 95%.

$$\text{Remoção de cor (\%)} = 103,7 - 0,08 x_1 \quad (1)$$

$$\text{Remoção de cor (\%)} = -2,91 - 0,075 x_1 + 14,58 x_2 \quad (2)$$

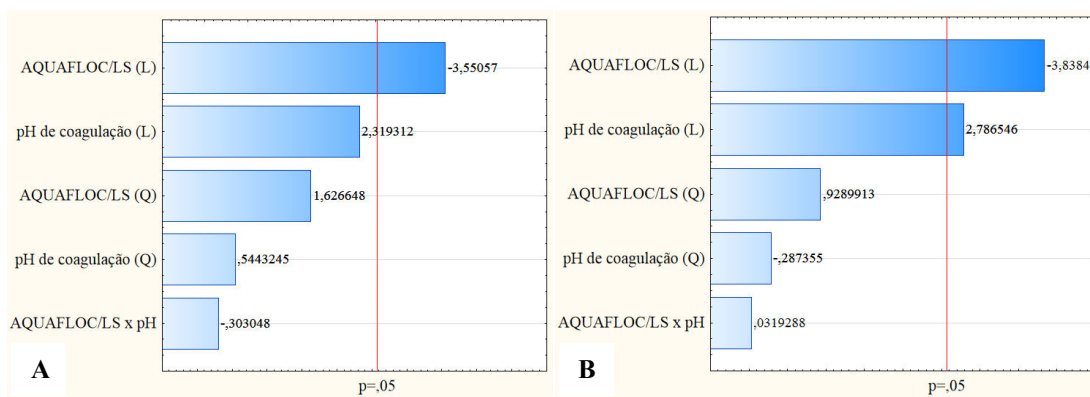


Figura 10. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de cor aparente empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

Onde x_1 representa a concentração do coagulante AQUAFLOC/LS em mg L^{-1} e x_2 o pH de coagulação.

A variável resposta remoção de turbidez é caracterizada pelos modelos matemáticos reparametrizados representados pelas Equações (3) e (4), correspondendo as taxas de aplicações de 150 e $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. As variáveis independentes que influenciaram significativamente na remoção deste parâmetro em ambas as taxas de aplicação avaliadas foram a concentração linear do coagulante (L) e o pH de coagulação linear (L), como verificado pelos gráficos de Pareto descritos pela Figura 11.

$$\text{Remoção de turbidez (\%)} = 1,96 - 0,037 x_1 + 12,72 x_2 \quad (3)$$

$$\text{Remoção de turbidez (\%)} = 12,2 - 0,034 x_1 + 11,45 x_2 \quad (4)$$

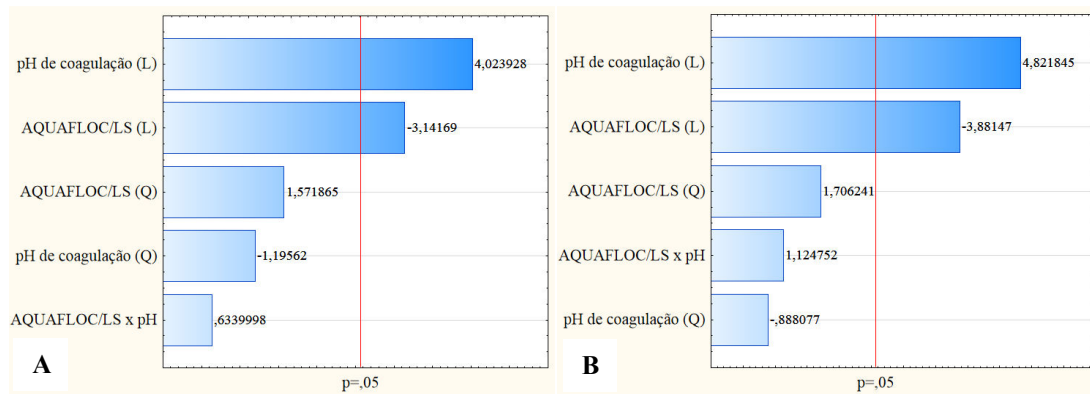


Figura 11. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de turbidez empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

Os modelos matemáticos reparametrizados representando a variável Remoção de DQO são representados pelas Equações (5) e (6), correspondendo as taxas de aplicação de 150 e $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. As variáveis independentes que influenciaram significativamente na remoção da DQO foram concentração linear do coagulante (L) e pH linear (L), para ambas as taxas de aplicação, como verificado pelos diagramas de Pareto (Figura 12).

$$\text{Redução da DQO (\%)} = -130,15 - 0,17 x_1 + 26,44 x_2 \quad (5)$$

$$\text{Redução da DQO (\%)} = -118,52 - 0,183 x_1 + 26,28 x_2 \quad (6)$$

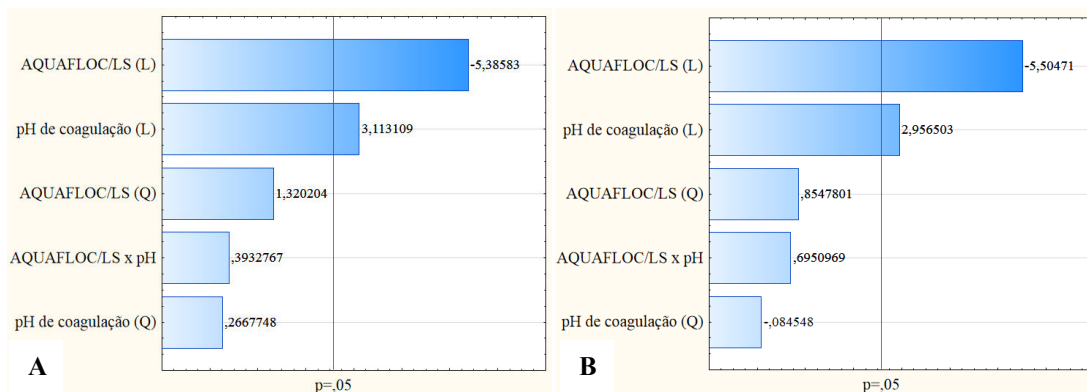


Figura 12. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de DQO empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

A análise de variância (ANOVA) ao nível de 95% de confiança correspondentes aos modelos matemáticos que representam as variáveis respostas

indicam que as variações explicadas ($R^2 > 0,70$) e o F calculado são significativos ($p < 0,01$) (vide Tabela 14).

Tabela 14. Análise de variância (ANOVA) por regressão aplicada as variáveis resposta remoção de cor, turbidez e DQO para os ensaios CFF₁

Variável resposta		gl	SQ	MQ	F-valor	p	R²
Cor - taxa 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	2	5934,33	2967,17	9,30	0,008189	0,70
	Resíduo	8	2553,24	319,15			
	Total	10	8487,57				
Cor - taxa 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	2	5475,57	2737,78	14,63	0,002126	0,79
	Resíduo	8	1497,22	187,15			
	Total	10	6972,78				
Turbidez - taxa 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	2	2297,94	1148,97	9,73	0,007211	0,71
	Resíduo	8	945,01	118,13			
	Total	10	3242,96				
Turbidez - taxa 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	2	1890,07	945,03	13,14	0,002965	0,77
	Resíduo	8	575,31	71,91			
	Total	10	2465,38				
DQO - taxa 150 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	2	25081,60	12540,80	22,38	0,000529	0,85
	Resíduo	8	4483,40	560,43			
	Total	10	29565,01				
DQO - taxa 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	2	27560,50	13780,25	24,35	0,000396	0,86
	Resíduo	8	4527,54	565,94			
	Total	10	32088,04				

gl: Grau de liberdade.

SQ: Soma dos quadrados.

MQ: Média dos quadrados.

Os dados experimentais das variáveis respostas cor e turbidez em ambas as taxas de aplicação superficial não se ajustaram adequadamente aos valores previstos pelos modelos matemáticos, como verificados pela Figura 13 que apresenta os resultados experimentais versus os resultados preditivos dos modelos.

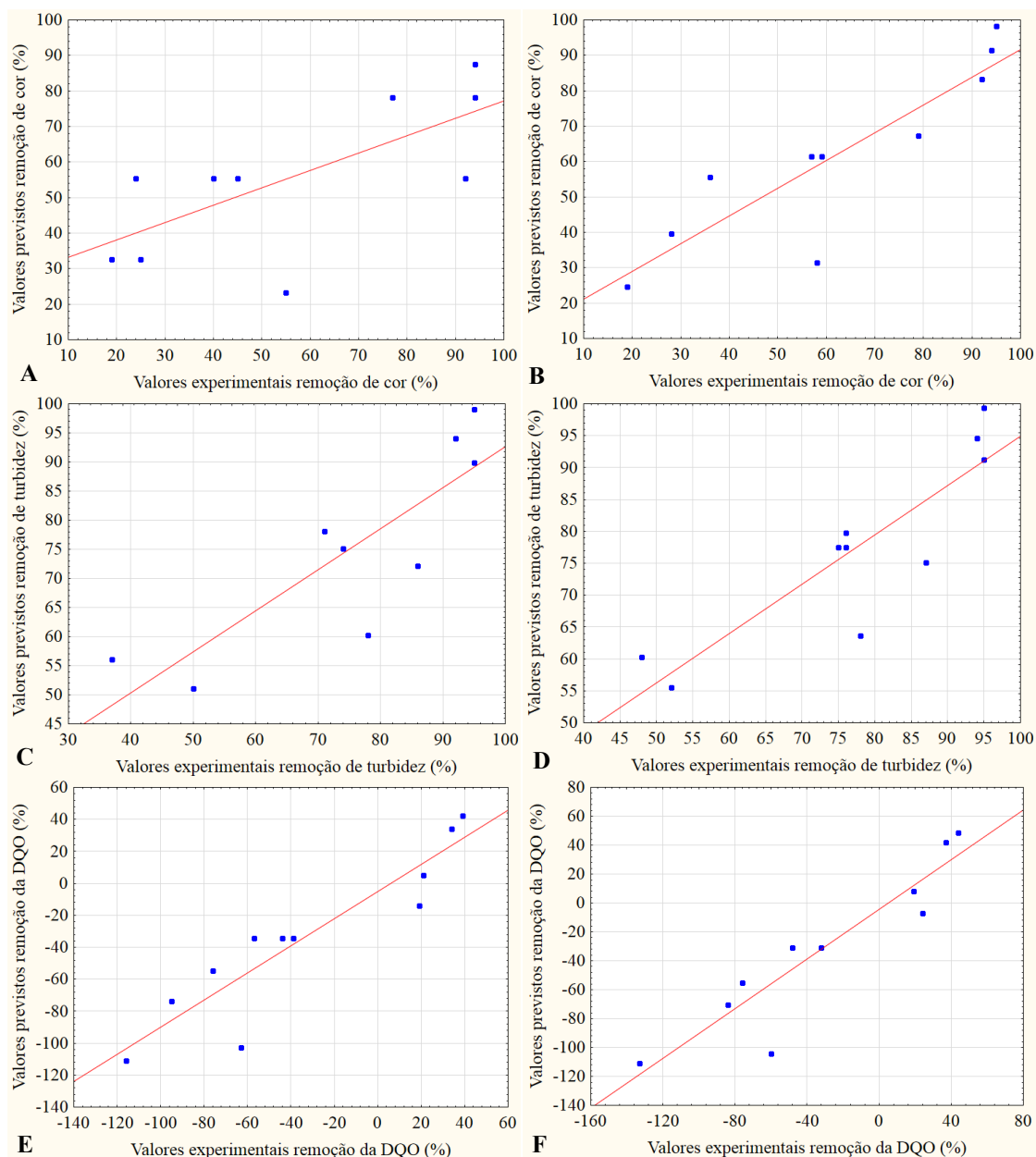


Figura 13. Gráficos dos valores experimentais versus valores previsto dos modelos dos ensaios CFF₁. Cor A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

Os erros de ajustamento dos modelos se mostraram independentes e normalmente distribuídos, como verificado pela Figura 14 que mostra uma distribuição aleatória entre os resíduos padronizados de todos os ensaios, indicando que são independentes. O ensaio 6 se mostrou um ponto atípico, pois apresentou um valor de resíduo superior a 2, sendo considerado desta forma como um ponto mal ajustado.

O ensaio 7 também se mostrou um ponto atípico, interferindo no ajustamento dos modelos dos parâmetros cor na taxa de aplicação superficial de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e turbidez para a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

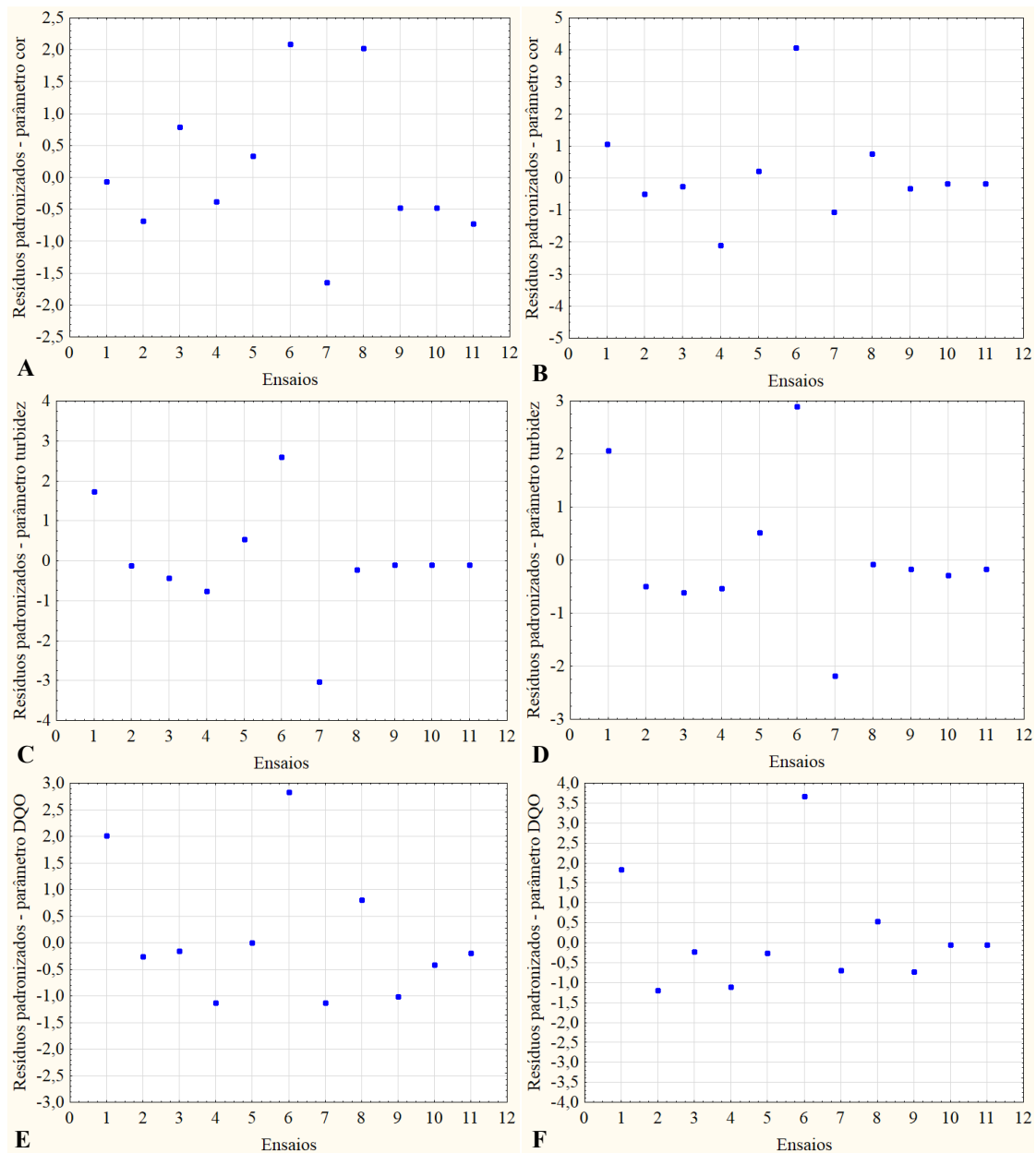


Figura 14. Gráficos dos valores dos resíduos padronizados versus os ensaios do sistema CFF₁. Cor aparente A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

Apesar da identificação de observações atípicas, é possível verificar no gráfico de normalidade da Figura 15, a inexistência de pontos distantes da reta, indicando a normalidade dos resíduos. Sendo possível considerar que as pressuposições dos modelos matemáticos estão satisfeitas e estes podem ser utilizados.

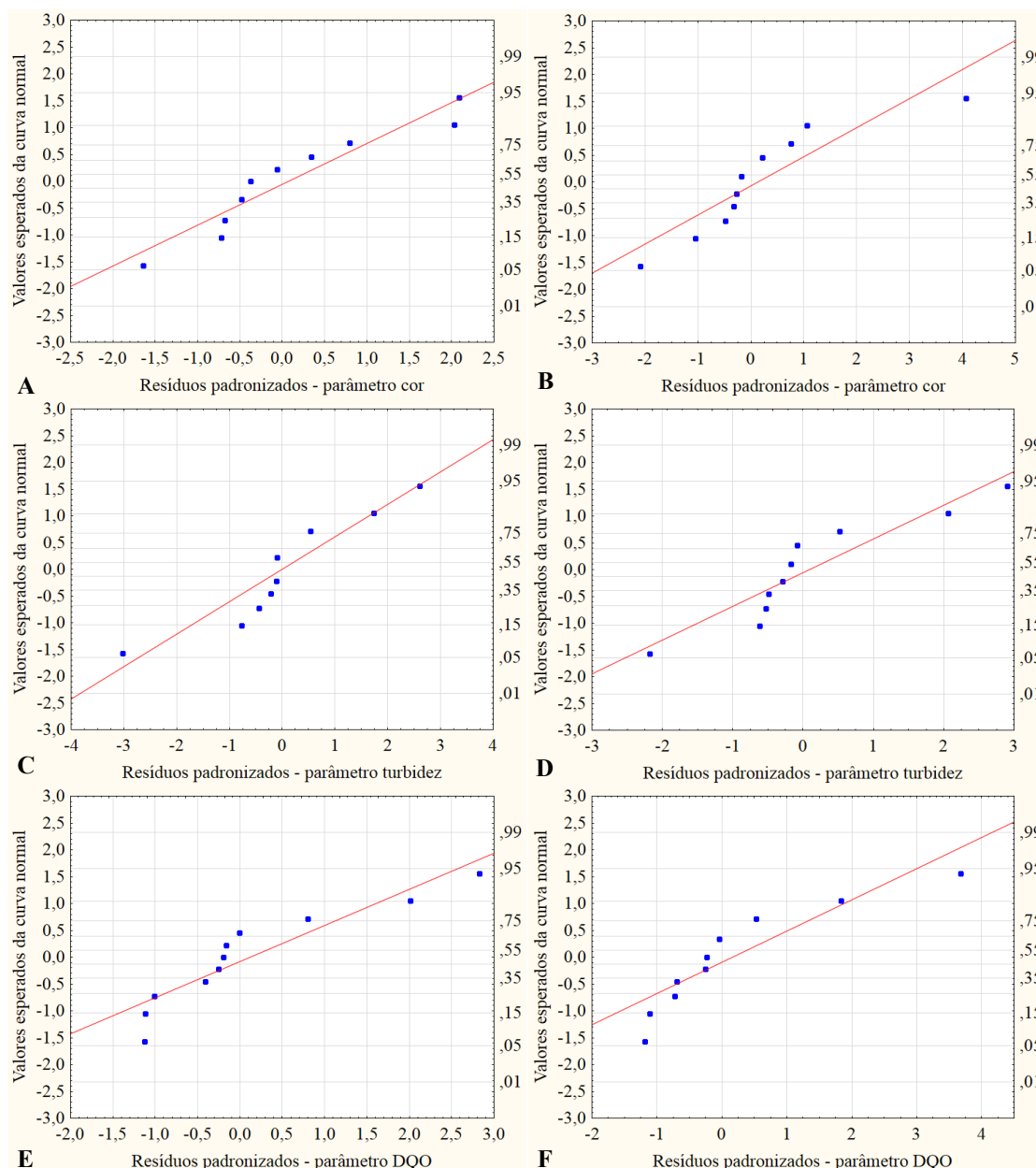


Figura 15. Gráficos de distribuição de normalidade dos ensaios CFF₁. Cor aparente A) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Turbidez C) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. DQO E) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

3.2.1.2 Validação dos modelos matemáticos gerados pelos ensaios CFF₂

Os modelos matemáticos reparametrizados que representam a variável resposta remoção de cor são descritos pelas Equações (7) e (8), para as taxas de 120 e 70 m³ m⁻² dia⁻¹, respectivamente. As variáveis independentes que influenciaram significativamente na remoção da cor aparente foram as concentrações linear (L) e quadrática do

coagulante AQUA-PAC e o pH de coagulação quadrático (Q), estas variáveis influenciaram em ambas as taxas de aplicação avaliadas, como verificado nos gráficos de Pareto (Figura 16).

$$\text{Remoção de cor (\%)} = -7.836,91 + 4,35 x_1 - 0,0032 x_1^2 + 1.723,04 x_2 - 114,86 x_2^2 \quad (7)$$

$$\text{Remoção de cor (\%)} = -7.758,95 + 4,56 x_1 - 0,0034 x_1^2 + 1.689,40 x_2 - 112,62 x_2^2 \quad (8)$$

Onde x_1 representa a concentração do coagulante AQUA-PAC em $\text{mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ e x_2 o pH de coagulação.

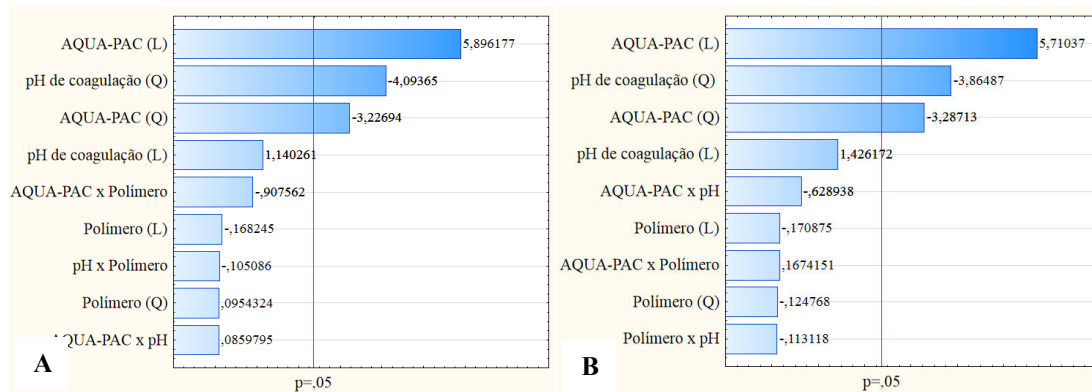


Figura 16. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de cor aparente empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

A variável resposta remoção de turbidez é caracterizada pelos modelos matemáticos reparametrizados representados pelas Equações (9) e (10), correspondendo às taxas de aplicação de 120 e $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. As variáveis independentes concentração linear (L) e quadrática (Q) e pH de coagulação quadrática (Q) influenciaram significativamente na remoção deste parâmetro em ambas as taxas de aplicação avaliadas, como verificado pelos gráficos de Pareto representados pela Figura 17.

$$\text{Remoção de turbidez (\%)} = -7.564,87 + 3,89 x_1 - 0,0029 x_1^2 + 1.689,4 x_2 - 112,62 x_2^2 \quad (9)$$

$$\text{Remoção de turbidez (\%)} = -7.406,17 + 4,13 x_1 - 0,0031 x_1^2 + 1.631,93 x_2 - 108,79 x_2^2 \quad (10)$$

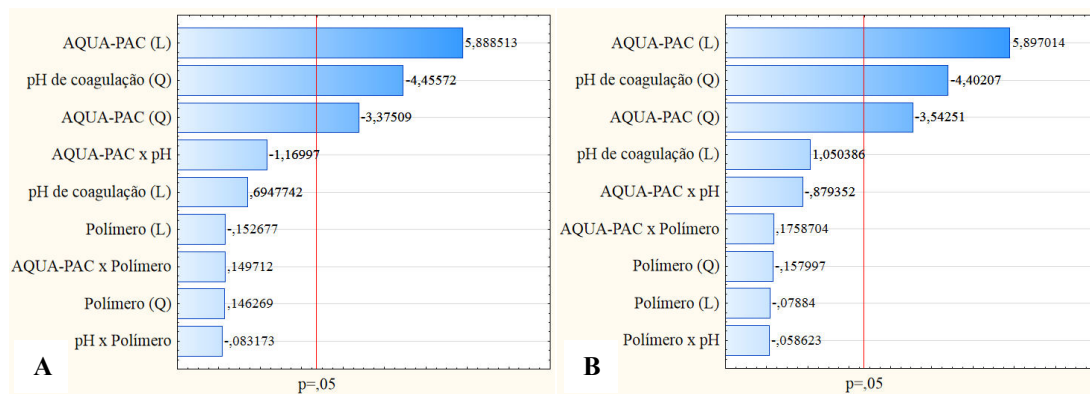


Figura 17. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de turbidez empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de 120 m³ m⁻² dia⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

Os modelos que descrevem a variável degradação de DQO são representados pelas Equações (11) e (12), correspondendo às taxas de aplicação de 120 e 70 m³ m⁻² dia⁻¹, respectivamente. As variáveis independentes concentração linear (L) e quadrática (Q) do coagulante AQUA-PAC e o pH de coagulação quadrática (Q) também influenciaram significativamente na degradação do parâmetro DQO para ambas as taxas de aplicação (Figura 18).

$$\text{Remoção de DQO (\%)} = -685,85 + 0,4617 x_1 - 0,00039 x_1^2 + 156,92 x_2 - 10,46 x_2^2 \quad (11)$$

$$\text{Remoção de DQO (\%)} = -677,40 + 0,4962 x_1 - 0,00042 x_1^2 + 152,409 x_2 - 10,16 x_2^2 \quad (12)$$

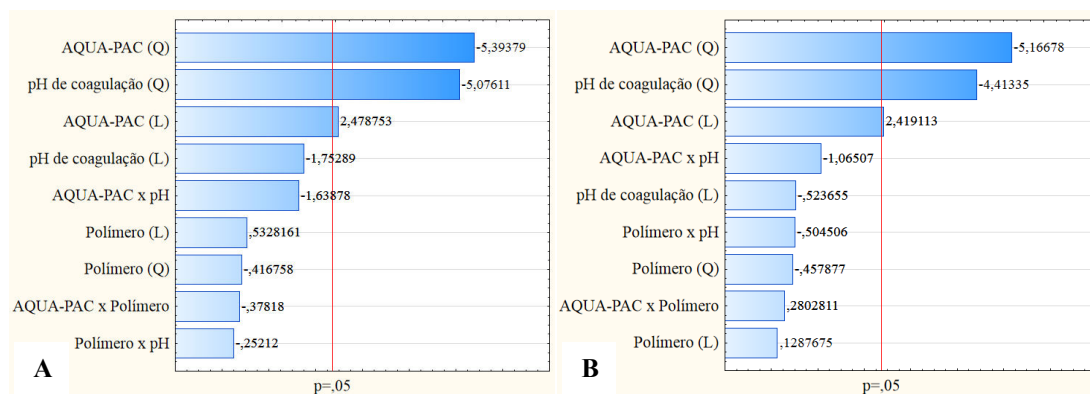


Figura 18. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção da DQO empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de 120 m³ m⁻² dia⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

A análise de variância (ANOVA) ao nível de 95% de confiança correspondentes aos modelos matemáticos que representam as variáveis respostas

indicam que as variações explicadas ($R^2 > 0,80$) e o F calculado são significativos ($p < 0,00001$) (Tabela 15).

Tabela 15. Análise de variância (ANOVA) por regressão aplicada as variáveis resposta remoção e redução de cor, turbidez e DQO para os ensaios de CFF₂

Variável resposta		gl	SQ	MQ	F-valor	p	R²
Cor - taxa 120 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	3	326500,43	108833,48	28,12	< 0,00001	0,87
	Resíduo	13	50319,12	3870,70			
	Total	16	376819,55				
Cor - taxa 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	3	336654,52	112218,17	25,17	< 0,00001	0,86
	Resíduo	13	57948,97	4457,61			
	Total	16	394603,49				
Turbidez - taxa 120 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	3	257427,64	85809,21	30,81	< 0,00001	0,88
	Resíduo	13	36207,50	2785,19			
	Total	16	293635,14				
Turbidez - taxa 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	3	276403,68	92134,56	30,50	< 0,00001	0,88
	Resíduo	13	39265,91	3020,45			
	Total	16	315669,59				
DQO - taxa 120 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	3	1665,72	555,24	17,01	< 0,00001	0,80
	Resíduo	13	424,28	32,64			
	Total	16	2090,00				
DQO - taxa 70 m ³ m ⁻² dia ⁻¹	Regressão	3	1796,40	598,80	22,48	< 0,00001	0,84
	Resíduo	13	346,28	26,64			
	Total	16	2142,68				

gl: Grau de liberdade

SQ: Soma dos quadrados

MQ: Média dos quadrados

Os dados experimentais das variáveis respostas não se ajustaram adequadamente aos valores previstos pelos modelos matemáticos, principalmente os dados referentes à variável resposta remoção de DQO, como verificados pela Figura 19 que apresenta os resultados experimentais versus os resultados preditivos dos modelos.

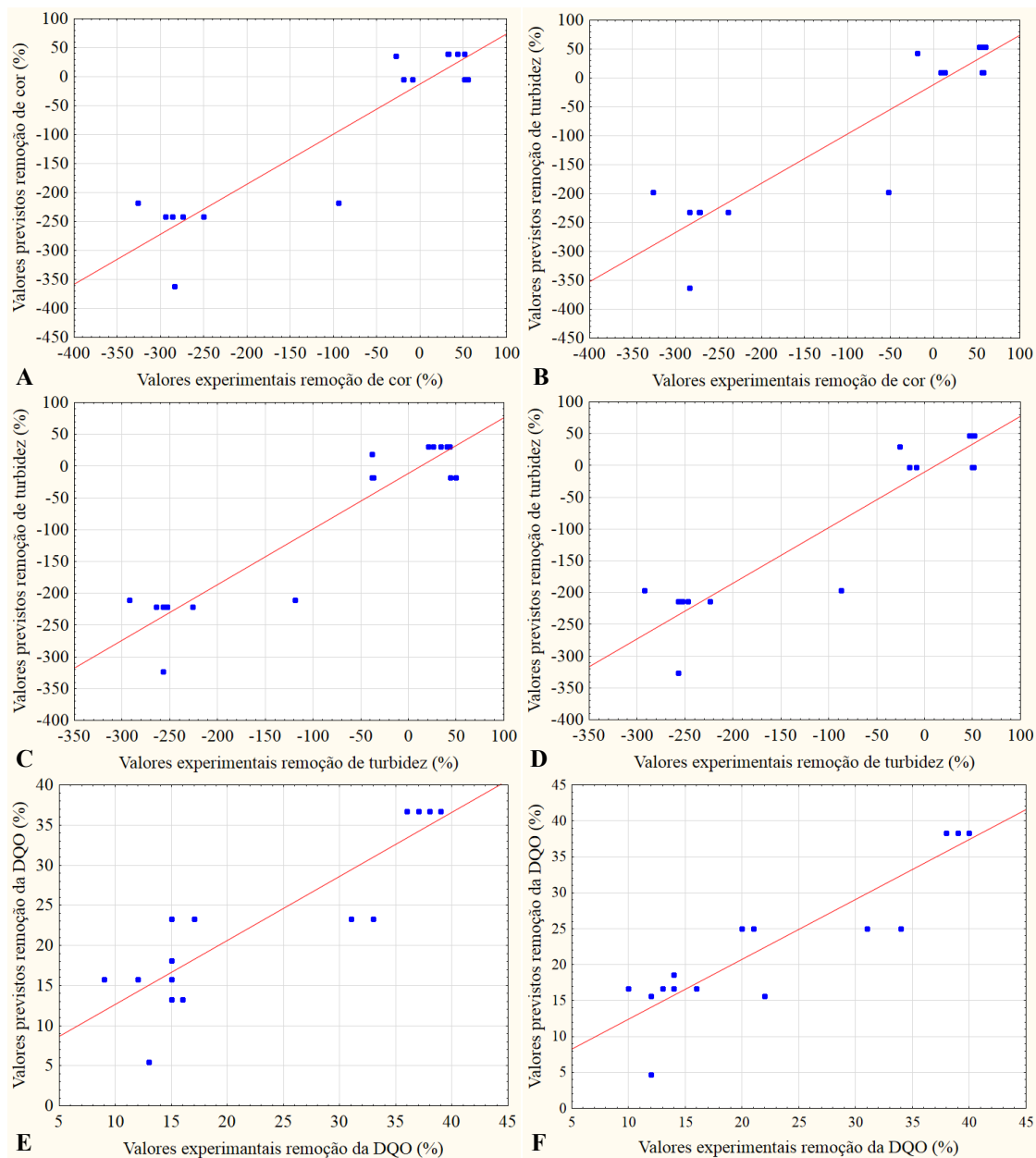


Figura 19. Gráficos dos valores experimentais versus valores previstos dos modelos dos ensaios CFF₂. Cor aparente A) taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

Os erros de ajustamento dos modelos se mostraram independentes e normalmente distribuídos (Figura 20). Entretanto, alguns pontos se mostraram atípicos, apresentando um resíduo elevado. Os pontos atípicos são representados pelos ensaios 9; 13 e 14.

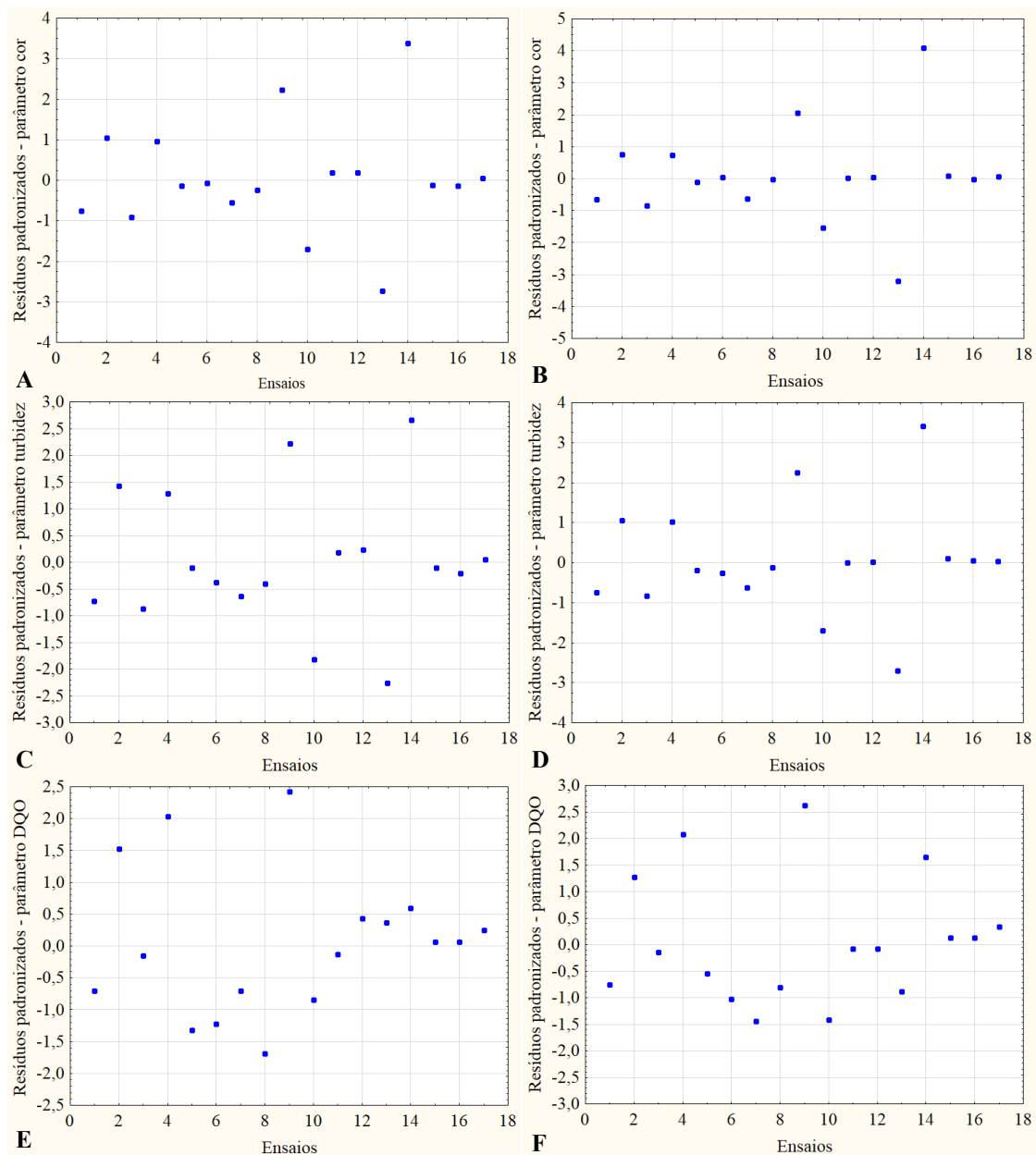


Figura 20. Gráficos dos valores dos resíduos padronizados versus os ensaios do sistema CFF₂. Cor aparente A) taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

Apesar da presença de pontos atípicos, é possível verificar que os resíduos apresentaram normalidade (Figura 21), desta forma, as pressuposições dos modelos matemáticos estão satisfeitas e estes podem ser utilizados.

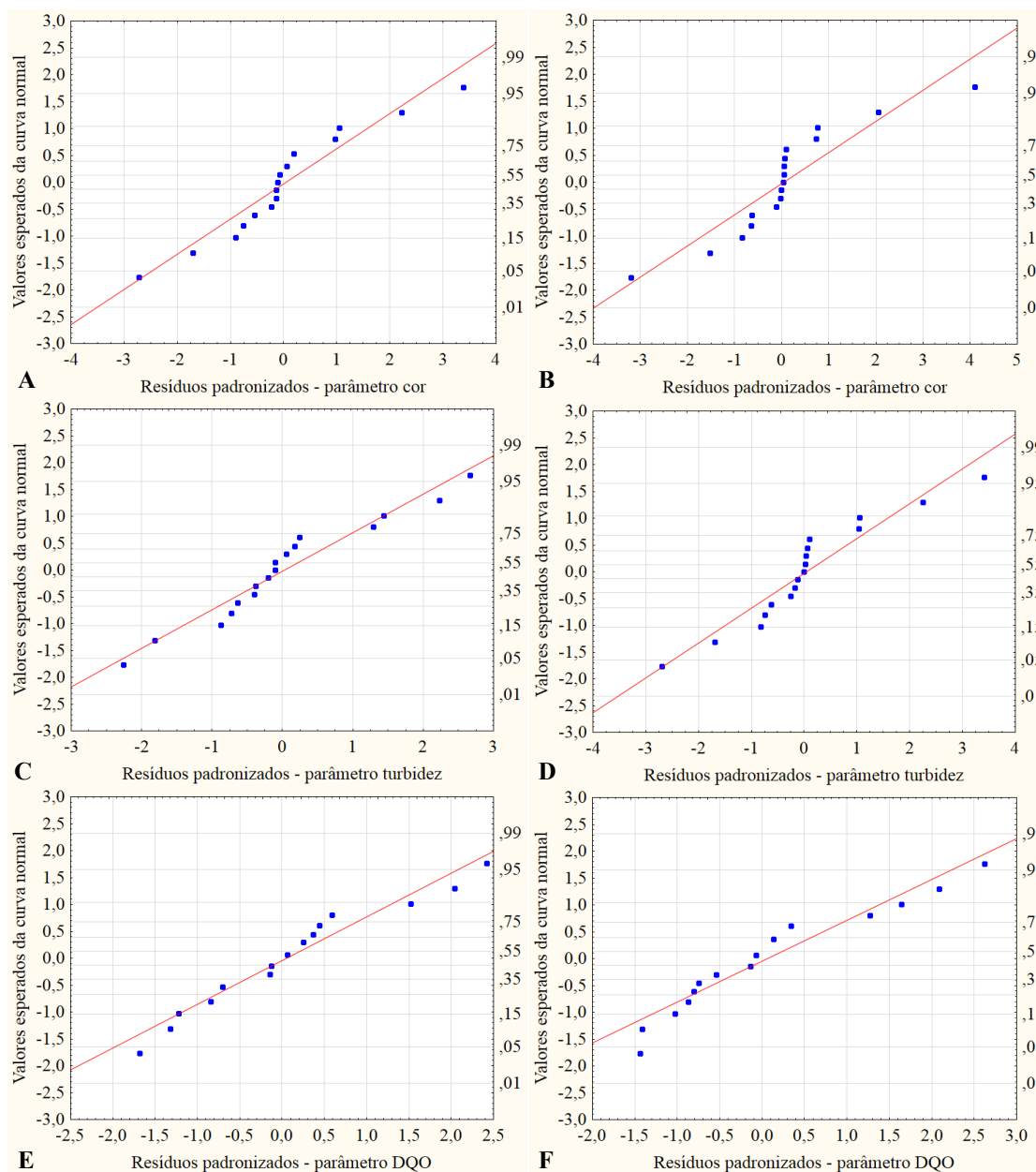


Figura 21. Gráficos de distribuição de normalidade dos resíduos dos ensaios de CFF₂. Cor aparente A) taxa de aplicação de 120 m³ m⁻² dia⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Turbidez C) taxa de aplicação de 120 m³ m⁻² dia⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. DQO E) taxa de aplicação de 120 m³ m⁻² dia⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

3.2.2 Ensaios nas Condições Otimizadas de Coagulação

De acordo com os ensaios da seção 3.2, faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS que apresentou mais eficiente no tratamento do efluente foi de 200 a 400 mg L⁻¹ e a faixa de pH de coagulação foi de 8,00 a 9,00. Enquanto que a faixa de concentração do coagulante AQUA-PAC foi de 600 a 700 mg Al₂O₃ L⁻¹ e do pH de

coagulação de 7,20 a 7,60. O polímero aniônico utilizado não influenciou significativamente na remoção dos parâmetros analisados. Estas faixas foram estabelecidas de acordo com os gráficos de curva de contorno gerados pelo método do DCCR e pelos modelos matemáticos, onde foram levadas em consideração todas as variáveis respostas avaliadas.

A concentração do coagulante AQUAFLOC/LS determinada como ponto otimizado foi de 316 mg L⁻¹ e o pH de coagulação foi de 8,75.

As características físico-químicas do efluente após o tratamento com o coagulante AQUAFLOC/LS e as eficiências de remoção das variáveis analisadas estão descritas na Tabela 16.

Tabela 16. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições otimizadas de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e pH de coagulação

Parâmetros	Efluente bruto	Ensaio		Eficiência (%)		Limite admissível para reúso*
		T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	344	280	241	19	30	-
ST (mg L ⁻¹)	753	700	652	7	13	-
STV (mg L ⁻¹)	328	232	215	29	34	-
STF (mg L ⁻¹)	425	467	437	-10	-3	-
SST (mg L ⁻¹)	30	35	12	-17	58	≤ 5
SSV (mg L ⁻¹)	27	35	12	-27	55	-
SSF (mg L ⁻¹)	3	nd	nd	100	100	-
SDT (mg L ⁻¹)	723	665	640	8	11	≤ 500
SDV (mg L ⁻¹)	300	197	202	34	33	-
SDF (mg L ⁻¹)	423	467	438	-11	-4	-
N-NTK (mg NTK L ⁻¹)	14,3	8,4	9,5	41	33	-
Nitrogênio amoniacal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	0,17	3,40	2,50	-1900	-1370	≤ 20,0
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,58	0,48	0,50	17	13	< 10,0
Fósforo total (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	1,38	1,05	1,00	24	27	≤ 0,1
Surfactantes (mg L ⁻¹)	1,79	1,10	0,90	39	47	≤ 0,5
Condutividade (μS cm ⁻¹)	666,5	705,4	700,4	-	-	-
Turbidez (UNT)	34,80	13,20	6,11	62	82	2,00 a 5,00
Cor (UH)	84	59	12	30	86	≤ 10
pH	9,72	7,48	7,48	-	-	6,00 a 9,00

T₁: Taxa de aplicação de 150 m³m⁻²dia⁻¹

T₂: Taxa de aplicação de 70 m³m⁻²dia⁻¹

nd: Não detectado

Fonte: *ANA/FIESP e SINDUSCON-SP (2005) e da NBR n° 13.969/1997

O ensaio apresentou baixa eficiência na remoção das variáveis analisadas, entretanto, a taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ apresentou uma maior eficiência quando comparada a taxa de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Tabela 16). O sistema avaliado apresentou eficiência de remoção de DQO de 30%, turbidez de 82% e cor aparente de 86%, obtendo um efluente com DQO residual de $241 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, turbidez de 6,11 UNT e cor de 12 UH, para a taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Tabela 16).

Para a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ a máxima eficiência na remoção dos sólidos totais foi de 13%, a eficiência na remoção dos sólidos suspensos foi de 58% e dos sólidos dissolvidos 11% (Tabela 16).

Ao se aplicar o tratamento via CFF_1 , a concentração de nitrogênio amoniacal do efluente sofreu um aumento. A concentração residual deste parâmetro ao se aplicar a taxa de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi de $3,4 \text{ mg N-NH}_3 \text{ L}^{-1}$, e para a taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ a concentração residual foi de $2,5 \text{ mg N-NH}_3 \text{ L}^{-1}$ (Tabela 16). A concentração residual deste parâmetro não ultrapassou a concentração padrão estabelecida para o lançamento de efluentes.

A concentração residual de surfactante foi de $0,9 \text{ mg L}^{-1}$ ao se aplicar a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, atingindo eficiência de 47%. A eficiência na redução da variável fósforo foi de 27%, obtendo um efluente com residual de $1,0 \text{ mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$ (Tabela 16).

A concentração otimizada do coagulante AQUA-PAC de acordo com os gráficos de curva de contorno e pelos modelos matemáticos foi de $650 \text{ mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ e o pH de coagulação ótimo foi de 7,50. Ciabatti et al., (2009) ao avaliarem um sistema de coagulação/floculação/FAD aplicado ao tratamento de efluente proveniente de uma lavanderia industrial, obtiveram a concentração ótima de $750 \text{ mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ com auxílio de um coagulante secundário a base de poliamina na concentração de 90 mg L^{-1} associado a um auxiliar de floculação (polieletrólito aniônico) de 3 mg L^{-1} , concentração do coagulante superior a estabelecida de acordo com o método do DCCR aplicado a este trabalho.

Os resultados obtidos a partir do ensaio com o ponto otimizado de concentração do coagulante AQUA-PAC e pH de coagulação e as eficiências na remoção dos parâmetros analisados estão descritos na Tabela 17.

Tabela 17. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições ótimas de coagulante AQUA-PAC e do pH de coagulação

Parâmetros	Efluente bruto	Ensaio		Eficiência (%)		Limite admissível para reúso*
		T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	372	238	235	36	37	-
ST (mg L ⁻¹)	657	935	867	-42	-32	-
STV (mg L ⁻¹)	147	187,5	167	-27	-14	-
STF (mg L ⁻¹)	510	747,5	700	-47	-37	-
SST (mg L ⁻¹)	33	90	100	-177	-208	≤ 5
SSV (mg L ⁻¹)	33	40	37	-23	-15	-
SSF (mg L ⁻¹)	nd	50	62	nd	nd	-
SDT (mg L ⁻¹)	625	845	767	-35	-23	≤ 500
SDV (mg L ⁻¹)	115	147,5	130	-28	-13	-
SDF (mg L ⁻¹)	510	697,5	637	-37	-25	-
N-NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	6,4	5,6	6,7	13	-4	-
Nitrogênio amoniacal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	0,7	0,6	0,6	23	23	≤ 20,0
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,67	0,48	0,47	28	29	< 10,0
Fósforo total (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	0,13	0,11	0,11	19	17	≤ 0,1
Surfactantes (mg L ⁻¹)	4,2	1,2	1,0	72	75	≤ 0,5
Condutividade (μS cm ⁻¹)	1068	1644	1614	-	-	-
Turbidez (UNT)	16,2	13,7	13,1	15	19	2,00 a 5,00
Cor aparente (UH)	53	34	31	36	42	≤ 10
pH	10,23	3,74	3,74	-	-	6,00 a 9,00

T₁: Taxa de aplicação de 120 m³ m⁻² dia⁻¹

T₂: Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

nd: Não detectado

Fonte: *ANA/FIESP e SINDUSCON-SP (2005) e da NBR n° 13.969/1997

O ponto otimizado do coagulante AQUA-PAC e pH de coagulação apresentou baixa eficiência na remoção das variáveis analisadas, em ambas as taxas de aplicação. A eficiência de remoção da DQO foi de 36% para a taxa de 120 m³ m⁻² dia⁻¹ e 37% para a taxa de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. As variáveis cor e turbidez apresentaram redução de 42% e 19% para a taxa de 70 m³ m⁻² dia⁻¹, respectivamente.

A DQO residual variou de 235 a 238 mg O₂ L⁻¹, a turbidez de 13,00 a 13,70 UNT e a cor aparente de 31 a 34 UH (Tabela 17).

Ciabatti et al., (2009) ao avaliarem um sistema de coagulação/floculação/FAD obtiveram uma eficiência na remoção de DQO de 45% e turbidez de 94%.

A eficiência na remoção do nitrogênio amoniacal foi de 23%, eficiência relativamente baixa. Entretanto, a concentração no efluente bruto e no efluente após o tratamento foi inferior a 1,0 mg N-NH₃ L⁻¹, não ultrapassando o valor máximo admissível para o lançamento de efluentes (Tabela 17).

A eficiência na remoção do nitrato variou de 28% a 29%, resultando uma concentração residual inferior a 0,5 mg N-NO₃⁻ L⁻¹. A eficiência na remoção do

nitrogênio total ao se aplicar a taxa de $120 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi de 13% e a concentração foi inferior a $7,0 \text{ mg N-NTK L}^{-1}$ (Tabela 17)

A remoção de surfactante foi de 72% a 75% com valores residuais de 1,2 a $1,0 \text{ mg L}^{-1}$, para as taxas de aplicação de 120 e $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente. As eficiências obtidas neste estudo foram superiores as de Ciabatti et al., (2009), que foi de 40% a 45%.

Após o tratamento a concentração de fósforo no efluente reduziu de 17% a 19%. A concentração no efluente bruto e no efluente após o tratamento foram inferiores a $0,2 \text{ mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$ (Tabela 17).

O sistema de CFF empregando os pontos otimizados de coagulação com relação à concentração dos coagulantes e do pH de coagulação apresentaram baixa eficiência na remoção dos parâmetros analisados. Esta baixa eficiência pode estar relacionada com a variação das características físico-químicas do efluente bruto da lavanderia, assim como, a presença de tensoativos e outros produtos químicos que podem estar interferindo na coagulação e floculação.

O tratamento com o coagulante AQUAFLOC/LS apresentou eficiências de remoção dos parâmetros analisados superiores a do tratamento com o coagulante AQUA-PAC. Os produtos químicos empregados no setor da lavanderia podem estar influenciando de forma mais intensa na coagulação quando aplicado o coagulante a base de alumínio, influenciando na baixa eficiência do sistema.

3.3 ENSAIOS DE TRATABILIDADE DO EFLUENTE DA LAVANDERIA

Para a avaliação dos sistemas de tratabilidade as dosagens dos coagulantes utilizados foram: 316 mg L^{-1} de AQUAFLOC/LS e pH de coagulação 8,75 e $650 \text{ mg Al}_2 \text{ O}_3 \text{ L}^{-1}$ e pH de coagulação de 7,50. A taxa de aplicação superficial para os ensaios de FAD foi de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Estas condições foram determinadas na seção 3.3.2.

Na Tabela 18 é apresentada a caracterização físico-química do efluente e na Tabela 19 são apresentadas as eficiências de remoção dos parâmetros analisados.

Tabela 18. Caracterização físico-química do efluente após ensaios de tratabilidade

Parâmetros	Efluente bruto	CFF ₁	CFF ₂	CFF _{1-F}	CFF _{2-F}	CF _{1-F}	CF _{2-F}	Ensaio de filtração	Limite admissível para reúso*
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	486	326	381	112	95	116	126	223	-
pH	9,45	7,77	3,88	5,57	5,39	6,49	4,19	8,14	6,00 a 9,00
Turbidez (UNT)	79,3	33,3	77,1	2,05	8,06	2,19	9,99	11	2,0 a 5,0
Cor aparente (UH)	246	115	277	nd	8	nd	20	24	≤ 10
Condutividade (μS cm ⁻¹)	791,8	782,6	1387,0	415,9	998,1	501,9	1065,0	533,7	-
N-amoniacoal (mg N-NH ₄ ⁺ L ⁻¹)	0,39	1,9	0,7	1,6	0,7	1,3	1,1	0,4	≤ 20,0
NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	7,28	11,2	10,1	6,7	3,9	5,6	5,6	8,4	-
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,62	0,51	0,54	0,51	0,34	0,33	0,42	0,44	< 10,0
ST (mg L ⁻¹)	925	700	1242	322	640	225	1270	247	-
SV (mg L ⁻¹)	375	225	470	152	273	200	830	70	-
SF (mg L ⁻¹)	550	475	772	170	367	25	440	177	-
SST (mg L ⁻¹)	250	85	217	nd	27	nd	25	20	≤ 5
SSV (mg L ⁻¹)	100	60	117	nd	27	nd	25	20	-
SSF (mg L ⁻¹)	150	25	100	nd	nd	nd	nd	nd	-
SDT (mg L ⁻¹)	675	615	1025	322	612	225	1245	227	≤ 500
SDV (mg L ⁻¹)	275	165	352	152	245	200	805	50	-
SDF (mg L ⁻¹)	400	450	672	170	367	25	440	177	-
Surfactante (mg L ⁻¹)	7,4	4,4	6,4	0,4	3,3	0,6	5,5	1,9	≤ 0,5
Fósforo (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	0,28	0,14	0,19	0,09	0,10	0,08	0,09	0,15	≤ 0,1

C₁: Ensaio com o coagulante AQUAFLOC/LS

C₂: Ensaio com o coagulante AQUA-PAC

nd: Não detectado

Fonte: *ANA/FIESP e SINDUSCON-SP (2005) e da NBR n° 13.969/1997

Tabela 19. Eficiências dos ensaios de tratabilidade

Parâmetros	CFF ₁	CFF ₂	CFF _{1-F}	CFF _{2-F}	CF _{1-F}	CF _{2-F}	Ensaio de filtração
DQO (%)	33	22	77	81	76	74	54
Turbidez (%)	58	-3	97	90	97	87	86
Cor aparente (%)	53	-13	100	97	100	92	90
N-amoniaco (%)	-386	-71	-314	-86	-229	-186	-14
NTK (%)	-54	-38	8	46	23	23	-15
Nitrato (%)	18	14	18	45	46	33	29
ST (%)	24	-34	65	31	76	-37	73
SV (%)	40	-25	59	27	47	-121	81
SF (%)	14	-40	69	33	95	20	68
SST (%)	66	13	100	89	100	90	92
SSV (%)	40	-18	100	72	100	75	80
SSF (%)	83	33	100	100	100	100	100
SDT (%)	9	-52	52	9	67	-84	66
SDV (%)	40	-28	45	11	27	-193	82
SDF (%)	-12	-68	58	8	94	-10	56
Surfactante (%)	41	14	95	56	92	25	74
Fósforo (%)	48	31	67	66	70	66	46

C₁: Ensaio com o coagulante AQUAFLOC/LS

C₂: Ensaio com o coagulante AQUA-PAC

De acordo com os resultados dos ensaios de tratabilidade, o sistema de tratamento via CFF apresentou os menores valores de remoção dos parâmetros físico-químicos. O efluente obtido não apresentou características que permitam sua reutilização no setor de lavagem veicular, segundo as recomendações da ANA/FIESP e SINDUSCON-SP (2005) e pelo estabelecido pela Resolução NBR n° 13.969/1997. Evidenciando a necessidade de um sistema de pós-tratamento.

O efluente tratado pelo sistema de filtração em meio granular sob pressão apresentou pH de 8,14, uma concentração de nitrogênio amoniacal de $0,4 \text{ mg N-NH}_3 \text{ L}^{-1}$ e nitrato de $0,44 \text{ mg N-NO}_3^- \text{ L}^{-1}$. A concentração de sólidos dissolvidos foi de $227,5 \text{ mg L}^{-1}$.

Com relação aos parâmetros cor aparente, turbidez e sólidos suspensos, o efluente filtrado apresentou concentrações residuais acima do recomendado (Tabela 18).

Ahmad e El-Dessouky (2008) avaliaram um sistema de tratamento por filtração de baixa taxa em meio granular de areia e cascalho para o tratamento de efluente de lavanderia. O sistema avaliado pelos autores não promoveu nenhuma redução do parâmetro DQO, entretanto, apresentou uma eficiência de 89% na remoção de sólidos em suspensão, 30% de sólidos dissolvidos e 77% de turbidez, eficiências inferiores as obtidas pelo sistema de filtração sob pressão avaliado neste trabalho.

Os parâmetro surfactantes e fósforo apresentaram concentrações residuais de $1,90 \text{ mg L}^{-1}$ e $0,15 \text{ mg L}^{-1}$ (Tabela 18), respectivamente, valores superiores ao recomendado.

Levando-se em consideração todas as recomendações com relação às características da água de reúso para a lavagem veicular e lavagem de pisos, os sistemas de tratamento que apresentaram um efluente passível de reúso foram os CFF₁-F e CF₁-F. Resultando em um efluente com DQO residual entre 110 e 120 $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, turbidez entorno de 2 UNT e um efluente com cor aparente não detectada (Tabela 18). Ciabatti et al., (2009) avaliaram um sistema combinado de tratamento via coagulação/floculação/FAD seguido de pós-tratamento por ozonização, filtração em carvão ativado e ultrafiltração de fluxo cruzado em membrana de polivinileno de fluoreto de potássio (PVDF), empregando os coagulantes PAC e poliamina e como floculante um polieletrólito aniônico, as dosagens aplicadas foram de $750 \text{ mg Al}_2 \text{ O}_3 \text{ L}^{-1}$, 90 mg L^{-1} e 3 mg L^{-1} , respectivamente. Os autores obtiveram uma eficiência na remoção da DQO de 87% e turbidez de 99%, eficiências próximas as obtidas ao se empregar o sistema de CFF₁-F e CF₁-F, como verificado na Tabela 19.

O sistema de CFF₁-F obteve um efluente tratado com pH inferior a 6,0, sendo necessário a sua correção para o seu reúso.

As concentrações de nitrogênio nos efluentes tratados por CFF₁-F e CF₁-F foram relativamente baixas, estando de acordo com os valores máximos admissíveis. A condutividade elétrica do efluente tratado a partir da CF₁-F foi superior a do sistema CFF₁-F, atingindo 501,9 $\mu\text{S cm}^{-1}$, entretanto, a concentração de sólidos dissolvidos foi inferior. A concentração de sólidos dissolvidos nos efluentes foram inferiores ao valor máximo admissível (Tabela 18). Não foi detectado sólido em suspensão nas amostras tratadas por CFF₁-F e CF₁-F. Ciabatti et al., (2009) ao avaliar seu sistema de tratamento obteve uma eficiência de 98% na remoção deste parâmetro. Estes parâmetros são importantes quando se visa o reúso de água na lavagem veicular, pois a presença de íons de sais pode acelerar a ocorrência de corrosão da lataria.

Os efluentes tratados a partir da CFF₁-F e CF₁-F apresentaram eficiências de remoção do parâmetro surfactante superiores a 90%, com uma concentração residual de 0,4 a 0,6 mg L^{-1} , se enquadrando no valor máximo admissível, conforme verificado na Tabela 18. O sistema de filtração em meio granular sob pressão permitiu uma maior remoção deste parâmetro, isto possivelmente por meio do mecanismo de adsorção. Estas eficiências foram superiores a obtida por Ciabatti et al., (2009).

A concentração de fósforo no efluente final após tratamento por CFF₁-F e CF₁-F foi inferior a 0,1 mg L^{-1} , se enquadrando no estabelecido (Tabela 18).

Os sistemas de CFF₁-F e CF₁-F possibilitaram a obtenção de um efluente adequado para reúso. Os pontos favoráveis a utilização apenas do sistema de filtração em meio granular sob pressão é com relação à redução de custos com a utilização de coagulantes e energia, e o volume de lodo gerado é inferior aos sistemas de flotação por ar dissolvido.

4 CONCLUSÃO

Por meio do desenvolvimento deste trabalho, verificou-se que o efluente proveniente de lavanderia industrial apresenta uma grande variabilidade de suas características físico-químicas, sendo um efluente com uma alta carga orgânica, alta concentração de sólidos dissolvidos e surfactantes e uma elevada condutividade elétrica.

Para os ensaios de CFF₁, a faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS que apresentou maior eficiência no tratamento do efluente foi de 200 a 400 mg L⁻¹ e a faixa de pH de coagulação foi de 8,0 a 9,0. Para o coagulante AQUA-PAC, a faixa de concentração foi de 600 a 700 mg Al₂O₃ L⁻¹ e o pH de coagulação de 7,2 a 7,6, o polímero utilizado não influenciou significativamente na remoção e degradação dos parâmetros analisados.

Para os ensaios de CFF₁, a concentração ótima do coagulante AQUAFLOC/LS foi de 316 mg L⁻¹ e o pH de coagulação foi de 8,75, enquanto que concentração do coagulante AQUA-PAC considerada ótima foi de 650 mg Al₂O₃ L⁻¹ e o pH de coagulação foi de 7,50. Entretanto, o coagulante AQUAFLOC/LS se mostrou superior na remoção e degradação dos parâmetros analisados, apresentando uma eficiência de 30% na remoção da DQO, 58% na remoção de sólidos suspensos, 82% de turbidez, 86% de cor e 47% de redução de surfactantes.

Dentre os sistemas combinados avaliados, verificou-se que os maiores valores de remoção ocorreram para os sistemas de CFF₁-F e CF₁-F. Ambos os sistemas foram eficientes, promovendo a redução de 76% a 77% da DQO, 97% de turbidez, 100% de sólidos suspensos e 92% a 95% de surfactante.

O sistema de filtração possibilitou um polimento adequado do efluente, viabilizando o reúso nos setores de lavagem veicular e na lavagem do piso de abastecimento de combustível.

5 RECOMENDAÇÕES

As principais recomendações deste trabalho são:

- O polímero empregado nos ensaios de CFF₂ da seção 3.2 não influenciou significativamente na remoção e degradação dos parâmetros analisados, este foi empregado nos ensaios pelo fato de ser utilizado na empresa de transporte de ônibus, entretanto para futuros trabalhos, seria interessante avaliar outros polímeros no tratamento deste efluente.
- Novos ensaios de CF₁-F poderiam ser realizados visando identificar novas dosagens do coagulante, para verificar uma possível redução de sua dosagem.
- O lodo gerado nos ensaios de tratabilidade via CFF não foi analisado quanto suas características físico-químicas. Recomenda-se que para futuros trabalhos este seja analisado, visando determinar suas características e volume gerado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10.339/1988 – Projeto e execução de piscina – Sistema de recirculação e tratamento. Rio de Janeiro, 1988.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 13.969/1997 - Tanques Sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

AHMAD, J.; EL-DESSOUKY, H. Design of a modified low cost treatment system for the recycling and reuse of laundry wastewater. **Resource, Conservation and Recycling**, n.52, p.973-978. 2008.

AISSE, M. M.; JÜRGENSEN, D. ; REALI, M. A. P.; et al. Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios por Sistemas de Aeração. In: CHERNICHARO, C. A. L.; **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. FINEP/PROSAB, 2001.544 p.

ANA/FIESP/SINDUSCON-SP – Agência Nacional das Águas/Federação das Indústrias do Estado de São Paulo/Sindicato da Indústria de Construção do Estado de São Paulo. **Conservação e reuso da água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for examination of water and wastewater**. 22nd Ed. Washington: American Public Health Association. 1360p. 2012.

BAIRD, Colin. *Química Ambiental*. Tradução Maria Angeles, Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2 ed. Porto Alegre, Bookman, 2002. 622 p.

BRAGA, J. K.; MOTTERAN, F.; MACEDO, T. Z.; et al. Biodegradation of linear alkylbenzene sulfonate in commercial laundry wastewater by anaerobic fluidized bed reactor. **Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering**. 50, p.946-957. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluente. 2011.

CASTRO-SILVA, M. A. et al. Microrganismos associados ao tratamento de águas de abastecimento com coagulante orgânico vegetal (tanato quaternário de amônio) – I. Microrganismos Filamentosos. **Revista Estudos de Biologia**, v. 26, n. 54, p. 21-27, jan./mar. 2004.

CIABATTI, I; CESARO, F.; FARALLI, L.; et al. Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. **Desalination**. 245, p.451-459. 2009.

DELFORNO, T. P.; MOURA, A. G. L.; OKADA, D. Y.; et al., Effect of biomass adaptation to the degradation of anionic surfactants in laundry wastewater using EGSB reactors. **Bioresource Technology**. 154, p.114-121. 2014.

FERRARI-LIMA, A. M. F. 2011. 157f. **Tratamento de efluente de terminal de combustível: coagulação/floculação/fotocatálise**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Estadual de Maringá, Paraná. 2011.

GE, J.; QU, J.; LEI, P.; et al. New bipolar electrocoagulation-electroflotation process for the treatment of laundry wastewater. **Separation Purification Technology**.36, p.33-39. 2004.

JIMENEZ, B.; MARA, D.; CARR, R.; BRISSAUD, F. Wastewater treatment for pathogen removal and nutrient conservation: suitable systems for use in developing countries. In: Wastewater Irrigation and Health – Assessing and mitigating risk in low-income countries. Earthscan, IDRC. 2010.

MATSUO, T.; NISHI, T. Activated carbon filter treatment of laundry waste water in nuclear Power plants and filter recovery by heating in vacuum. **Carbon**. 38, p.709-714. 2000.

MELO, A. R. B. de. **Pós-tratamento de efluente de reator UASB por filtração em areia e carvão ativo**. 2014. 70f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil – Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2014.

MENEZES, J. C. dos S. 2005. 118f. **Tratamento e reciclagem do efluente de uma lavanderia industrial**. Dissertação (Mestrado Engenharia – Área de Concentração Tecnologia Mineral/Metalurgia Extrativa) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 4rd ed. New York, McGraw Hill, 2003. 1819p.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos–SEMA. Resolução SEMA nº 021 de 4 de julho de 2011. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios para postos de combustíveis e/ou sistemas retalhistas de combustíveis, revoga a Resolução nº 038/09/SEMA, Resolução nº 018/10/SEMA e Resolução nº 077/10/SEMA dá outras providências. **2011**

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulante na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 216 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

PUREWATER. Disponível em: <<http://www.purewaterefluentes.com.br/>> Acesso em 24 de janeiro de 2017.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO, J. H. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgar Blücher, 1995.

RUBIO, J.; CARISSIMI, E.; ROSA, J. J. Flotation in water and wastewater treatment and reuse: recent trend in Brazil. **International Journal of Environmental and Pollution**. 30 (2), p.193-207. 2007.

SILVA, Telma S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto.** 1999. 87 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz , São Paulo, 1999.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto.** 3ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 452p. 2005.

ŠOSTAR-TURK, S.; PETRINIÉ, I.; SIMONIČ, M. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. **Resources Conservation & Recycling**. N.44, p.185-196. 2005.

SRIVASTAVA, Vimal C. et al. Treatment of pulp and paper mill wastewater with poly aluminium chloride and bagasse fly ash. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 260, n. 1-3, p. 17-28, jun. 2005.

THAKUR, S.S.; CHOUBEY, S. Assessment of coagulation efficiency of Moringa oleifera and Okra for treatment of turbid water. **Archives of Applied Science Research**, v. 6, n. 2, p. 24-30, 2014.

CAPÍTULO III

TRATAMENTO DE EFLUENTE DE LAVAGEM DE ÔNIBUS E DE LAVANDERIA POR FLOTAÇÃO POR AR DISSOLVIDO E FILTRAÇÃO

1 INTRODUÇÃO

A demanda por recursos hídricos tem sido influenciada diretamente pelo desenvolvimento do setor industrial e pelo crescimento dos centros urbanos. Entretanto, a qualidade destes reflete o cenário resultante de um gerenciamento inadequado dos recursos hídricos atrelado a falta de sistemas de tratamento e gestão de efluentes líquidos.

O reúso de águas residuárias tratadas tem se tornado uma técnica amplamente difundida no setor industrial, visando reduzir o consumo de água potável e minimizar os efeitos que o seu lançamento sem tratamento adequado poderia ocasionar às águas superficiais e subterrâneas.

A cadeia de transporte de ônibus intermunicipal e interestadual carece por serviços associados à lavagem veicular e lavanderia, para a lavagem de capas de poltronas e cobertores.

Desta forma, este segmento demanda um elevado consumo de água, aliado a utilização de produtos químicos que podem comprometer a qualidade dos recursos hídricos.

Estima-se que em companhias de ônibus o consumo médio mensal de água empregado para a lavagem destes possa atingir 2 mil m³ de água, equivalendo ao consumo médio de 0,5 m³ de água por veículo (RUBIO et al., 2007). Segundo dados da Confederação Nacional do Transporte (CNT, 2016) no ano de 2016 a frota de ônibus rodoviário coletivo de passageiros no Brasil compreendia 107 mil veículos, o que corresponderia a um consumo médio mensal de 1,6 milhões de m³ de água, equivalendo ao consumo médio mensal de uma cidade com aproximadamente 200 mil habitantes.

O setor de lavanderia também se caracteriza pela alta demanda de água, segundo Menezes (2005) o consumo de água estimado para este setor é de 10% do volume consumido por uma região urbana, segundo Sperling (2005) o consumo médio de água neste setor varia entre 20 e 60 L kg⁻¹ de roupa.

Aliado a alta demanda por recursos hídricos, estas atividades acabam produzindo um elevado volume de efluente que poderia ser incorporado novamente ao sistema após um tratamento adequado, visando reduzir o consumo de água em atividades que não carecem de água potável, como é o caso do setor da lavagem veicular de empresas de viação.

O reúso de águas residuárias pressupõe o controle de qualidade de água com a associação de parâmetros físico-químicos a finalidade de uso, pois efluentes provenientes da lavagem veicular e de lavanderia comerciais e industriais são caracterizados pela presença de matéria orgânica, surfactantes, solventes, sólidos dissolvidos, sólidos suspensos, óleos e graxas (HAMADA e MIYAZAKI, 2004; AHMAD e EL-DESSOUKY, 2008; RUBIO e ZANETI, 2009).

Dentre as tecnologias avaliadas para tratamento e reúso de água para sistemas veicular e de lavanderias destacam-se os sistemas de flotação (TEIXEIRA, 2003; RUBIO et al., 2007; RUBIO e ZANETI, 2009; ZANETI et al., 2011; ETCHEPARE et al., 2014), oxidação eletroquímica (GE et al., 2003; PANIZZA e CERISOLA, 2010), ultrafiltração (HAMADA e MIYAZAKY, 2004; ŠOSTAR-TURK et al., 2005; LAU et al., 2013), adsorção em carvão ativado (MATSUO e NISHI, 2000), nanofiltração com sistema de separação por membrana (BOUSSU et al., 2007; LAU et al., 2013) e reator anaeróbio de leito fluidizado (BRAGA et al., 2015).

Os efluentes brutos dos setores de lavagem veicular e lavanderia podem apresentar variação de suas características físico-químicas, além disso, apresentam elevadas concentrações de compostos de difícil redução e remoção por processos físico-químicos, como surfactantes. Desta forma, a combinação de sistemas de tratamento primário, secundário e terciário podem ser incorporados ao tratamento, visando conferir uma melhor qualidade ao efluente e assim promover o seu reúso.

O sistema de tratamento por filtração em meio granular sob pressão está sendo amplamente utilizada como sistema de tratamento terciário de águas residuárias para a remoção de sólidos em suspensão, matéria orgânica e outros compostos (MELO, 2014), podendo ser incorporado como pós-tratamento do sistema de coagulação/floculação/flotação por ar dissolvido (FAD) ou ser aplicado como tratamento secundário, podendo ou não ser precedido de um sistema de coagulação/floculação para aumentar a eficiência na retenção dos sólidos em suspensão.

O sistema de tratabilidade via coagulação/floculação/FAD consiste na utilização de coagulantes químicos e/ou polímeros orgânicos e sintéticos, tais como: policloreto de alumínio e o tanino, para promover uma desestabilização química de partículas coloidais presentes no efluente e promover a agregação dos flocos formados como forma de separação destes da fase líquida (METCALF & EDDY, 2003; AISSÉ et al., 2001).

Os objetivos deste trabalho foram de promover a caracterização físico-química de efluentes provenientes da lavagem de ônibus e de uma lavanderia industrial, além de avaliar diferentes sistemas de tratamento visando o reúso de água. Os sistemas de tratabilidade foram avaliados em escala de bancada, sendo estes: sistema de coagulação/floculação/FAD (CFF); coagulação/floculação/FAD seguido de pós-tratamento por filtração em meio granular sob pressão (CFF-F); coagulação/floculação/filtração em meio granular sob pressão (CF-F) e filtração direta em meio granular sob pressão, utilizando os coagulantes AQUAFLOC/LS e AQUA-PAC.

2 METODOLOGIA

2.1 EFLUENTES DE ESTUDO

Este trabalho foi desenvolvido nos setores de lavagem de ônibus e na lavanderia de uma Empresa de Transporte de Ônibus Rodoviário localizado na cidade de Londrina, Paraná. Estas são atividades fundamentais para a cadeia do sistema de transporte intermunicipal e interestadual (Figura 1).

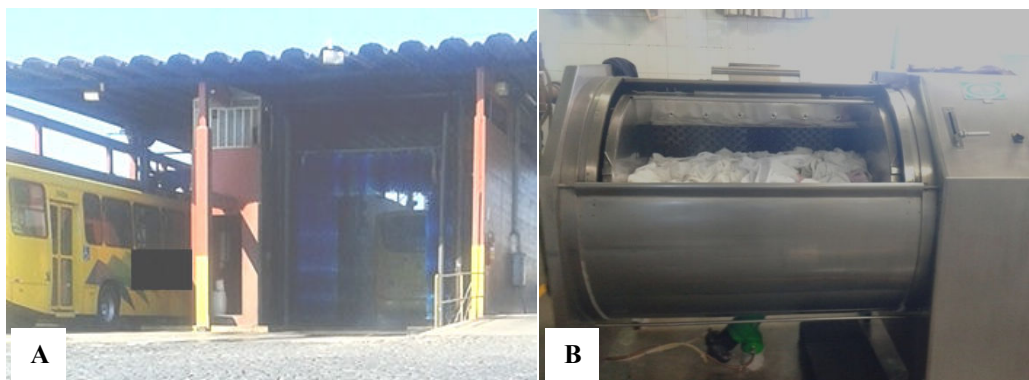


Figura 1. A) Equipamento *rollover* empregado para a lavagem dos ônibus e B) máquina de lavar industrial empregada para a lavagem de capas e cobertores

O sistema empregado para a lavagem dos ônibus é semi-automatizado, a pré-lavagem é realizada mediante a utilização do equipamento *rollover* e finalizada manualmente. Este setor possui a capacidade de promover em média a lavagem de 168 ônibus por dia, consumindo em média $0,39 \text{ m}^3$ de água por ônibus, totalizando um consumo médio diário de $65,52 \text{ m}^3$.

Na lavanderia são realizadas as lavagens de cobertores, capas para poltronas e capas para cobertores de segunda a sábado. Neste setor são realizadas cerca de 20 lavagens diariamente, totalizando aproximadamente a lavagem de 20.000 kg de roupas por mês. O consumo médio de água na lavanderia é de 33 m^3 por dia.

Todo o efluente gerado nos setores de lavagem dos ônibus e na lavanderia passa por um sistema de tratamento de efluentes antes de ser lançado em um corpo hídrico receptor. Esta estação é constituída por um flotor por ar dissolvido e dois biofiltros aerados submersos dispostos em paralelo com capacidade para 10 m^3 de

efluente. As etapas do tratamento empregado são representadas pelo fluxograma da Figura 2.

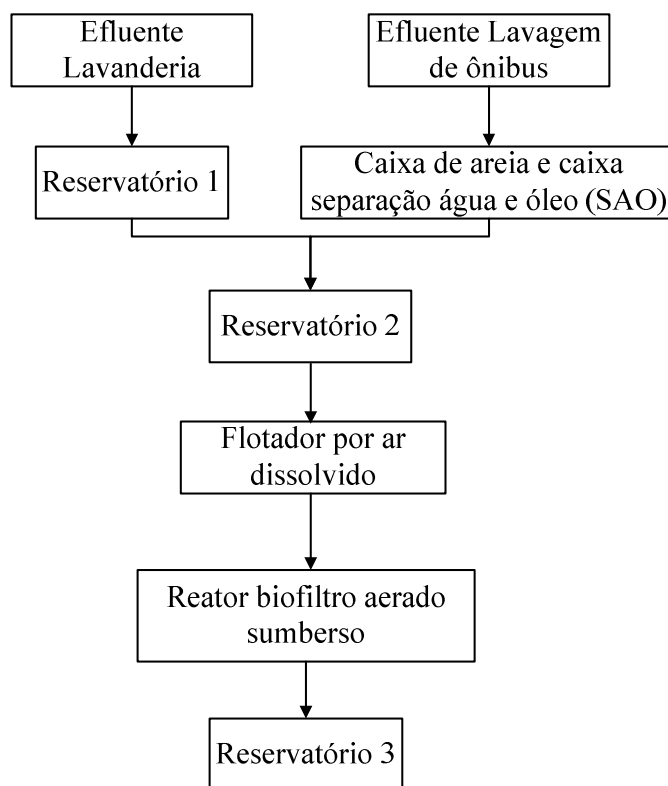


Figura 2. Fluxograma do sistema de tratamento de efluentes da empresa de ônibus rodoviário

No sistema FAD o coagulante empregado para a ocorrência da coagulação/floculação é o polialumínio de cloreto (PAC) e como auxiliar de coagulação é empregado um polímero aniônico a base de acrilamida e acrilato de sódio. Os parâmetros técnicos do sistema FAD estão descritos na Tabela 1.

Tabela 1. Parâmetros técnicos do flotador por ar dissolvido empregado na estação de tratamento de efluentes da empresa de ônibus rodoviário

Parâmetros técnicos	
Altura (m)	1,55
Diâmetro (m)	2,0
Volume (m ³)	3,14
Coagulante	Polialumínio de cloreto (PAC)
Concentração do coagulante (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	80
Auxiliar de coagulação	Polímero aniônico
Taxa de aplicação no flotador (m ³ m ⁻² dia ⁻¹)	70

O lodo proveniente do sistema FAD é armazenado em um depósito de resíduos e posteriormente destino a um aterro de resíduos perigosos, pois contém resíduos de

alumínio em sua composição, em virtude do coagulante empregado para o tratamento do efluente.

2.2 CARACTERIZAÇÃO DO EFLUENTE

O efluente empregado neste trabalho foi produzido a partir da mistura dos efluentes gerados nos setores de lavagem veicular e na lavanderia da empresa de transporte de ônibus rodoviário.

O volume estimado de efluente gerada na empresa está entorno de 98,52 m³ por dia. Onde, 67% do volume total de efluente são provenientes da lavagem veicular e 33% são produzidos na lavanderia. Esta proporção foi considerada para a produção do efluente utilizado nos ensaios de tratabilidade, assim como para a sua caracterização.

Os efluentes foram caracterizados de acordo com os parâmetros físico-químicos descritos na Tabela 2. Todas as análises foram realizadas seguindo as recomendações do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Tabela 2. Análises físico-químicas estabelecidas para caracterização dos efluentes

Parâmetro	Método analítico
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	5220 D – Método colorimétrico, refluxo fechado
Série de sólidos (mg L ⁻¹)	2540 B – Sólidos totais secos a 103-105°C; 2540 D – Sólidos suspensos totais secos a 103-105°C; 2540 E – Sólidos fixos e voláteis inflamados a 550°C
Nitrogênio NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	4500 N _{org} C – Método semi-micro Kjeldahl
Nitrogênio amoniacal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	4500-NH ₃ C – Método titulométrico
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	4500-NO ₃ ⁻ B – Método espectrofotométrico
Fósforo total (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	4500 P – Método redução com ácido ascórbico
Surfactantes (mg L ⁻¹)	5540 C – MBAS (substâncias que reagem ao azul de metileno)
Condutividade (μS cm ⁻¹)	2510 B – Método de laboratório
Turbidez (UNT)	2130 B – Método nefelométrico
Cor aparente (UH)	2120 C - Método de espectrofotometria
pH	4500 H ⁺ B – Método eletrométrico

2.3 PROCEDIMENTOS EXPERIMENTAIS

Os ensaios experimentais foram realizados no Laboratório de Poluentes da Universidade Tecnológica Federal do Paraná – *Campus* Londrina. Os testes foram realizados no equipamento de teste de jarros, com capacidade de 2 litros dotados para flotação em escala de bancada e um compressor de ar (Figura 3). Um sistema de filtração em meio granular sob pressão em escala de bancada também foi empregado nos ensaios de tratabilidade. (vide descrição item 2.3 do Capítulo 1).

2.3.1 Coleta do Efluente

Para os ensaios de tratabilidade, os efluentes foram coletados na saída da caixa de separação de água e óleo (caixa SAO) e no reservatório de armazenamento do efluente da lavanderia (Figura 3).



Figura 3. Caixa SAO e reservatório de armazenamento do efluente da lavanderia

2.3.2 Coagulantes Empregados

Os coagulantes empregados nos ensaios de tratabilidade foram o AQUAFLOC/LS (tanino), e AQUA-PAC (policloreto de alumínio) com o auxílio de um polímero de acrilamida e acrilato de sódio (vide descrição na Tabela 3 do Capítulo 1).

2.3.3 Determinação das Condições Otimizadas de Coagulação por CFF

2.3.3.1 Delineamento experimental

O planejamento estatístico aplicado aos ensaios de CFF foi baseado no Delineamento Composto Central Rotacional (DCCR). As variáveis independentes foram pH de coagulação, concentração dos coagulantes AQUA-PAC e AQUAFLOC/LS e concentração do polímero.

Os ensaios de CFF foram realizados em duas etapas. As variáveis independentes aplicadas aos ensaios da etapa 1 foram pH de coagulação e concentração do coagulante AQUAFLOC/LS. Na etapa 2 empregou-se as variáveis independentes pH de coagulação, concentração do coagulante AQUA-PAC e do polímero.

As dosagens dos coagulantes, do polímero e a faixa de pH de coagulação estabelecidas para os ensaios de cada etapa estão descritas na Tabela 3.

Tabela 3. Concentrações dos coagulantes e pH para os ensaios de CFF

Condições de coagulação	Etapa 1	Etapa 2
Coagulante AQUAFLOC/LS (mg L ⁻¹)	100 a 300	-
pH de coagulação	6,00 a 9,00	6,00 a 9,00
Coagulante AQUA-PAC (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	-	50 a 350
Polímero (mg L ⁻¹)	-	0 a 2

As dosagens dos coagulantes e do polímero foram determinadas por meio da realização de ensaios preliminares. A faixa de pH de coagulação estabelecida para os ensaios está relacionada com a faixa de pH instituída para o lançamento de efluentes, de acordo com a Resolução CONAMA n°430/2011

As Tabelas 4 e 5 apresentam os valores codificados e reais das concentrações dos coagulantes, do polímero e os valores de pH.

Tabela 4. Valores reais de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e valores de pH de coagulação determinados pelo método DCCR para os ensaios de CFF₁

Ensaio	Valores codificados		Valores reais	
	Concentração AQUAFLOC/LS	pH de coagulação	Concentração AQUAFLOC/LS (mg L ⁻¹)	pH de coagulação
1	-1	-1	129	6,40
2	1	-1	271	6,40
3	-1	1	129	8,50
4	1	1	271	8,50
5	-1,41	0	100	7,50
6	1,41	0	300	7,50
7	0	-1,41	200	6,00
8	0	1,41	200	9,00
9	0	0	200	7,50
10	0	0	200	7,50
11	0	0	200	7,50
12	0	0	200	7,50

Tabela 5. Valores reais da concentração do coagulante AQUA-PAC e do polímero determinados pelo método DCCR para os ensaios de CCF₂

Ensaio	Valores codificados			Valores reais		
	Concentração AQUA-PAC	Concentração polímero	pH de coagulação	Concentração AQUA-PAC (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	Concentração Polímero (mg L ⁻¹)	pH de coagulação
1	-1	-1	-1	111	0,4	6,61
2	1	-1	-1	289	0,4	6,61
3	-1	1	-1	111	1,6	6,61
4	1	1	-1	289	1,6	6,61
5	-1	-1	1	111	0,4	8,39
6	1	-1	1	289	0,4	8,39
7	-1	1	1	111	1,6	8,39
8	1	1	1	289	1,6	8,39
9	-1,68	0	0	50	1,0	7,50
10	1,68	0	0	350	1,0	7,50
11	0	-1,68	0	200	0,0	7,50
12	0	1,68	0	200	2,0	7,50
13	0	0	-1,68	200	1,0	6,00
14	0	0	1,68	200	1,0	9,00
15	0	0	0	200	1,0	7,50
16	0	0	0	200	1,0	7,50
17	0	0	0	200	1,0	7,50
18	0	0	0	200	1,0	7,50

As condições de coagulação e floculação estão apresentadas na Tabela 7 do Capítulo 1. Estes parâmetros foram baseados nas recomendações de Aisse et al., (2001) para o tratamento de efluentes.

A taxa de recirculação de ar saturado foi de 20% e a pressão de saturação da câmara de ar foi de 6 bar. As taxas de aplicação superficial estabelecidas para os ensaios com o coagulante AQUAFLOC/LS foram de 150 e 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Para os ensaios com

o coagulante AQUA-PAC, as taxas de aplicação superficial empregadas foram de 35 e 70 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$. A velocidade ascensional ao se aplicar a taxa de 35 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ é de 0,04 cm s^{-1} que corresponde ao tempo de coleta de 184 segundos.

A taxa de aplicação de 70 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ corresponde à taxa aplicada ao flutador por ar dissolvido em funcionamento na empresa de viação. A taxa de 150 $\text{m}^3 \text{m}^{-2} \text{dia}^{-1}$ não foi aplicada aos ensaios com o coagulante AQUA-PAC, pois nos ensaios preliminares todos os valores dos parâmetros avaliados sofreram um aumento considerável devido à remoção incompleta dos flocos formados no ponto de coleta do jarro. Em vista disto, a taxa de aplicação foi reduzida para os ensaios com o coagulante AQUA-PAC.

As análises físico-químicas empregadas para avaliar a eficiência dos diferentes coagulantes no tratamento do efluente em questão foram DQO, cor, turbidez, condutividade elétrica e pH.

Os modelos matemáticos gerados pelo método DCCR para as variáveis respostas remoção e redução das variáveis cor aparente, turbidez e DQO foram validados estatisticamente pela análise de variância (ANOVA) a um nível de confiança de 95%.

2.3.3.2 Determinação dos pontos otimizados de concentração do coagulante e pH de coagulação

Por meio dos gráficos de curva de contorno foram determinadas as faixas consideradas ótimas para as variáveis independentes com maiores eficiências na remoção de DQO, cor aparente e turbidez.

A partir da faixa ótima de atuação dos coagulantes e pH de coagulação, foram determinados pontos considerados ótimos para serem melhor avaliados com relação à remoção de matéria orgânica, sólidos, nitrogênio, fósforo e surfactantes. Novos ensaios de CFF foram realizados nesta etapa. As análises realizadas para caracterizar o efluente após o tratamento estão descritas na Tabela 2.

2.3.4 Ensaio de Tratabilidade

Avaliaram-se diferentes combinações de sistemas de tratabilidade visando avaliá-los quanto à obtenção de um efluente passível de ser reutilizado no setor de lavagem dos ônibus, setor caracterizado pelo elevado consumo de água na empresa. Os sistemas de tratamento estão descritos no item 2.3.4 do Capítulo 1. Estes foram avaliados com relação à remoção dos parâmetros físico-químicos descritos na Tabela 2.

Os parâmetros técnicos do sistema de filtração estão descritos no item 2.3.4 do Capítulo 1. Os Ensaio de CFF e de CF-F também foram realizados segundo os itens 2.3.4.1 e 2.3.4.2 do Capítulo 1, respectivamente. As dosagens dos coagulantes foram baseadas nas concentrações otimizadas estabelecidas na seção 2.3.3.2 deste Capítulo.

3 RESULTADOS

3.1 CARACTERIZAÇÃO DOS EFLUENTES

A análise físico-química dos efluentes gerados nos setores da lavagem dos ônibus e da lavanderia é apresentada na Tabela 6, assim como a caracterização do efluente combinado.

Tabela 6. Caracterização dos efluentes produzidos pela empresa de transporte de ônibus rodoviário

Parâmetros	Efluente lavagem dos ônibus		Efluente lavanderia		Efluente combinado		Limite admissível para lançamento*
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo	
Cor aparente (UH)	159	665	82	585	166	337	-
Turbidez (UNT)	33,2	194,0	26,8	194,5	40,6	79,3	-
pH	6,75	7,80	8,34	10,25	8,34	8,86	5,00 a 9,00
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	127	337	78	519	250	480	≤ 300
Condutividade (μS cm ⁻¹)	438,7	594,5	576,4	1068,0	569,2	723,5	-
ST (mg L ⁻¹)	392	617	657	752	315	520	-
STV (mg L ⁻¹)	182	247	147	327	37	143	-
STF (mg L ⁻¹)	210	370	425	510	277	377	-
SST (mg L ⁻¹)	35	52	30	32	75	85	-
SSV (mg L ⁻¹)	25	32	27	32	25	50	-
SSF (mg L ⁻¹)	2,5	27	nd	2	35	50	-
SD (mg L ⁻¹)	340	582	625	722	240	435	-
SDV (mg L ⁻¹)	152	215	115	300	12	93	-
SDF (mg L ⁻¹)	187	367	422	510	227	342	-
Surfactante (mg L ⁻¹)	23,6	31,3	1,79	4,20	5,7	30,4	≤ 2,0
Fósforo (mg PO ₄ L ⁻¹)	0,97	1,2	0,13	1,38	0,13	0,15	-
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,3	0,39	0,58	0,67	0,46	0,48	-
N- amoniacal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	1,12	6,72	0,17	0,70	0,5	0,7	≤ 20,0
NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	2,24	14,3	6,4	14,30	7,00	7,28	-

nd: Não detectado

Fonte: *CONAMA n° 430/2011 e Resolução SEMA n° 021/2011

Os efluentes provenientes dos setores de lavagem veicular e da lavanderia caracterizaram-se por apresentar uma variação de determinados parâmetros ao longo das amostragens, tais como cor aparente, turbidez e DQO. Desta forma, o efluente combinado também apresentou uma variabilidade, com valores máximos de DQO de 480 mg O₂ L⁻¹, cor aparente de 337 UH e turbidez de 79,30 UNT (Tabela 6).

Alguns autores caracterizaram os efluentes da lavagem veicular e de lavanderia. Segundo Lau et al., (2013) a DQO média do efluente da lavagem veicular

está entorno de $738 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, enquanto que Kiran et al., (2015) verificaram que a faixa de concentração da DQO está entre 150 e $175 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$. Com relação ao efluente de lavanderia, Delforno et al., (2014) e Braga et al., (2015) chegaram a obter um efluente com DQO de 1.603 e $1.434 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, respectivamente. Machado et al., (2005) caracterizaram um efluente proveniente da combinação de águas residuárias da lavagem de ônibus, peças automotivas, esgoto sanitário e de uma lavanderia que promovia a lavagem de capas de poltronas, ambos gerados em uma empresa de ônibus. A faixa de concentração de DQO para este efluente segundo os autores, variou entre 1.114 e $1.780 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, apresentando uma elevada carga orgânica devido a presença de esgoto sanitário.

O efluente da lavagem dos ônibus apresentou um pH variando entre $6,00$ e $8,00$, enquanto que o efluente da lavanderia apresentou valores de pH superiores a 10 . Isto está relacionado aos diferentes produtos de limpeza empregados em cada setor. Nas lavanderias é muito comum a utilização de detergentes alcalinos e produtos a base de cloro ativo, influenciando significativamente no aumento deste parâmetro. O efluente combinado não apresentou uma variação significativa deste parâmetro, permanecendo na faixa de pH entre $8,00$ e $9,00$ (Tabela 6), permanecendo no limite estabelecido para o lançamento de efluentes.

A condutividade elétrica do efluente da lavanderia foi significativamente superior ao do efluente da lavagem veicular, podendo este estar atrelado à maior concentração de sólidos dissolvidos e matéria inorgânica presente. O efluente combinado atingiu uma condutividade elétrica máxima de $723,5 \mu\text{S cm}^{-1}$, valor superior ao verificado no efluente da lavagem veicular.

Assim como nos demais efluentes, a concentração de sólidos dissolvidos no efluente combinado supera a de sólidos suspensos, chegando a atingir uma concentração de 435 mg L^{-1} de sólidos dissolvidos e de 85 mg L^{-1} de sólidos suspensos (Tabela 6).

De acordo com Lau et al., (2013) a concentração média de sólidos dissolvidos no efluente da lavagem veicular está entorno de 89 a 152 mg L^{-1} , enquanto Kiran et al., (2015) verificaram concentrações entre 650 e 775 mg L^{-1} . A concentração de sólidos dissolvidos encontrado em efluente de lavanderia pode atingir até 4.410 mg L^{-1} , segundo a caracterização realizada por Delforno et al., (2014).

A concentração de surfactante no efluente da lavagem veicular chegou a atingir uma concentração quase 8 vezes maior que a verificada no efluente da lavanderia, isto

possivelmente em virtude da concentração do produto ativo dos detergentes automobilísticos e da diluição do efluente da lavanderia, devido as etapas de enxágue.

A concentração máxima de surfactante encontrada no efluente da lavagem dos ônibus foi de $31,3 \text{ mg L}^{-1}$, enquanto que no efluente da lavanderia não foi superior a 5 mg L^{-1} . Segundo Machado et al., (2005) a concentração média de surfactante encontrada no efluente foi de $9,4 \text{ mg L}^{-1}$.

A concentração de nitrogênio amoniacal no efluente da lavagem veicular variou entre $1,12$ a $6,72 \text{ mg N-NH}_3 \text{ L}^{-1}$, enquanto que a concentração deste no efluente da lavanderia não ultrapassou a $0,7 \text{ mg N-NH}_3 \text{ L}^{-1}$, assim como no efluente combinado. O inverso foi verificado com relação à concentração de nitrato, onde o efluente da lavanderia apresentou uma concentração superior do que a encontrada no efluente da lavagem dos ônibus, porém essas concentrações foram inferiores a $1,0 \text{ mg NO}_3^- \text{ L}^{-1}$.

A concentração máxima de nitrogênio total em ambos os efluentes foi similar, com uma concentração de $14,3 \text{ mg N-NTK L}^{-1}$, no efluente combinado, a concentração máxima não ultrapassou $8,0 \text{ mg N-NTK L}^{-1}$.

A concentração de fósforo nos efluentes foram inferiores a $2,0 \text{ mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$. A baixa concentração pode está relacionada com a substituição progressiva dos detergentes a base de fósforo por derivados de nitrilotriacetato de sódio, carbonato de sódio, EDTA, dentre outros (BAIRD, 2002).

Em geral, o efluente combinado apresentou características análogas a do efluente da lavagem de ônibus, como esperado, devido à proporção deste utilizada na produção do efluente misturado.

3.2 ENSAIOS DE CFF PARA DETERMINAÇÃO DAS CONDIÇÕES OTIMIZADAS DE COAGULAÇÃO

A caracterização físico-química do efluente combinado empregado para os ensaios de tratabilidade está descrita na Tabela 7.

Tabela 7. Caracterização do efluente bruto empregado para os ensaios de CFF

Parâmetros	Média
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	477
Cor aparente (UH)	314
Turbidez (UNT)	71,7
Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	718,1
pH	8,58

Ao se avaliar o sistema de CFF₁, identificou-se que a taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹ proporcionou uma maior eficiência ao sistema de tratamento. As eficiências máximas de remoção da cor aparente foram de 92% a 93%, obtendo um efluente com cor residual variando de 24 a 28 UH (Tabelas 8).

De acordo com os gráficos de curva de contorno para a variável resposta remoção do parâmetro cor, a faixa ótima de atuação do coagulante AQUAFLOC/LS está entorno de 230 a 260 mg L⁻¹, para a taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹, independente do pH de coagulação, pois esta variável não influenciou significativamente na redução do parâmetro analisado (Figura 4-B).

Tabela 8. Características físico-químicas do efluente combinado após tratamento via CFF₁

Ensaio	AQUAFLOC/LS (mg L ⁻¹)	pH de coagulação	pH pós- tratamento	Cor aparente (UH)		Eficiência remoção de cor (%)		Turbidez (UNT)		Eficiência remoção de turbidez (%)		DQO (mg O ₂ L ⁻¹)		Eficiência remoção de DQO (%)		Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	
				T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
1	129	6,40	7,13	202	156	40	54	52,3	40,5	34	49	358	353	24	26	754,7	751,8
2	271	6,40	7,06	162	28	52	92	47,5	13,6	40	83	330	233	30	51	767,1	766
3	129	8,50	8,09	119	90	65	73	32,4	20,9	59	74	313	286	34	40	674,4	666,6
4	271	8,50	7,75	126	35	63	90	37,6	13,0	53	84	308	255	35	46	671	679,6
5	100	7,50	7,35	289	263	14	22	71,7	62,3	10	21	402	392	15	17	690,4	693,5
6	300	7,50	7,37	152	27	55	92	44,5	16,3	44	79	340	254	28	46	716,5	720,4
7	200	6,00	6,51	111	24	67	93	40,0	11,0	50	86	284	228	40	52	772,6	770,1
8	200	9,00	8,67	168	59	50	82	47,3	17,5	40	78	344	281	27	41	676,4	682,2
9	200	7,50	7,45	122	41	64	88	44,7	14,0	44	82	314	247	34	48	708,4	705,4
10	200	7,50	7,7	129	47	62	86	48,35	16,8	39	79	330	256	30	46	705,8	700,5
11	200	7,50	7,36	117	35	65	90	38,6	12,6	51	84	303	248	36	48	705,5	711,9
12	200	7,50	7,26	113	43	66	87	38,5	14,6	51	82	305	250	36	47	701,8	701,3

T₁: Taxa de aplicação de 150 m³m⁻²dia⁻¹T₂: Taxa de aplicação de 70 m³m⁻²dia⁻¹

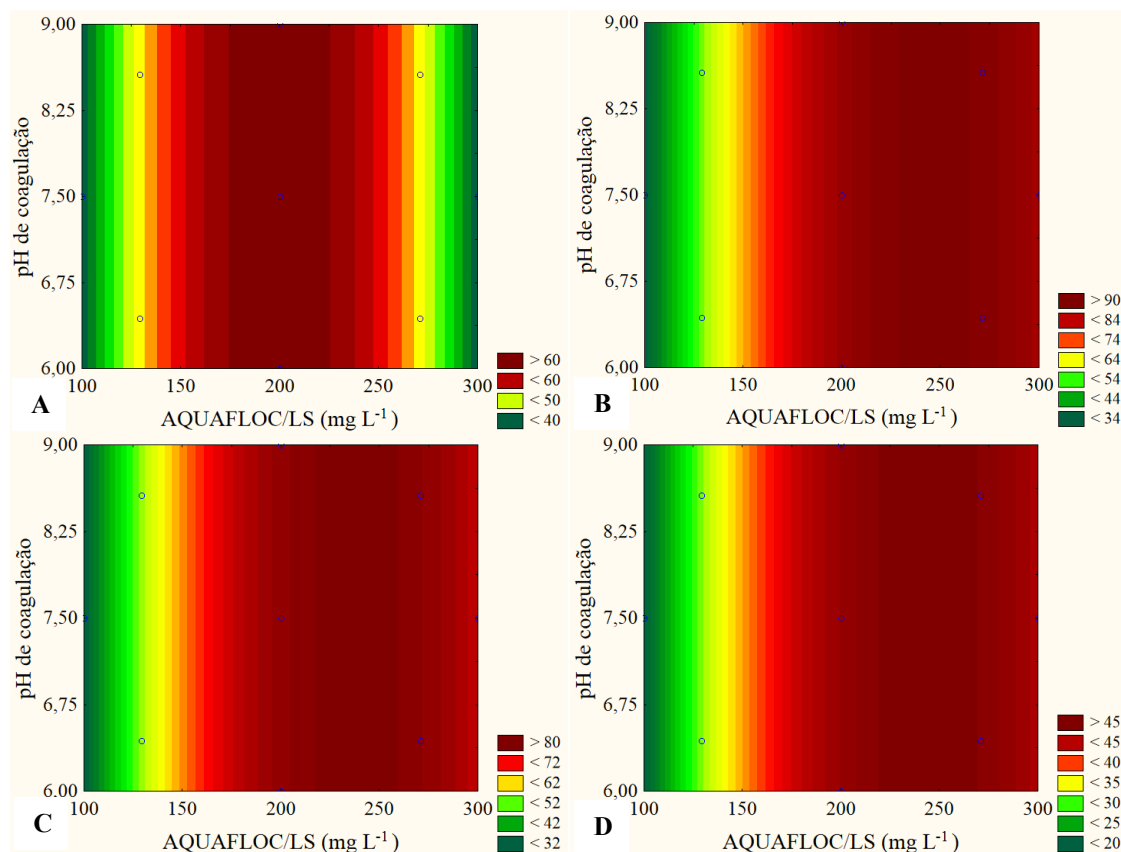


Figura 4. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUAFLOC/LS. Eficiências de remoção de cor aparente (%) A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Eficiências de remoção de turbidez (%) C) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Eficiências de remoção de DQO (%) D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Com fatores reparametrizados

Ao se empregar o coagulante AQUAFLOC/LS, foi possível obter remoções de turbidez superiores a 74%, com residual variando entre 11,0 e 21,0 UNT (Tabelas 8) ao se aplicar uma taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Para a taxa de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, a maior eficiência na remoção não ultrapassou 59% (Tabela 8).

Os maiores valores de remoção do parâmetro turbidez ocorreram na faixa de concentração do AQUAFLOC/LS de 220 a 270 mg L^{-1} , como verificado pelo gráfico de curva de contorno para a taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Figura 4-C). O pH de coagulação não influenciou significativamente na remoção do parâmetro analisado. As variáveis independentes avaliadas não foram significativas ao se empregar a taxa de aplicação superficial de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

A maior eficiência na remoção da DQO ao se empregar a taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi de 40% e para a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi de 52% (Tabela 8).

De acordo com o gráfico de curva de contorno para a taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, a faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS que apresentou maior eficiência na remoção da DQO foi de 220 a 260 mg L^{-1} e o pH de coagulação não

influenciou na remoção (Figura 4-D). As variáveis independentes avaliadas não foram significativas ao se empregar a taxa de aplicação superficial de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Nos ensaios de CFF_2 , os maiores valores de remoção do parâmetro cor aparente ocorreram para a taxa de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. As eficiências de remoção chegaram a atingir valores de 87% a 91%, com residual de 33 a 44 UH (Tabelas 9).

De acordo com os gráficos de curva de contorno que representam a taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, as faixas de concentração do coagulante AQUA-PAC que apresentaram as maiores eficiências na remoção do parâmetro cor foram de 50 a $180 \text{ mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ e de 200 a $300 \text{ mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$. O pH de coagulação, também apresentou duas faixas distintas, sendo estas de 6,00 a 7,30 e de 8,30 a 9,00, como verificado nas Figuras 5-D e 5-E. O polímero empregado para auxiliar na coagulação e floculação, não influenciou significativamente na remoção do parâmetro analisado.

Tabela 9. Características físico-químicas do efluente combinado após tratamento via CFF₂

Ensaio	Concentração AQUA-PAC (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	Concentração polímero (mg L ⁻¹)	pH de coagulação	pH pós- tratamento	Cor aparente (UH)		Eficiência remoção de cor (%)		Turbidez (UNT)		Eficiência remoção de turbidez (%)		DQO (mg O ₂ L ⁻¹)		Eficiência remoção de DQO (%)		Condutividade elétrica (μS cm ⁻¹)	
					T ₁	T ₂			T ₁	T ₂			T ₁	T ₂			T ₁	T ₂
1	111	0,4	6,61	6,10	65	39	78	87	18,5	10,2	71	84	207	192	57	60	737,9	736,1
2	289	0,4	6,61	4,76	253	238	13	18	85,6	74,2	-33	-16	291	280	39	42	885,2	868,7
3	111	1,6	6,61	6,30	60	38	79	87	16,8	9,14	74	86	207	190	57	60	744,3	748,8
4	289	1,6	6,61	4,89	272	244	6	16	108	87,2	-68	-36	282	276	41	42	848,6	858,2
5	111	0,4	8,39	6,66	263	117	41	74	74,2	39,9	34	65	347	264	37	52	735,7	722,8
6	289	0,4	8,39	5,77	43	42	90	91	17,6	16,0	84	86	200	196	64	64	861,2	864,9
7	111	1,6	8,39	6,54	252	132	43	70	69,5	44,7	38	60	333	287	40	48	731,7	744,2
8	289	1,6	8,39	5,61	44	44	90	90	17	16,6	85	85	224	228	59	59	877,6	866,1
9	50	1,0	7,50	6,35	144	119	50	59	43,6	34,9	32	46	291	276	39	42	676,0	673,8
10	350	1,0	7,50	4,26	415	323	-43	-11	366	144	-470	-124	322	312	33	35	921,4	907,2
11	200	0,0	7,50	5,88	71	33	76	89	20,2	9,4	69	85	208	191	57	60	783,1	784,3
12	200	2,0	7,50	5,94	66	36	77	88	19,1	9,37	70	85	198	208	59	57	766,9	785,8
13	200	1,0	6,00	4,88	78	58	82	87	24,4	17,2	78	85	232	224	58	59	918,0	896,5
14	200	1,0	9,00	6,34	275	95	38	79	75,4	29,7	33	74	348	255	37	54	849,9	842,4
15	200	1,0	7,50	5,80	65	35	78	88	18,6	10,2	71	84	200	180	58	62	816,2	812,6
16	200	1,0	7,50	5,74	69	37	76	87	20	10,8	69	83	202	186	58	61	805,2	780,9
17	200	1,0	7,50	5,93	75	39	74	87	22,2	11,8	65	82	214	189	55	61	830,1	840,3
18	200	1,0	7,50	5,95	63	34	78	88	19,6	10,2	69	84	207	192	55	61	823,5	805,1

T₁: Taxa de aplicação de 70 m³m⁻²dia⁻¹T₂: Taxa de aplicação de 35 m³m⁻² dia⁻¹

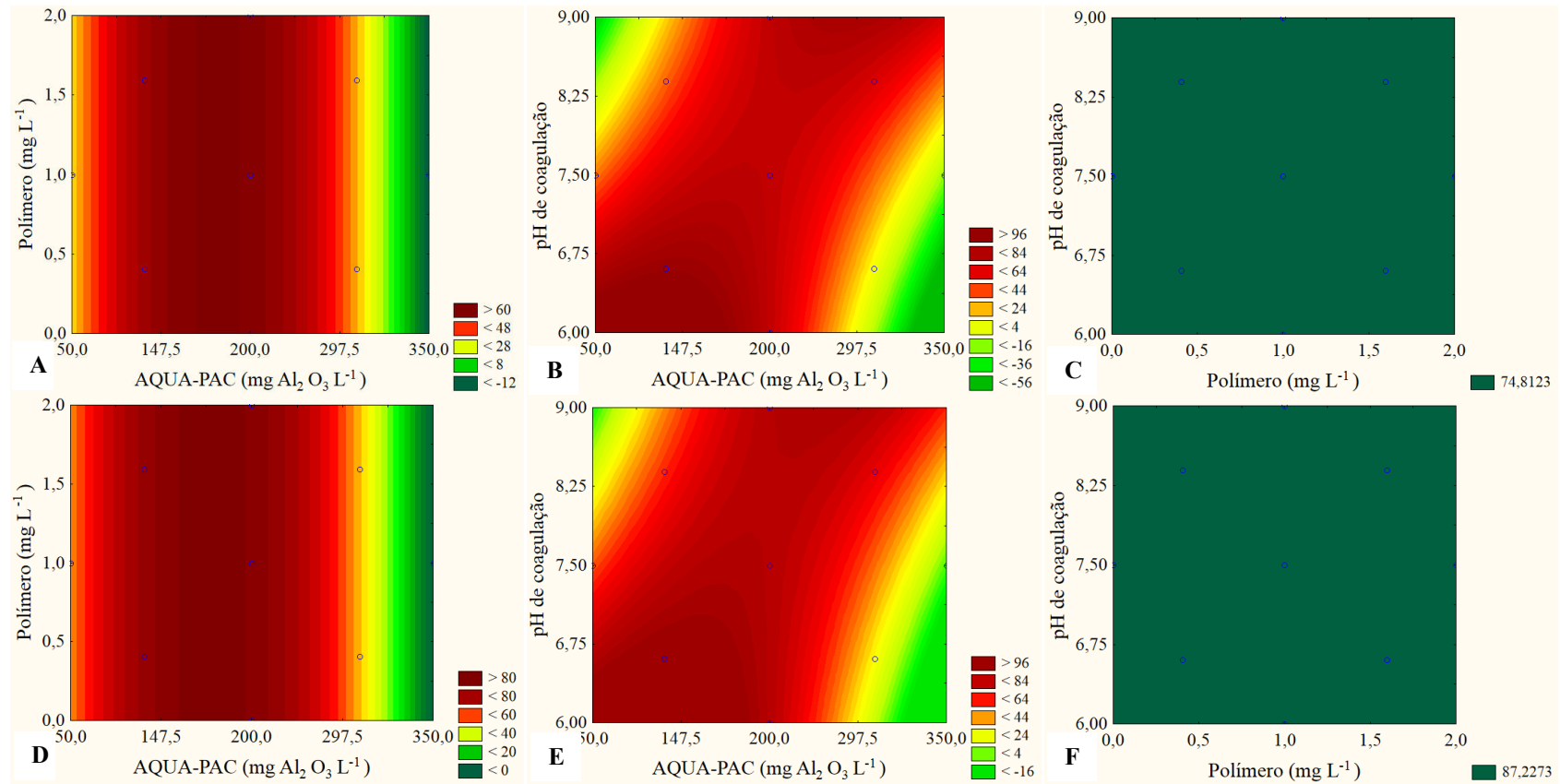


Figura 5. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiências de remoção de cor aparente (%) A), B) e C) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. D), E) e F) Taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Com fatores reparametrizados

Os maiores valores de remoção do parâmetro turbidez ao se empregar o coagulante AQUA-PAC ocorreram na taxa de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, com turbidez residual inferior a 10,0 UNT e eficiência de 86% (Tabelas 9).

Os gráficos de curva de contorno que descrevem a variável resposta remoção de turbidez estão representados pela Figura 6. Foram determinadas duas faixas de atuação do coagulante AQUA-PAC e do pH de coagulação, isto ao se empregar a taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (Figuras 6-D e 6-E). As faixas de melhor atuação do coagulante AQUA-PAC estão compreendidas de 50 a 200 $\text{mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ e de 200 a 250 $\text{mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$, enquanto que as faixas de pH de coagulação estão compreendidas de 6,00 a 7,40 e de 8,80 a 9,00.

As maiores eficiências na remoção da DQO ocorreram na taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, como verificado na Tabela 11. A eficiência no tratamento atingiu 61%, obtendo um efluente com DQO residual de 180 a 189 $\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (Tabela 9).

Os gráficos de curva de contorno que representam a variável resposta remoção de DQO são apresentados na Figura 7. A faixa de concentração do coagulante AQUA-PAC para remoção da matéria orgânica ao se aplicar a taxa de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi de 100 a 180 $\text{mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ e de 230 a 320 $\text{mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$, que corresponde as faixas de pH de coagulação de 6,00 a 7,60 e de 8,80 a 9,00 (Figura 7-D e 7-E).

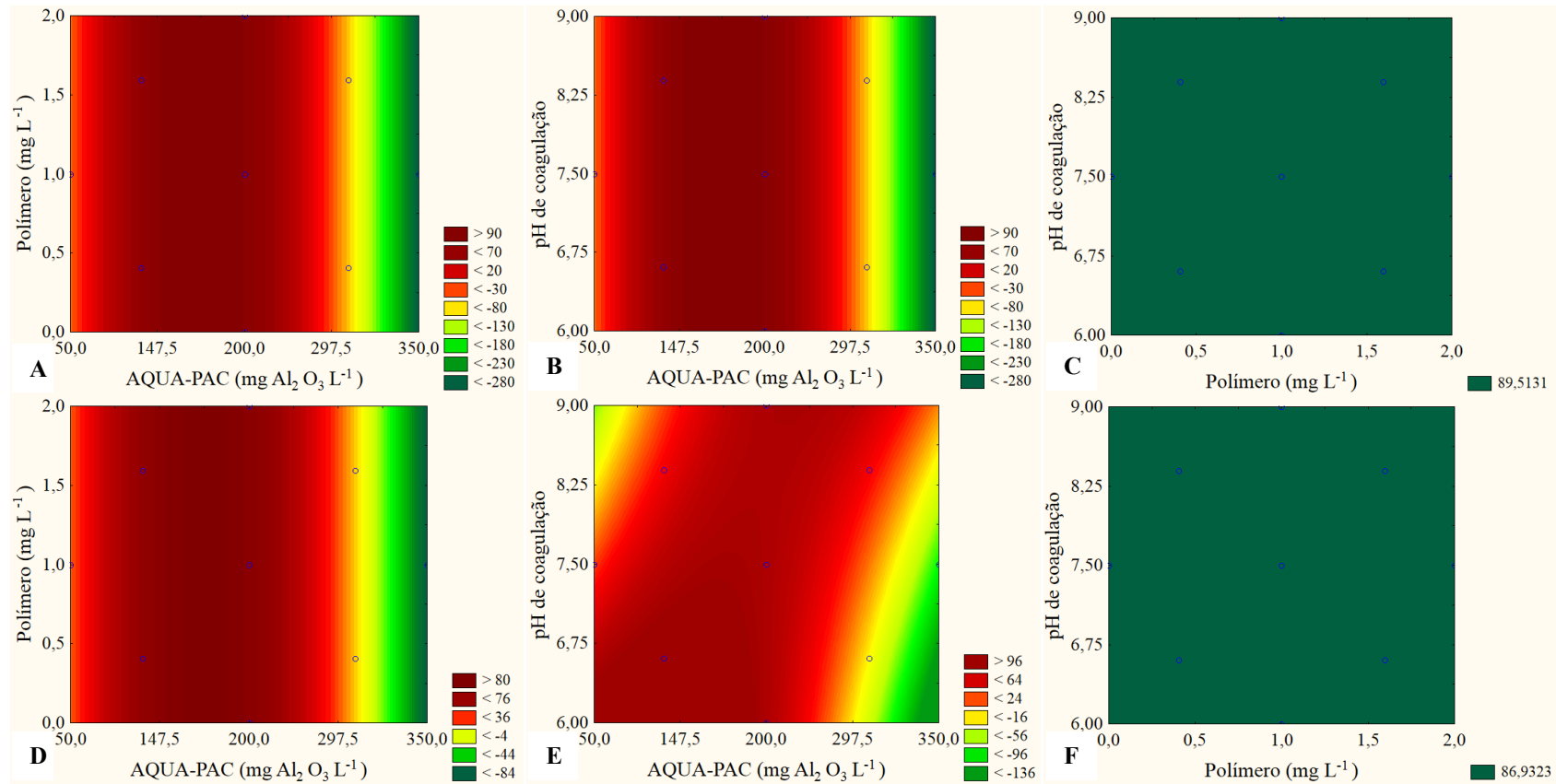


Figura 6. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiências de remoção de turbidez (%) A), B) e C) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. D), E) e F) Taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Com fatores reparametrizados

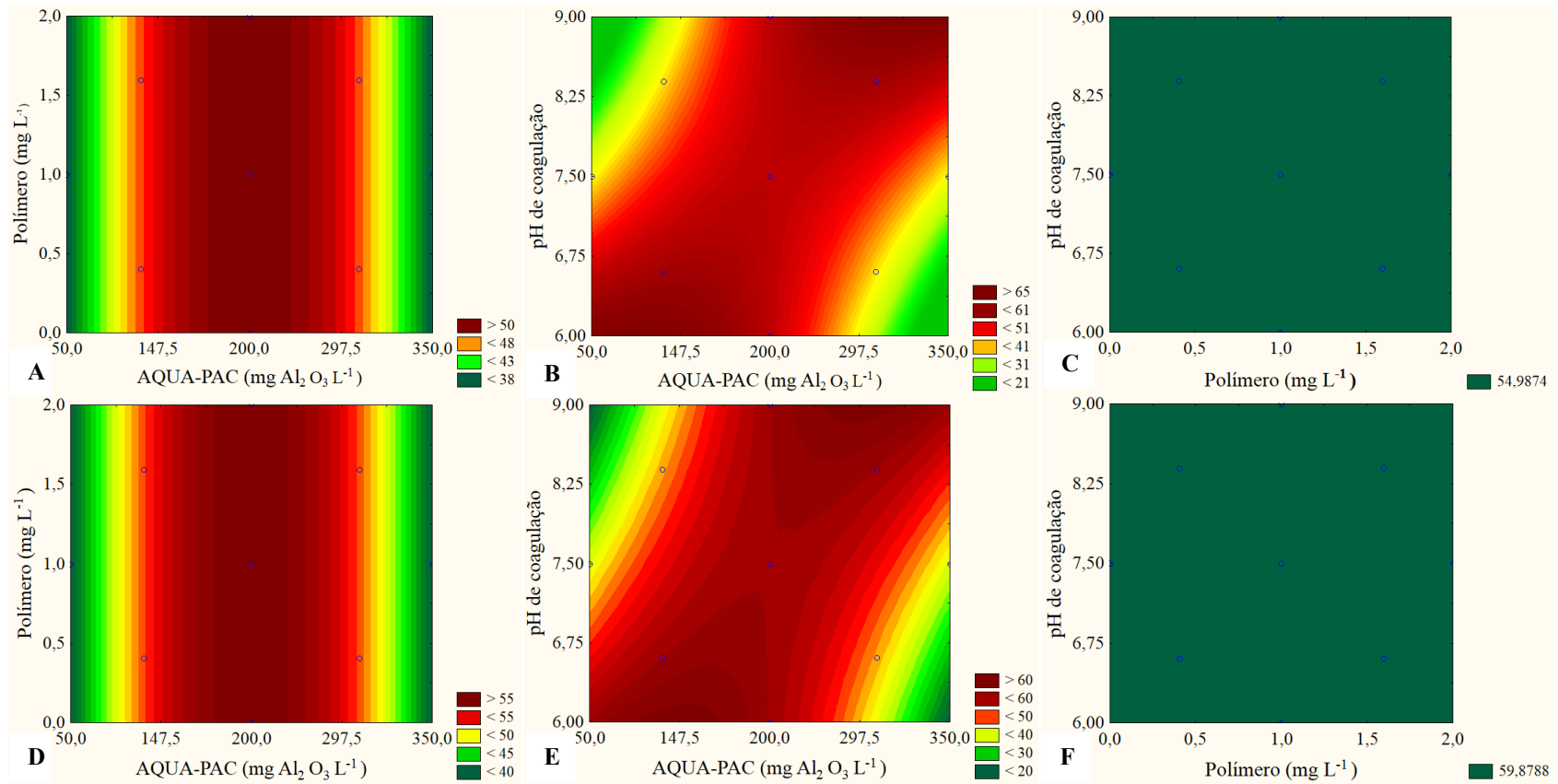


Figura 7. Gráficos de curvas de contorno dos ensaios com AQUA-PAC. Eficiências de remoção de DQO (%) A), B) e C) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. D), E) e F) Taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Com fatores reparametrizados

A condutividade elétrica do efluente após tratamento com ambos os coagulantes apresentou uma variação ao longo dos ensaios, entretanto ao se variar a taxa de aplicação não ocorreu uma variação significativa deste parâmetro (Figuras 8). Para o tratamento com o coagulante AQUAFLOC/LS, de modo geral ocorreu uma redução da condutividade elétrica na maioria dos ensaios, como verificado na Figura 8-A. Entretanto, com a utilização do AQUA-PAC a condutividade elétrica do efluente sofreu um aumento, como verificado pelo gráfico da Figura 8-B.

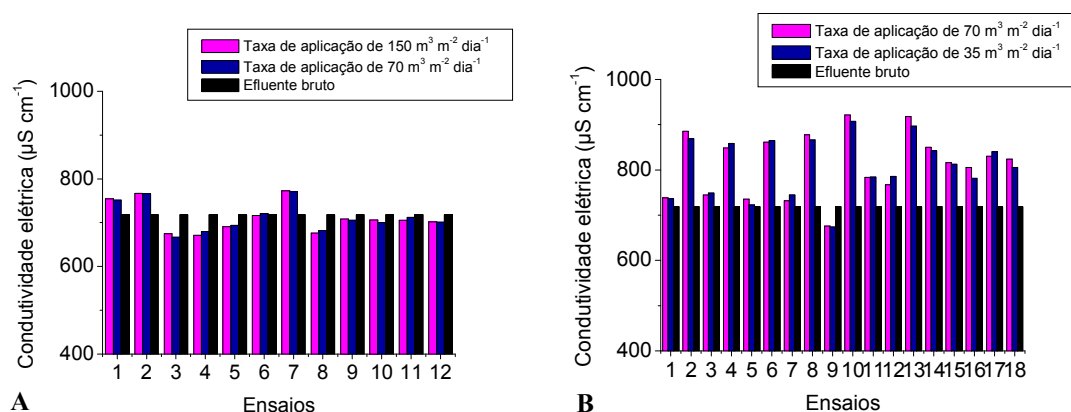


Figura 8. Variação da condutividade elétrica do efluente combinado após tratamento via A) CFF₁ e B) CFF₂

Com relação ao pH do efluente após o tratamento, ao se empregar o coagulante AQUAFLOC/LS este não sofreu uma variação significativa (Figura 9-A), como esperado, pois devido a sua composição natural, os coagulantes à base de tanino não precipitam sais ou íons no meio, uma vez que não possuem metais em sua estrutura molecular, não consumindo desta forma, a alcalinidade da solução (THAKUR et al., 2014).

Entretanto, ao se empregar o coagulante AQUA-PAC, o pH do efluente sofreu um decaimento significativo, chegando a atingir valores de pH inferiores a 5,00 (Figura 9-B), sendo necessária a correção deste após o tratamento.

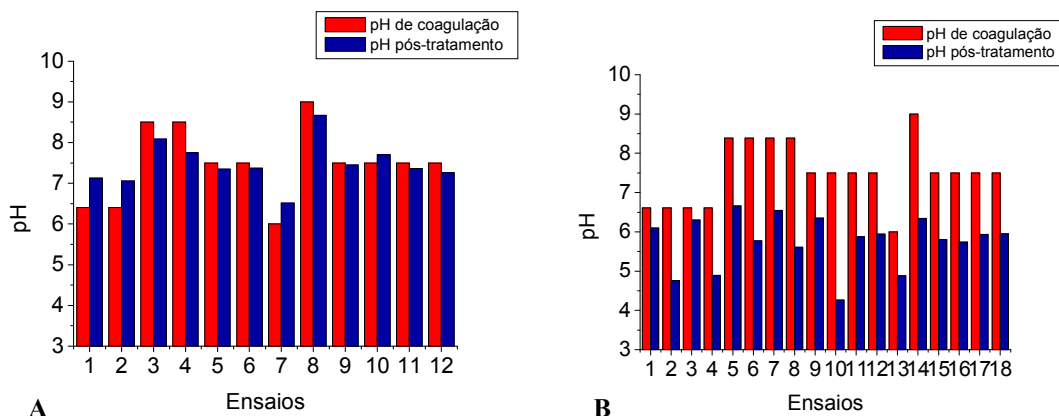


Figura 9. Variação do pH do efluente combinado após tratamento via A) CFF₁ e B) CFF₂

Em geral, ao se empregar os tratamentos CFF₁ e CFF₂, a eficiência na remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez e DQO foram significativas, entretanto, em ambos os tratamentos o efluente obtido não apresentou características passíveis de ser reutilizado no setor de lavagem veicular, de acordo com as recomendações de ANA/FIESP e SINDUSCON-SP (2005) e da Resolução NBR n° 13.969/1997.

De acordo com os ensaios de tratabilidade, os maiores eficiências de remoção dos parâmetros analisados ocorreram nas taxas de aplicação superficial de 70 e 35 m³ m⁻² dia⁻¹, correspondendo aos ensaios CFF₁ e CFF₂, respectivamente. A faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS considerada foi de 220 a 260 mg L⁻¹, independente do valor de pH de coagulação. As faixas de concentração do coagulante AQUA-PAC foram de 50 a 200 mg Al₂ O₃ L⁻¹ com pH de coagulação de 6,00 a 7,50 e entre 200 a 320 mg Al₂ O₃ L⁻¹ com pH de coagulação de 8,30 a 9,00. O polímero empregado não influenciou significativamente no tratamento deste efluente.

3.2.1 Modelos Matemáticos

3.2.1.1 Validação dos modelos matemáticos gerados pelos ensaios CFF₁

Os modelos matemáticos gerados para a variável resposta remoção de cor aparente estão representados pelas Equações (1) e (2) para as taxas de 150 e 70 m³ m⁻²

dia⁻¹, respectivamente. Estes foram reparametrizados a partir das variáveis independentes significativas.

$$\text{Remoção de cor (\%)} = -37,02 + x_1 - 0,0025 x_1^2 \quad (1)$$

$$\text{Remoção de cor (\%)} = -80,00 + 1,41 x_1 - 0,0029 x_1^2 \quad (2)$$

Onde x_1 representa a concentração do coagulante AQUAFLOC/LS em mg L⁻¹ e x_2 o pH de coagulação.

A variável independente que influenciou significativamente na remoção da cor ao se aplicar a taxa de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ foi à concentração quadrática (Q) do coagulante. Enquanto que para a taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹ foram a concentração linear (L) e quadrática (Q) do coagulante, como verificado pelos gráficos de Pareto representados na Figura 10.

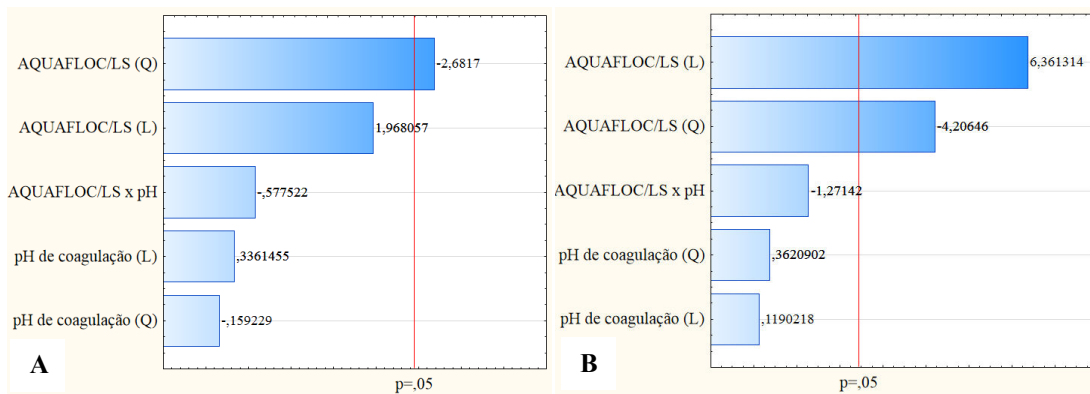


Figura 10. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de cor aparente empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

O modelo matemático representando a variável remoção de turbidez ao se empregar a taxa de aplicação superficial de 70 m³ m⁻² dia⁻¹ é descrito pela Equação (3). As variáveis independentes que influenciaram significativa na remoção deste parâmetro foram a concentração linear (L) e quadrática (Q) do coagulante AQUAFLOC/LS, como verificado pelo gráfico de Pareto da Figura 11-B. Nenhuma variável influenciou na remoção deste parâmetro ao se empregar a taxa de aplicação superficial de 150 m³ m⁻² dia⁻¹, como verificado pelo gráfico de Pareto da Figura 11-A, onde todas as variáveis significativas apresentaram os efeitos padrões estimados à esquerda da linha divisória (p = 0,05).

$$\text{Remoção de turbidez (\%)} = -76,49 + 1,37 x_1 - 0,0029 x_1^2 \quad (3)$$

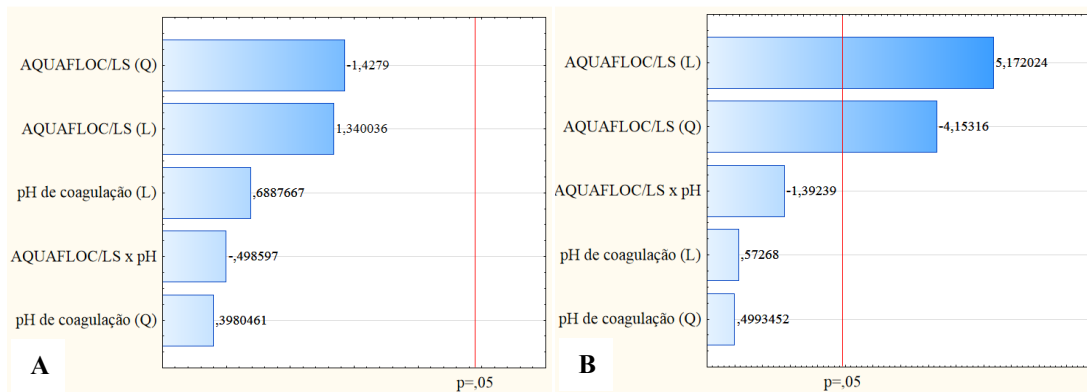


Figura 11. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de turbidez empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

De acordo com o gráfico de Pareto (Figura 12-A), nenhuma variável independente influenciou estaticamente na redução do parâmetro DQO ao se empregar a taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, onde todas as variáveis significativas apresentaram os efeitos padrões estimados à esquerda da linha divisória ($p = 0,05$).

O modelo matemático que corresponde a variável resposta redução de DQO na taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ é representado pela Equação (4). As variáveis independentes que influenciaram significativamente na redução do parâmetro foram concentração linear (L) e quadrática (Q) do coagulante (Figura 12-B).

$$\text{Redução de DQO (\%)} = -36,79 + 0,709 x_1 - 0,0015 x_1^2 \quad (4)$$

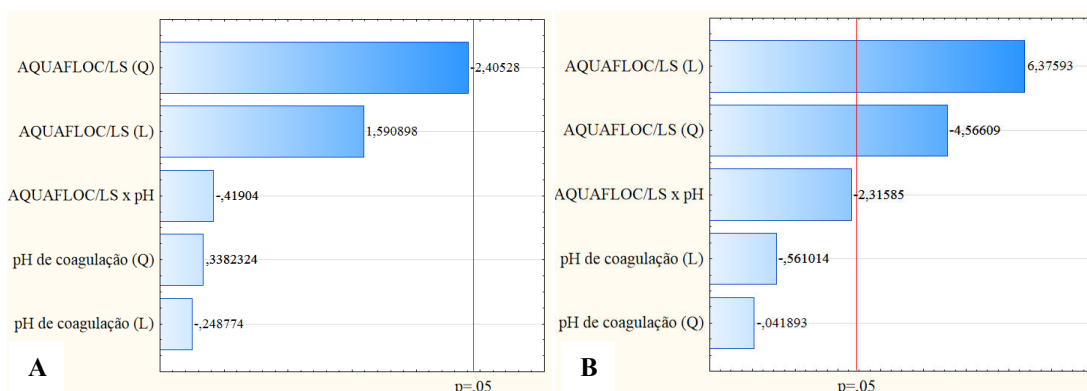


Figura 12. Gráficos de Pareto para a variável resposta redução de DQO empregando o coagulante AQUAFLOC/LS. A) Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

As análises de variância (ANOVA) ao nível de 95% de confiança correspondentes aos modelos matemáticos que representam as variáveis respostas na taxa de aplicação $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, indicam que as variações explicadas ($R^2 > 0,84$) e o F calculado são significativos ($p < 0,001$) (Tabela 10). Entretanto, os modelos matemáticos representando as variáveis respostas remoção de turbidez e redução de DQO ao se empregar a taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ não foram representativos, onde o F calculado não foi significativo ($p > 0,05$).

Tabela 10. Análise de variância (ANOVA) por regressão aplicada as variáveis resposta remoção de cor, turbidez e DQO para os ensaios CFF₁

Variável resposta		gl	SQ	MQ	F-valor	p	R ²
Cor - taxa $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ dia^{-1}	Regressão	1	1056,01	1056,01	6,85	0,025742	0,41
	Resíduo	10	1542,24	154,22			
	Total	11	2598,25				
Cor - taxa $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ dia^{-1}	Regressão	2	4332,55	2166,27	35,04	0,000057	0,89
	Resíduo	9	556,37	61,82			
	Total	11	4888,92				
Turbidez - taxa 150 m^3 $\text{m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	Regressão	5	785,17	157,03	0,99	0,494854	0,45
	Resíduo	6	953,75	158,96			
	Total	11	1738,92				
Turbidez - taxa 70 m^3 $\text{m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	Regressão	2	3401,77	1700,88	23,65	0,000261	0,84
	Resíduo	9	647,15	71,91			
	Total	11	4048,92				
DQO - taxa $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ dia^{-1}	Regressão	5	295,08	59,02	1,76	0,255032	0,59
	Resíduo	6	201,17	33,53			
	Total	11	496,25				
DQO - taxa $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ dia^{-1}	Regressão	2	1017,64	508,82	23,72	0,000258	0,84
	Resíduo	9	193,03	21,45			
	Total	11	1210,67				

gl: Grau de liberdade

SQ: Soma dos quadrados

MQ: Média dos quadrados

Os dados experimentais das variáveis respostas cor aparente, turbidez e DQO ao se aplicar a taxa de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ não se ajustaram adequadamente aos valores previstos pelos modelos matemáticos, como verificados pelas Figuras 13-A, C e E. Não permitindo com que os modelos matemáticos que descrevem tais variáveis fossem representativos.

Os erros de ajuste dos modelos se mostraram independentes e normalmente distribuídos, como verificado pela Figura 14 que mostra uma distribuição aleatória entre

os resíduos padronizados de todos os ensaios, indicando que estes são independentes. Entretanto, foram verificados alguns pontos atípicos, sendo estes os ensaios 3, 5 e 8 (Figura 14), onde existem valores de resíduos elevados fora do intervalo de -2 a 2.

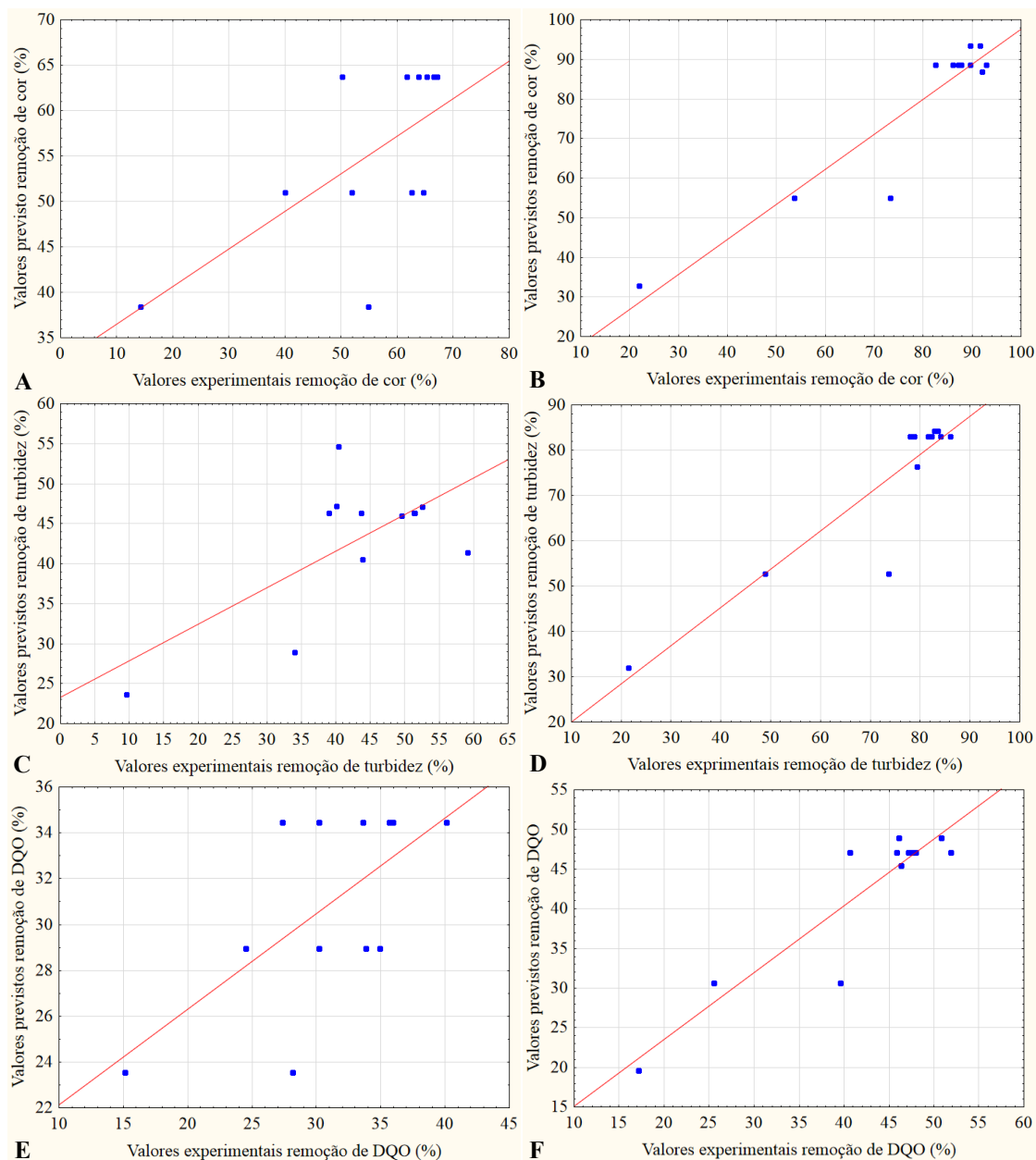


Figura 13. Gráficos dos valores experimentais versus valores previstos dos modelos dos ensaios CFF₁. Cor aparente A) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e B) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. Turbidez C) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e D) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹. DQO E) taxa de aplicação de 150 m³ m⁻² dia⁻¹ e F) taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹

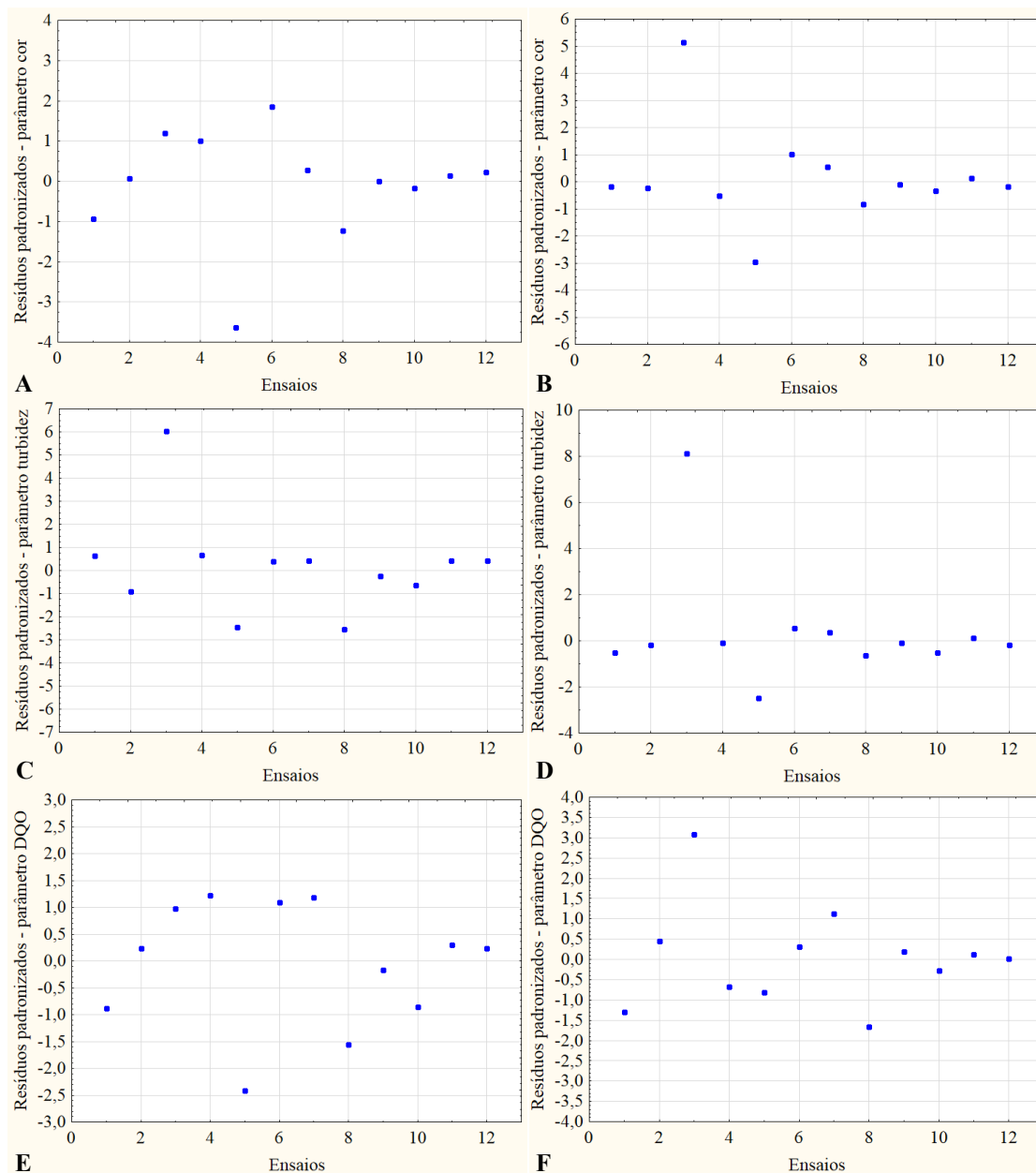


Figura 14. Gráficos dos valores dos resíduos padronizados versus os ensaios dos sistema CFF₁. Cor aparente A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

Apesar destes pontos se caracterizarem como observações atípicas, é possível verificar no gráfico de normalidade da Figura 15, a inexistência de pontos distantes da reta, indicando a normalidade dos resíduos.

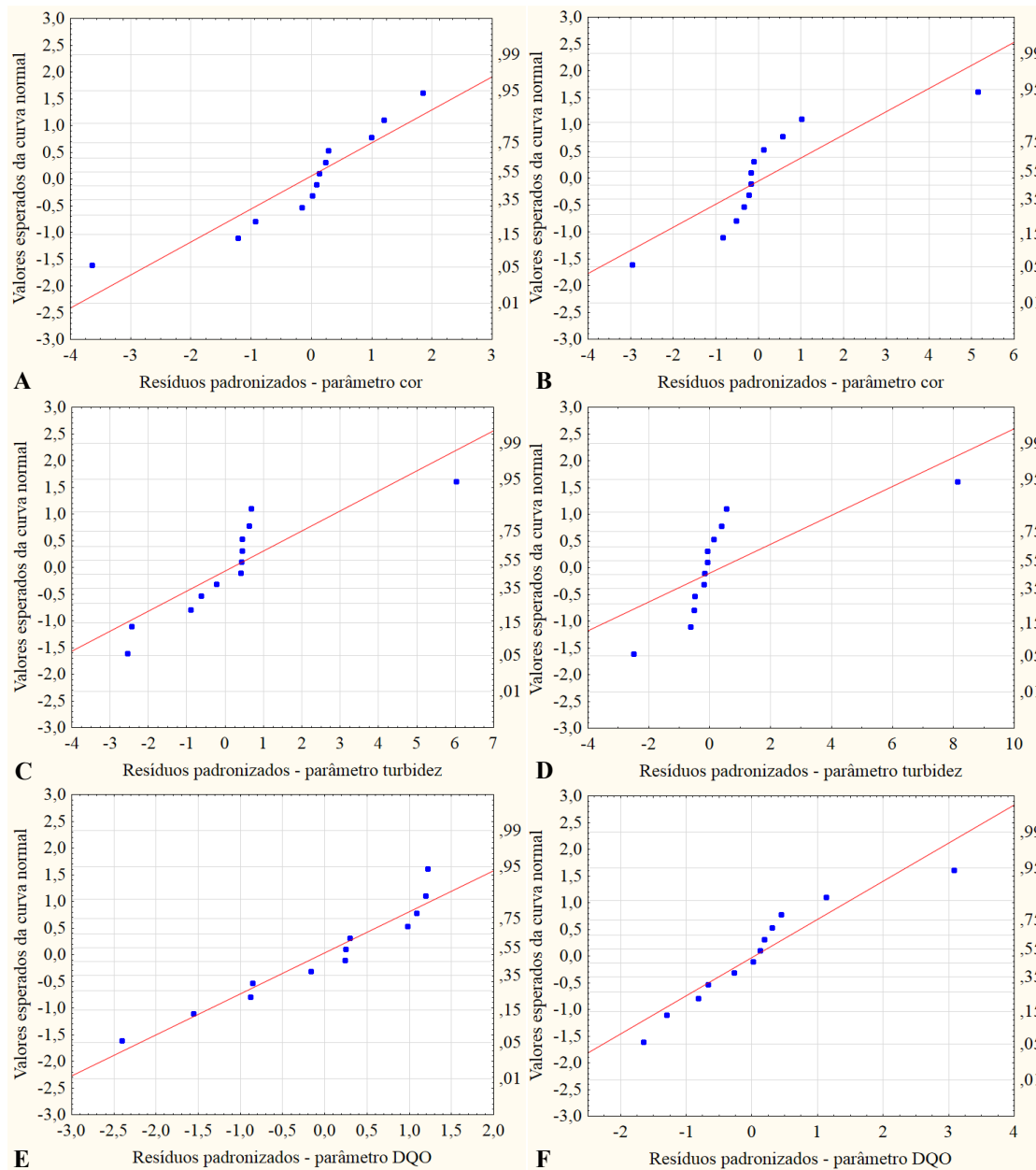


Figura 15. Gráficos de distribuição de normalidade dos resíduos dos ensaios CFF₁. Cor aparente A) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

As pressuposições dos modelos matemáticos representando as variáveis respostas remoção de cor aparente para ambas as taxas de aplicação e remoção de turbidez e DQO para a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ estão satisfeitas e podem ser utilizados.

3.2.1.2 Validação dos modelos matemáticos gerados pelos ensaios CFF₂

Os modelos matemáticos que representam a variável resposta remoção de cor aparente são descritos pelas Equações (5) e (6), para as taxas de aplicação de 70 e 35 m³ m⁻² dia⁻¹, respectivamente.

$$\text{Remoção de cor (\%)} = 543,12 - 1,75 x_1 - 0,00295 x_1^2 - 73,85 x_2 + 0,37 x_1 x_2 \quad (5)$$

$$\text{Remoção de cor (\%)} = 432,2 - 1,17 x_1 - 0,0028 x_1^2 - 55,86 x_2 + 0,28 x_1 x_2 \quad (6)$$

Onde x_1 representa a concentração do coagulante AQUAFLOC/LS em mg L⁻¹ e x_2 o pH de coagulação.

As variáveis independentes que influenciaram significativamente na remoção do parâmetro cor foram as concentrações linear (L) e quadrática (Q) do coagulante AQUA-PAC e a relação entre o coagulante e o pH de coagulação, estas variáveis influenciaram em ambas as taxas de aplicação avaliadas, como verificado pelos gráficos de Pareto apresentados pela Figura 16.

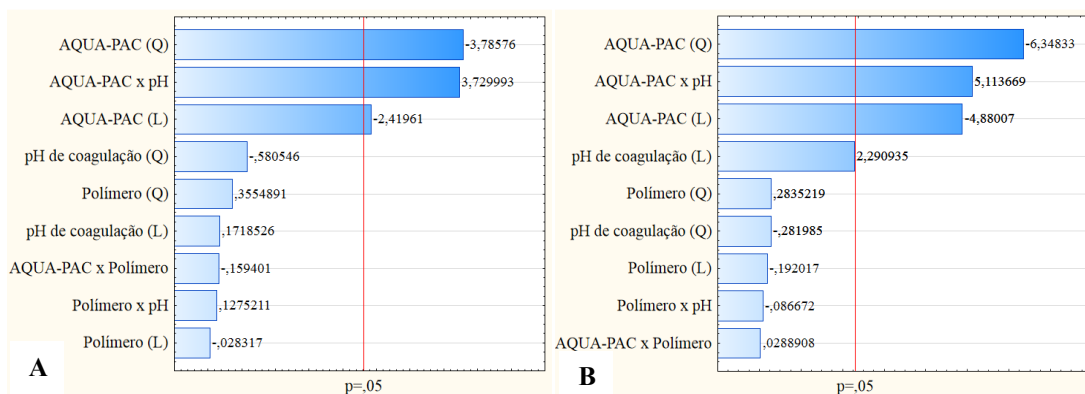


Figura 16. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de cor aparente empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de 70 m³ m⁻² dia⁻¹ e B) Taxa de aplicação de 35 m³ m⁻² dia⁻¹

A variável resposta remoção de turbidez é caracterizada pelos modelos matemáticos representados pelas Equações (7) e (8), correspondendo as taxas de aplicação de 70 e 35 m³ m⁻² dia⁻¹, respectivamente.

$$\text{Remoção de turbidez (\%)} = -205,2 + 3,76 x_1 - 0,0114 x_1^2 \quad (7)$$

$$\text{Remoção de turbidez (\%)} = 588,14 - 1,46 x_1 - 0,0052 x_1^2 - 84,58 x_2 + 0,422 x_1 x_2 \quad (8)$$

As variáveis independentes concentração linear (L) e quadrática (Q) do coagulante influenciaram na remoção da turbidez ao se aplicar a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, enquanto que na taxa de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ as variáveis que influenciaram foram concentrações linear (L) e quadrática do coagulante e a relação entre o coagulante e o pH de coagulação, como verificado na Figura 17.

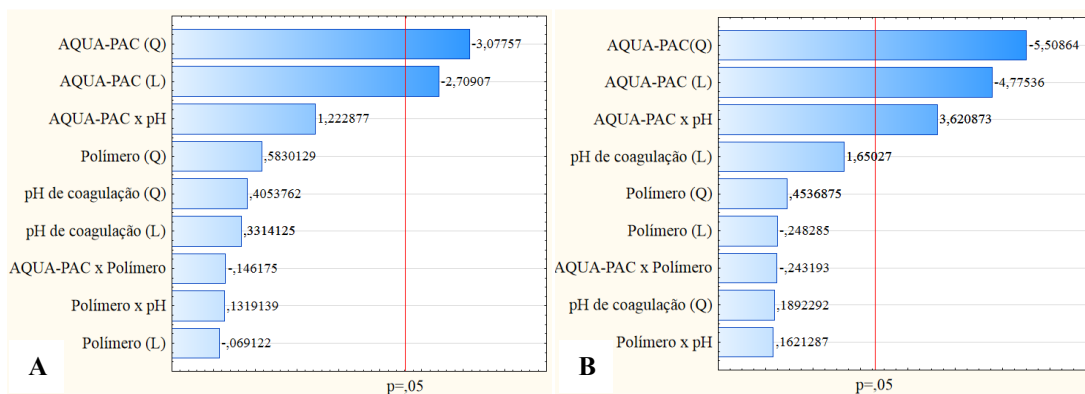


Figura 17. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de turbidez empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

Os modelos que descrevem a variável redução de DQO são representados pelas Equações (9) e (10), correspondendo às taxas de aplicação de 70 e $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, respectivamente.

$$\text{Remoção de DQO (\%)} = 211,96 - 0,62 x_1 - 0,00081 x_1^2 - 25,24 x_2 + 0,126 x_1 x_2 \quad (9)$$

$$\text{Remoção de DQO (\%)} = 163,16 - 0,34 x_1 - 0,0009 x_1^2 - 18,62 x_2 + 0,0929 x_1 x_2 \quad (10)$$

As variáveis independentes concentração linear e quadrática do coagulante AQUA-PAC influenciaram significativamente na redução do parâmetro DQO em ambas as taxas de aplicação (Figura 18).

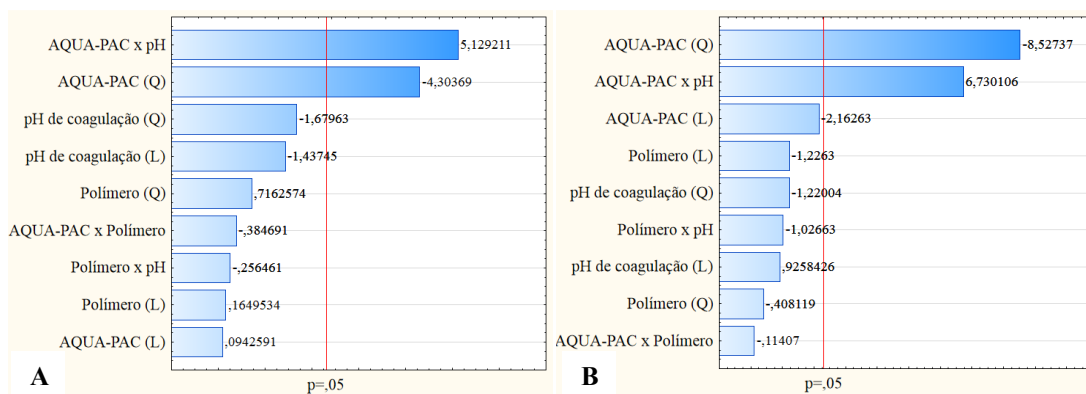


Figura 18. Gráficos de Pareto para a variável resposta remoção de DQO empregando o coagulante AQUA-PAC. A) Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) Taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

As análises de variância (ANOVA) ao nível de 95% de confiança correspondentes aos modelos matemáticos que representam as variáveis resposta, indicam que as variações explicadas ($R^2 > 0,65$) e o F calculado são significativos ($p < 0,001$) (Tabela 11).

Tabela 11. Análise de variância (ANOVA) por regressão aplicada as variáveis resposta remoção e redução de cor, turbidez e DQO para os ensaios CFF₂

Variável resposta		gl	SQ	MQ	F-valor	p	R ²
Cor - taxa $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ dia^{-1}	Regressão	3	17180,32	5726,77	18,69	0,000036	0,80
	Resíduo	14	4289,96	306,43			
	Total	17	21470,29				
Cor - taxa $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ dia^{-1}	Regressão	3	13983,44	4661,15	31,96	0,000001	0,87
	Resíduo	14	2041,90	145,85			
	Total	17	16025,34				
Turbidez - taxa 70 m^3 $\text{m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (%)	Regressão	2	184288,05	92144,02	13,95	0,000378	0,65
	Resíduo	15	99072,02	6604,80			
	Total	17	283360,07				
Turbidez - taxa 35 m^3 $\text{m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$	Regressão	3	47904,37	15968,12	29,32	0,000002	0,86
	Resíduo	14	7625,88	544,71			
	Total	17	55530,25				
DQO - taxa $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ dia^{-1}	Regressão	2	1340,58	670,29	23,04	0,000026	0,75
	Resíduo	15	436,48	29,10			
	Total	17	1777,07				
DQO - taxa $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2}$ dia^{-1}	Regressão	2	1133,50	566,75	45,69	0,0000004	0,86
	Resíduo	15	186,07	12,40			
	Total	17	1319,57				

gl: Grau de liberdade

SQ: Soma dos quadrados

MQ: Média dos quadrados

Os dados experimentais das variáveis resposta cor aparente e turbidez ao se empregar a taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e os dados experimentais da DQO para as taxas aplicadas não se ajustaram adequadamente aos valores previstos pelos modelos matemáticos, apresentando pontos distantes da reta, como verificados pela Figuras 19-A, C, E e F.

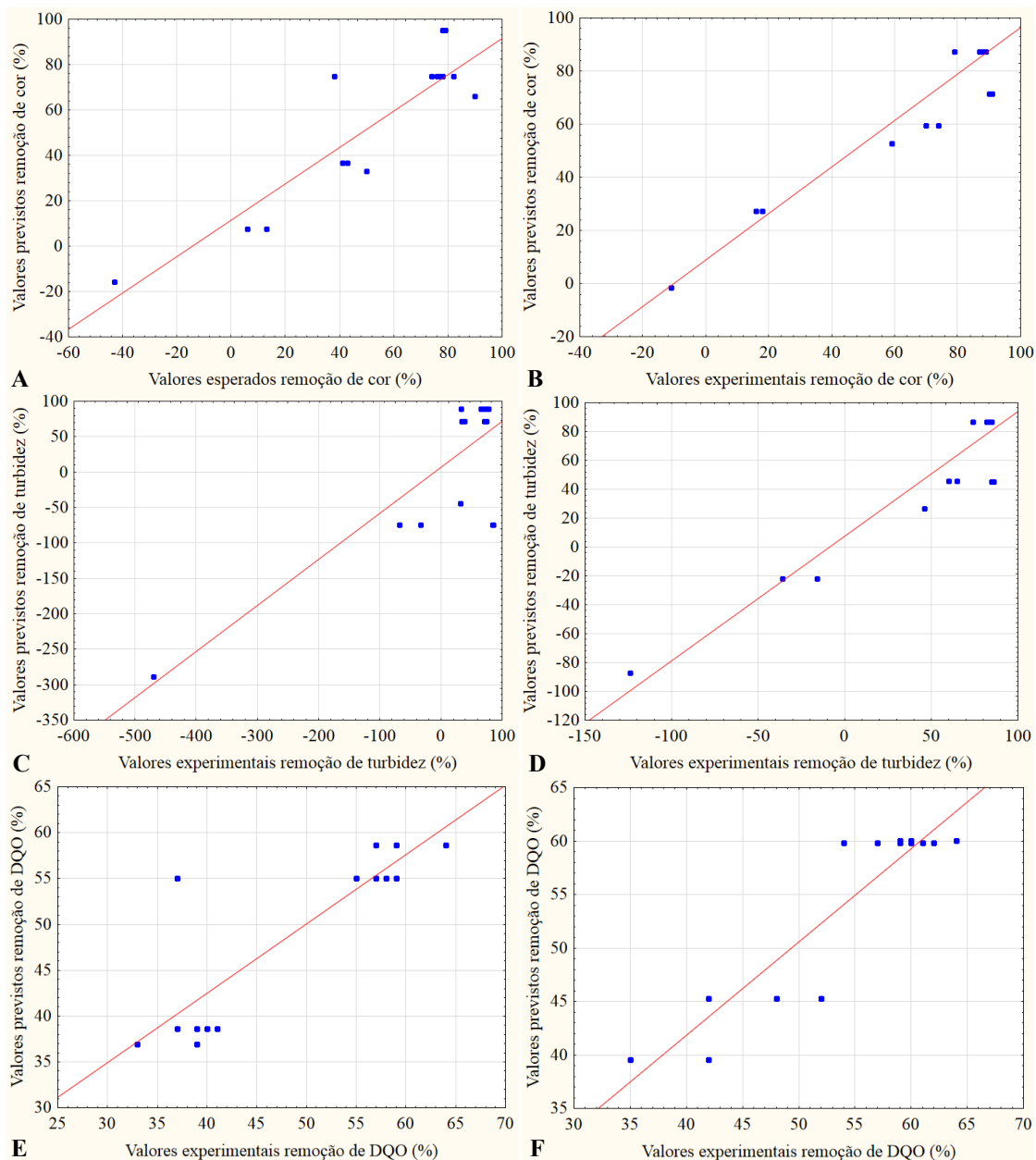


Figura 19. Gráficos dos valores experimentais versus valores previstos dos modelos dos ensaios CFF₂. Cor aparente A) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

Os erros de ajustamento dos modelos se mostraram independentes e normalmente distribuídos, como verificado pela Figura 20 que mostra uma distribuição

aleatória entre os resíduos padronizados de todos os ensaios, indicando que estes são independentes. Entretanto, foram verificados alguns pontos atípicos, com valores de resíduos fora do intervalo de -2 e 2, sendo os ensaios 10 e 14 com relação ao parâmetro cor na taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; ensaio 6 para o parâmetro cor na taxa de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$; ensaios 6, 8 e 10 para o parâmetro turbidez em ambas as taxas de aplicação; ensaio 14 para o parâmetro DQO na taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e o ensaio 5 para o parâmetro DQO na taxa de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

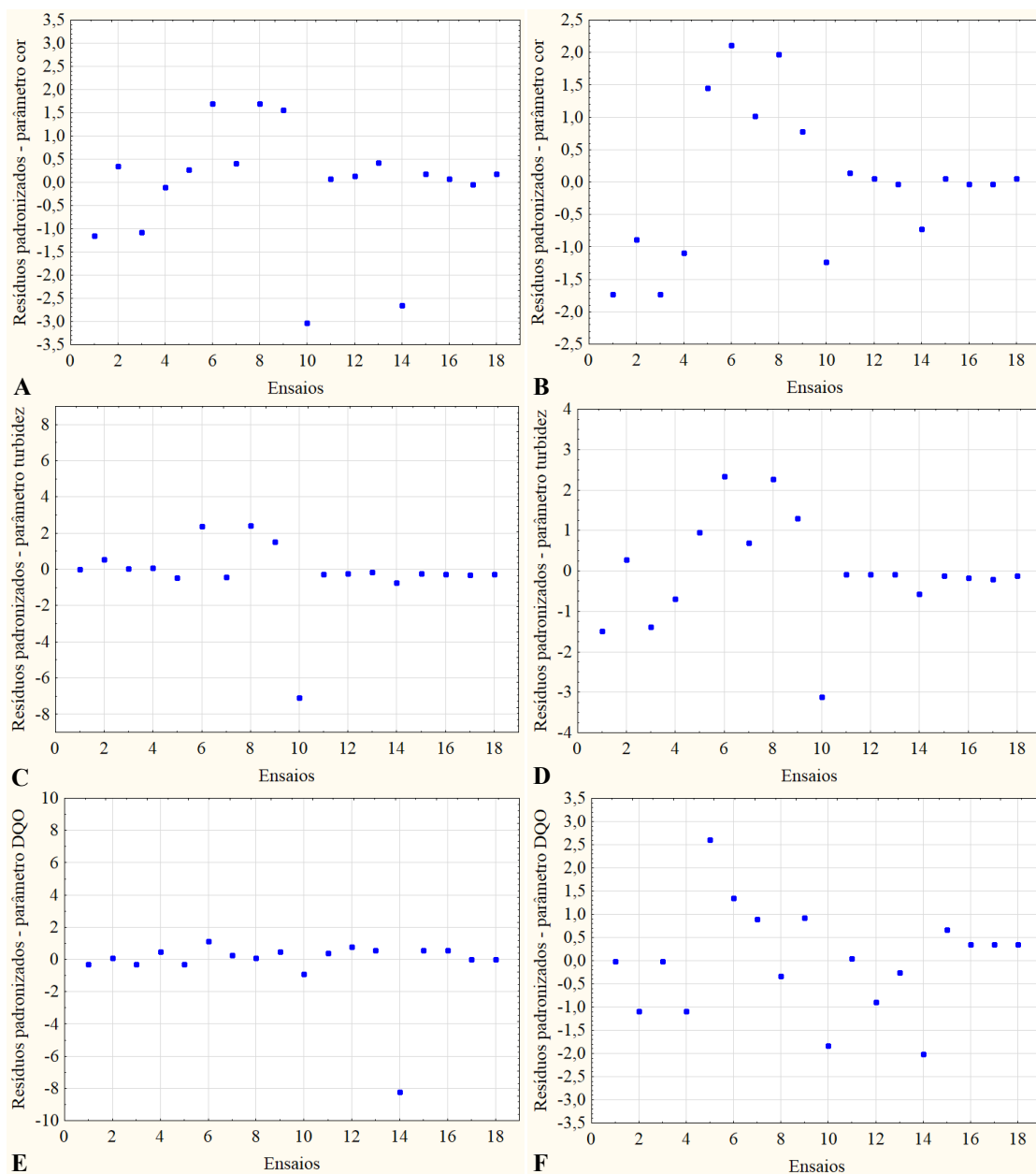


Figura 20. Gráficos dos valores dos resíduos padronizados versus os ensaios do sistema CFF₂. Cor aparente A) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Nos gráficos representando a normalidade dos resíduos padronizados (Figura 21) é possível verificar alguns pontos distantes da reta normal que representam as variáveis turbidez e DQO na taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, entretanto, os resíduos apresentam normalidade.

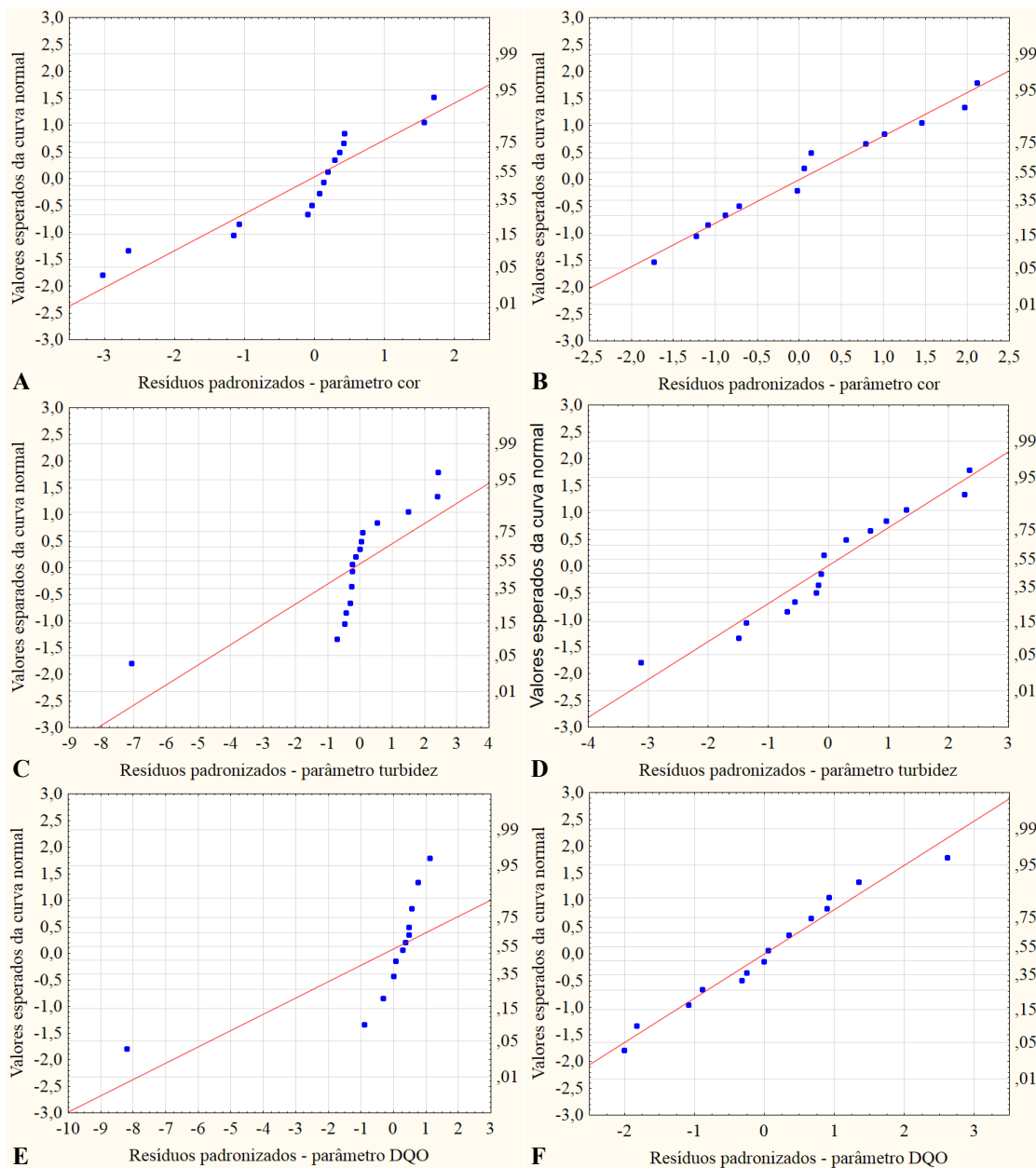


Figura 21. Gráficos de distribuição de normalidade dos resíduos dos ensaios CFF₂. Cor aparente A) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e B) taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Turbidez C) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e D) taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. DQO E) taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ e F) taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

Levando-se em consideração todos os pontos abordados, é possível considerar que as pressuposições dos modelos matemáticos estão satisfeitas e estes podem ser utilizados. No entanto, os modelos que representam as variáveis resposta remoção de

turbidez e redução DQO para a taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ apresentaram coeficientes de determinação baixos, indicando mal ajustamento dos dados.

3.2.2 Ensaio nas Condições Otimizadas de Coagulação

Pelos ensaios realizados na seção 3.2, foram determinadas faixas de valores das variáveis independentes consideradas ótimas para a remoção dos parâmetros analisados.

A faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS foi de 220 a 260 mg L^{-1} independente do valor do pH de coagulação. Enquanto que as faixas de concentrações do coagulante AQUA-PAC foram de 50 a 200 $\text{mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ com pH de coagulação de 6,00 a 7,50 e de 200 a 320 $\text{mg Al}_2\text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ com pH de coagulação de 8,30 a 9,00.

A concentração do coagulante AQUAFLOC/LS avaliada como ponto ótimo foi de 250 mg L^{-1} com pH de coagulação de 7,00. Este ponto foi determinado pelos gráficos de curva de contorno e pelos modelos matemáticos gerados pelo método do DCCR.

As características físico-químicas do efluente após o tratamento com o coagulante AQUAFLOC/LS e as eficiências de remoção dos parâmetros analisados estão descritas na Tabela 12.

Tabela 12. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições ótimas de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e pH de coagulação

Parâmetros	Efluente bruto	Ensaio		Eficiências (%)		Limite admissível para reúso*
		T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	
DQO ($\text{mg O}_2 \text{ L}^{-1}$)	250	192	129	23	48	-
ST (mg L^{-1})	520	462	345	11	34	-
STV (mg L^{-1})	143	231	238	-62	-67	-
STF (mg L^{-1})	377	231	108	39	71	-
SST (mg L^{-1})	85	67	28	21	68	≤ 5
SSV (mg L^{-1})	50	38	28	25	45	-
SSF (mg L^{-1})	35	30	nd	14	100	-
SDT (mg L^{-1})	435	395	318	9	27	≤ 500
SDV (mg L^{-1})	93	194	211	-109	-128	-
SDF (mg L^{-1})	342	201	107	41	69	-
N-NTK (mg N-NTK L^{-1})	7,0	7,8	7,6	-12	-8	-
Nitrogênio amoniacal ($\text{mg N-NH}_3 \text{ L}^{-1}$)	0,7	3,9	3,4	-475	-408	$\leq 20,0$
Nitrato ($\text{mg N-NO}_3^- \text{ L}^{-1}$)	0,48	0,29	0,27	40	44	$< 10,0$
Fósforo total ($\text{mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$)	0,13	0,10	0,09	26	31	$\leq 0,1$
Surfactantes (mg L^{-1})	5,7	5,0	5,2	11	9	$\leq 0,5$

Tabela 12. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições ótimas de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS e pH de coagulação

(Continuação)

Parâmetros	Efluente bruto	Ensaio		Eficiências		Limite admissível para reúso*
		T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	649,3	668,2	672,2	-	-	-
Turbidez (UNT)	40,6	22,7	5,6	44	86	2,0 a 5,0
Cor aparente (UH)	166	73	10	56	89	≤ 10
pH	8,86	6,9	6,9	-	-	6,00 a 9,00

T₁: Taxa de aplicação de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

T₂: Taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$

nd: Não detectado

Fonte: *ANA/FIESP e SINDUSCON-SP (2005) e da NBR n° 13.969/1997

O tratamento apresentou baixa eficiência na remoção de alguns parâmetros analisados, tais como DQO, sólidos totais, sólidos dissolvidos, nitrogênio, fósforo e surfactantes. Entretanto, ao se empregar a taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ obteve-se uma significativa eficiência na remoção dos parâmetros cor aparente, turbidez, sólidos suspensos e sólidos fixos.

A eficiência de remoção de turbidez foi de 86%, de cor aparente 89% e de DQO de 48% ao se empregar a taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$, apresentando turbidez residual de 5,6 UNT, cor residual de 10 UH e DQO de $129 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (Tabela 12), que atendem os limites especificados para reúso.

A máxima eficiência na remoção dos sólidos totais foi de 34%, a eficiência na remoção dos sólidos suspensos foi de 68% e dos sólidos dissolvidos de 27% (Tabela 12) com a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. O efluente tratado atendeu apenas o valor máximo estabelecido para os sólidos dissolvidos (Tabela 12).

A concentração do nitrogênio na forma amoniacal sofreu um aumento considerável, a concentração residual deste parâmetro no efluente ao se aplicar a taxa de $150 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi de $3,9 \text{ mg N-NH}_3 \text{ L}^{-1}$, na taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ foi de $3,4 \text{ mg N-NH}_3 \text{ L}^{-1}$ (Tabela 12). A concentração residual deste parâmetro não ultrapassou a concentração padrão estabelecida para reúso, conforme verificado na Tabela 12.

Ao se empregar a dosagem estabelecida do AQUAFLOC/LS, a eficiência na remoção do surfactante foi significativamente baixa, com concentração residual de $5,0 \text{ mg L}^{-1}$ ao se empregar a taxa de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

A maior eficiência na remoção de fósforo foi de 31%, obtendo-se um efluente com um valor residual de $0,09 \text{ mg PO}_4 \text{ L}^{-1}$ para a taxa de aplicação de $70 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

As concentrações do coagulante AQUA-PAC avaliadas como ótimas de acordo com os gráficos de curva de contorno e os modelos matemáticos estão descritas na Tabela 13.

Tabela 13. Pontos considerados ótimos de concentração do coagulante AQUA-PAC e pH de coagulação

Ensaio	Variáveis independentes	
	Coagulante AQUA-PAC (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	pH de coagulação
1	165	6,25
2	250	8,75

Os resultados obtidos a partir do ensaio com este ponto ótimo de concentração do coagulante AQUA-PAC e pH de coagulação estão descritos na Tabela 14 e as eficiências na remoção dos parâmetros avaliados na Tabela 15.

Tabela 14. Caracterização físico-química do efluente após tratamento com as condições ótimas de coagulante AQUA-PAC e do pH de coagulação

Parâmetros	Efluente bruto	Ensaio				Limite admissível para reúso*
		Ensaio 1		Ensaio 2		
		T ₁	T ₂	T ₁	T ₂	
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	250	116	107	173	168	-
ST (mg L ⁻¹)	520	556	202	582	475	-
STV (mg L ⁻¹)	143	222	202	70	80	-
STF (mg L ⁻¹)	377	333	nd	512	395	-
SST (mg L ⁻¹)	85	56	45	195	192	≤ 5
SSV (mg L ⁻¹)	50	56	45	45	42	-
SSF (mg L ⁻¹)	35	nd	nd	150	150	-
SDT (mg L ⁻¹)	435	500	157	387	282	≤ 500
SDV (mg L ⁻¹)	93	167	157	25	37	-
SDF (mg L ⁻¹)	342	333	nd	362,5	42	-
N-NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	7,0	5,9	5,0	5,6	6,7	-
Nitrogênio amoniacal (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	0,7	0,9	0,9	2,0	1,2	≤ 20,0
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,48	0,28	0,28	0,24	0,3	< 10,0
Fósforo total (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	0,13	0,09	0,09	0,09	0,09	≤ 0,1
Surfactantes (mg L ⁻¹)	5,7	2,6	2,5	5,3	5,9	≤ 0,5
Condutividade (μS cm ⁻¹)	649,3	745,5	744,8	737,9	737,1	-
Turbidez (UNT)	40,6	11,9	11,2	69,8	50,9	2,0 a 5,0
Cor aparente (UH)	166	34	25	145	129	≤ 10
pH	8,86	5,39	5,39	5,59	5,59	6,00 a 9,00

T₁: Taxa de aplicação de 70 m³m⁻²dia⁻¹

T₂: Taxa de aplicação de 35 m³m⁻²dia⁻¹

nd: Não detectado

Fonte: *ANA/FIESP e SINDUSCON-SP (2005) e da NBR n° 13.969/1997

Tabela 15. Eficiências dos pontos ótimos de concentração do coagulante AQUA-PAC e do pH de coagulação

Parâmetros	Ensaio			
	Ensaio 1		Ensaio 2	
	T ₁	T ₂	T ₁	T ₂
DQO (%)	54	57	31	33
ST (%)	-7	61	-12	9
STV (%)	-56	-42	51	44
STF (%)	12	100	-36	-5
SST (%)	35	47	-129	-126
SSV (%)	-11	10	10	15
SSF (%)	100	100	-329	-329
SDT (%)	-15	64	11	35
SDV (%)	-80	-70	73	59
SDF (%)	3	100	-6	88
N-NTK (%)	16	28	20	4
Nitrogênio amoniacal (%)	-33	-33	-192	-75
Nitrato (%)	41	42	48	51
Fósforo total (%)	30	28	30	28
Surfactantes (%)	54	57	6	-4
Turbidez (%)	71	72	-72	-25
Cor (%)	80	85	13	22

T₁: Taxa de aplicação de 70 m³m⁻²dia⁻¹

T₂: Taxa de aplicação de 35 m³m⁻²dia⁻¹

De acordo com as análises realizadas, o ponto considerado de maior eficiência foi o ensaio 1 na taxa de aplicação de 35m³ m⁻² dia⁻¹ com uma concentração de AQUA-PAC de 165 mg Al₂ O₃ L⁻¹ e pH de coagulação de 6,25 (Tabela 14).

Nesta dosagem, o sistema apresentou eficiências significativas de remoção dos parâmetros DQO, sólidos, cor aparente e turbidez. A eficiência de remoção da DQO foi de 57% para a taxa de 35 m³ m⁻² dia⁻¹ e os parâmetros cor e turbidez apresentaram uma remoção de 85% e 72%, respectivamente (Tabela 15). A DQO residual foi de 107 mg O₂ L⁻¹, cor aparente residual de 25 UH e turbidez residual de 11,2 UNT (Tabelas 14). Apresentando residual superior ao estabelecido para o reúso de água.

Com relação à série de sólidos, o ponto ótimo promoveu uma remoção de 64% de sólidos dissolvidos e 47% de sólidos suspensos (Tabela 15). O efluente tratado apresentou concentração de sólidos suspensos superior ao valor máximo recomendado, como verificado na Tabela 14.

Após o tratamento ocorreu uma aumento da concentração de nitrogênio amoniacal e redução de 28% e 42% do nitrogênio total e nitrato, respectivamente. As concentrações do nitrogênio amoniacal no efluente bruto e no efluente após o tratamento foram inferiores a 1,0 mg N-NH₃ L⁻¹, não atingindo o valor máximo admissível para o para o reúso.

A remoção de surfactante foi de 57% atingindo um valor residual de $2,5 \text{ mg L}^{-1}$ para a taxa de aplicação de $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Após o tratamento a concentração de fósforo no efluente foi reduzida em 28%, com valor inferior a $0,2 \text{ mg P-PO}_4 \text{ L}^{-1}$. A concentração residual de surfactante e fósforo foi superior ao limite especificado em legislação para águas de reúso.

Ao avaliar as concentrações consideradas otimizadas dos coagulantes AQUAFLOC/LS e AQUA-PAC, verificou-se que o sistema de tratamento CFF não possibilitou a obtenção de um efluente passível de ser reutilizado no setor de lavagem de ônibus da empresa de viação de acordo com as recomendações de ANA/FIESP e SINDUSCON-SP (2005) e da Resolução NBR nº 13.969/1997. Entretanto, o sistema possibilitou uma remoção considerável dos parâmetros cor aparente, turbidez, DQO e sólidos.

3.3 ENSAIOS DE TRATABILIDADE

As dosagens ótimas dos coagulantes e valores ótimos de pH utilizados nos processos para coagulação seguido de floculação foram: 250 mg L^{-1} de AQUAFLOC/LS em pH de coagulação de 7,00 e $165 \text{ mg Al}_2 \text{O}_3 \text{ L}^{-1}$ em pH de coagulação de 6,25. As taxas de aplicação superficial empregadas aos ensaios de flotação por ar dissolvido foram de 70 e $35 \text{ m}^3 \text{ m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$ (vide item 3.2.2).

A caracterização físico-química do efluente bruto e do efluente após o tratamento está descrita na Tabela 16 e as eficiências de remoção dos parâmetros analisados são apresentadas na Tabela 17.

De acordo com os resultados dos ensaios de tratabilidade, verificou-se que o sistema de tratamento via CFF apresentou os menores valores de remoção dos parâmetros físico-químicos quando comparado aos demais sistemas de tratabilidade estudados. Este sistema de tratamento propiciou uma eficiente remoção dos parâmetros cor aparente e turbidez ao se empregar o coagulante AQUAFLOC/LS, atingindo eficiências de 92% e 89%, respectivamente.

Tabela 16. Caracterização físico-química do efluente após ensaios de tratabilidade

Parâmetros	Efluente bruto	CFF ₁	CFF ₂	CFF _{1-F}	CFF _{2-F}	CF _{1-F}	CF _{2-F}	Ensaio de filtração	Limite admissível para reúso*
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	275	113	123	52	50	69	55	97	-
pH	8,70	6,85	5,37	6,13	6,2	5,63	5,97	7,00	6,00 a 9,00
Turbidez (UNT)	62,50	6,57	24,80	4,04	3,66	4,58	7,57	9,28	2,0 a 5,0
Cor (UH)	208	16	68	3	5	4	13	26	≤ 10
Condutividade (μS cm ⁻¹)	569,2	551,7	633,5	360,6	466,9	355,7	123,9	437,7	-
N-amoniaco (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	0,5	1,8	1,3	1,4	0,2	1,7	0,5	0,6	≤ 20,0
NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	7,3	4,5	6	12,9	6	5,6	2,2	6,7	-
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,5	0,48	0,36	0,28	0,29	0,29	0,10	0,42	< 10,0
ST (mg L ⁻¹)	315	435	332	nd	40	272	nd	325	-
SV (mg L ⁻¹)	37	195	57	nd	30	125	nd	170	-
SF (mg L ⁻¹)	277	240	275	nd	10	147	nd	155	-
SST (mg L ⁻¹)	75	12	52	nd	3	nd	nd	12	≤ 5
SSV (mg L ⁻¹)	25	12	52	nd	3	nd	nd	12	-
SSF (mg L ⁻¹)	277	nd	nd	nd	nd	nd	nd	nd	-
SDT (mg L ⁻¹)	240	422	280	nd	37	272	nd	312	≤ 500
SDV (mg L ⁻¹)	12	182	5	nd	27	125	nd	157	-
SDF (mg L ⁻¹)	227	240	275	nd	10	147	nd	155	-
Surfactante (mg L ⁻¹)	30,4	11,8	12,9	2,0	2,6	3,0	1,6	6,6	≤ 0,5
Fósforo (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	0,15	0,09	0,10	0,09	0,09	0,08	0,09	0,12	≤ 0,1

1: Ensaio com o coagulante AQUAFLOC/LS

2: Ensaio com o coagulante AQUA-PAC

nd: Não detectado

Fonte: *ANA/FIESP e SINDUSCON-SP (2005) e da NBR n° 13.969/1997

Tabela 17. Eficiências dos sistemas de tratabilidade

Parâmetros	CFF ₁	CFF ₂	CFF _{1-F}	CFF _{2-F}	CF _{1-F}	CF _{2-F}	Ensaio de filtração
DQO (%)	59	55	81	82	75	80	65
Turbidez (%)	89	60	94	94	93	88	85
Cor (%)	92	67	99	98	98	94	88
N-amoniaco (%)	-267	-156	-178	56	-244	7	-11
NTK (%)	38	23	-77	15	23	69	8
Nitrato (%)	-5	22	39	38	37	77	8
ST (%)	-38	-6	100	87	13	100	-3
SV (%)	-420	-53	100	20	-233	100	-353
SF (%)	14	1	100	96	47	100	44
SST (%)	83	30	100	97	100	100	83
SSV (%)	50	-110	100	90	100	100	50
SSF (%)	100	100	100	100	100	100	100
SDT (%)	-76	-17	100	84	-14	100	-30
SDV (%)	-1360	60	100	-120	-900	100	-1160
SDF (%)	-5	-21	100	96	35	100	32
Surfactante (%)	61	58	93	91	90	95	78
Fósforo (%)	40	31	38	36	43	38	21

1: Ensaio com o coagulante AQUAFLOC/LS

2: Ensaio com o coagulante AQUA-PAC

Rubio e Zaneti (2009) avaliaram um sistema de floculação/flotação em coluna no tratamento de efluente proveniente de lavagem de ônibus. O coagulante empregado foi o Tanfloc SL com concentração de 500 mg L^{-1} , pH de coagulação de 7,00. Por meio deste tratamento, o efluente apresentou uma cor aparente de 62 UH e turbidez de 10 UNT, correspondendo a eficiências de 80% e 95%, respectivamente.

Etchepare et al., (2014), também avaliaram o sistema de floculação/flotação em coluna no tratamento do mesmo efluente, com o coagulante Tanfloc SL na concentração de 1200 mg L^{-1} . O sistema avaliado pelos autores apresentou eficiência na ordem de 91% na remoção do parâmetro turbidez.

Ambos os autores empregaram altas concentrações do coagulante Tanfloc SL no tratamento dos efluentes. Neste estudo, o tratamento CFF₁ ao se aplicar uma dosagem inferior de tanino apresentou eficiências de remoção de cor e turbidez relativamente altas, com exceção do CFF₂. Entretanto, o efluente não apresentou características que permitam a sua reutilização de acordo com os valores máximos admissíveis para reúso descritos na Tabela 16.

Apesar do sistema de filtração em meio granular sob pressão ter apresentado bons resultados com relação à remoção dos parâmetros analisados, este não obteve um efluente com características passíveis de ser reutilizado. Os parâmetros que estão fora de especificação são: turbidez, cor aparente e surfactante, com valores residuais de 9,28 UNT, 26 UH e $6,6 \text{ mg L}^{-1}$, respectivamente.

Ao se empregar a filtração como pós-tratamento do sistema CFF verificou-se um aumento substancial na eficiência de remoção dos parâmetros analisados, principalmente ao se utilizar o coagulante AQUAFLOC/LS (CFF₁-F).

O tratamento por CFF-F proporcionou a obtenção de um efluente com qualidade admissível para o reúso, exceto com relação ao parâmetro surfactante, no qual o valor residual foi de 2,0 a $2,6 \text{ mg L}^{-1}$, porém, as eficiências de remoção foram superiores a 90%.

Zaneti et al., (2011) avaliaram um sistema de floculação/flotação em coluna seguido de pós-tratamento por filtração em areia e cloração. O coagulante Tanfloc SL foi empregado na faixa de concentração de 80 a 350 mg L^{-1} . A eficiência na remoção de surfactante foi de 43%, valor inferior ao obtido pelo sistema CFF-F empregado neste estudo.

O sistema de tratabilidade por CFF₁-F, permitiu a obtenção de um efluente livre de sólidos, influenciando na condutividade elétrica do efluente, que atingiu um

valor de $360,6 \mu\text{S cm}^{-1}$. Os residuais de cor aparente, turbidez e DQO foram de 3 UH, 4,04 UNT e $52 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, respectivamente.

O sistema CFF₂-F possibilitou uma remoção considerável de sólidos do efluente, atendendo as recomendações para águas de reúso. Os valores residuais de cor aparente, turbidez e DQO foram de 5 UH, 3,66 NTU e $50 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$, respectivamente, valores próximos aos obtidos pelo tratamento CFF₁-F.

O sistema avaliado por Zaneti et al., (2011) resultou em uma remoção de 63% da concentração de DQO e 91% de turbidez, obtendo uma concentração residual média de $71 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ de DQO e 15,0 UNT de turbidez.

As concentrações residuais das séries de nitrogênio nos efluentes tratados por CFF-F estão de acordo com os valores máximos admissíveis. Entretanto, ao se empregar o coagulante a base de tanino, observou-se um pequeno aumento da concentração do nitrogênio amoniacal e do nitrogênio total, isto em virtude do tanino ser um composto orgânico.

O sistema de CF-F apresentou eficiências de remoção superiores aos obtidos pelo sistema de tratamento por CFF.

O tratamento por CF₁-F apresentou uma cor aparente residual de 4 UH e uma turbidez de 4,58 UNT (Tabela 16). A eficiência do tratamento CF₁-F na remoção de matéria orgânica foi de 75%, correspondendo a concentração de DQO residual de $69 \text{ mg O}_2 \text{ L}^{-1}$ (Tabelas 16 e 17).

O tratamento por CF₂-F resultou na obtenção de um efluente sem residual de sólidos e com uma condutividade elétrica de $123,9 \mu\text{S cm}^{-1}$. Ao se empregar o AQUAFLOC/LS, o tratamento CF₁-F não apresentou sólidos em suspensão, porém, houve um aumento da concentração de sólidos dissolvidos com valor menor que o descrito na especificação para reúso. A condutividade elétrica após tratamento com AQUAFLOC/LS foi de $355,7 \mu\text{S cm}^{-1}$ (Tabela 16).

Com relação ao parâmetro nitrogênio, ocorreu um pequeno aumento da concentração de nitrogênio na forma amoniacal no efluente após o tratamento por CF₁-F. As concentrações deste ao se empregar ambos os coagulantes foram inferiores ao estabelecido para reúso, assim como o parâmetro nitrato (Tabela 16).

O pH do efluente após o tratamento pelos sistemas avaliados estão de acordo com as recomendações descrita para a realização do reúso, não apresentando a necessidade de promover a sua correção.

Como verificado nos ensaios de tratabilidade avaliados, os sistemas de CFF₁-F e CF₁-F possibilitaram a obtenção de um efluente com características que permitem a sua reutilização, exceto com relação ao parâmetro surfactante.

Uma solução para o surfactante seria a realização de estudos relativos ao seu impacto na lavagem de veículos em concentração acima do estabelecido por norma. Outra solução seria a diluição de águas de reúso tratado com água subterrânea ou água da chuva para reutilizá-la na lavagem de veículos. Ainda segundo recomendações de Metcalf e Eddy (2003), a água de enxágue final dos veículos deveria ser realizada com água de melhor qualidade, visando à remoção de sais dissolvidos provenientes do reúso.

No sistema de CF-F, a concentração do coagulante analisado, no caso o AQUAFLOC/LS, poderia ser reduzida a partir de novos ensaios visando avaliar o efeito da redução da concentração do coagulante na eficiência do sistema de tratamento.

4 CONCLUSÕES

Por meio do desenvolvimento deste trabalho, verificou-se que os efluentes provenientes dos setores de lavagem de ônibus e da lavanderia apresentam uma grande variabilidade de suas características físico-químicas com uma alta carga orgânica, alta concentração de sólidos dissolvidos e surfactantes e uma elevada condutividade elétrica.

Pelo método DCCR aplicado aos ensaios de CFF, determinou-se a faixa ótima de concentração dos coagulantes avaliados no tratamento dos efluentes produzidos pela empresa. A faixa de concentração do coagulante AQUAFLOC/LS que apresentou maior eficiência no tratamento foi de 220 a 260 mg L⁻¹ independente do valor do pH de coagulação. As faixas de concentrações do coagulante AQUA-PAC foram de 50 a 200 mg Al₂O₃ L⁻¹ com pH de coagulação de 6,00 a 7,50 e de 200 a 320 mg Al₂O₃ L⁻¹ com pH de coagulação de 8,30 a 9,00. O polímero utilizado não influenciou significativamente na remoção e redução dos parâmetros analisados.

Para o ensaio CFF₁ a concentração do coagulante AQUAFLOC/LS determinada como ponto ótimo foi de 250 mg L⁻¹ com pH de coagulação de 7,00, para o ensaio CFF₂ a concentração do coagulante AQUA-PAC considerada ótima foi de 165 mg Al₂O₃ L⁻¹ com pH de coagulação de 6,25. Ao se empregar o coagulante AQUAFLOC/LS obteve-se uma maior eficiência com relação à remoção de cor aparente, turbidez e sólidos suspensos, na ordem de 86%, 89% e 69%, respectivamente. Apresentando residual de cor aparentes de 16 UH, turbidez de 6,57 UNT e sólidos suspensos de 12 mg L⁻¹.

Dentre os sistemas de tratabilidade avaliados, verificou-se que os maiores valores de remoção dos parâmetros analisados ocorreram para os sistemas de CFF₁-F e de CF₁-F. Ambos os sistemas foram eficientes, promovendo a remoção de DQO de 75% a 81%, turbidez de 93% a 94%, sólidos suspensos de 100% e surfactantes de 90% a 93%. Apresentando um efluente com residual de DQO de 52 e 69 mg O₂ L⁻¹, turbidez de 4,0 a 5,0 UNT e surfactantes de 2,0 a 3,0 mg L⁻¹. O sistema de filtração possibilitou um polimento do efluente, possibilitando uma maior eficiência na redução da DQO e de surfactantes.

5 RECOMENDAÇÕES

As principais recomendações originadas deste estudo são:

- O polímero aniônico empregado nos ensaios de CFF₂ da seção 3.2 não influenciou significativamente na remoção dos parâmetros analisados, este foi empregado nos ensaios pelo fato de ser utilizado na empresa de transporte de ônibus, entretanto para futuros trabalhos, seria interessante avaliar outros polímeros no tratamento deste efluente.
- Novos ensaios de CF-F poderiam ser realizados visando identificar novas dosagens do coagulante, para verificar uma possível redução de sua dosagem.
- O lodo gerado nos ensaios de tratabilidade via CFF não foi analisado quanto suas características físico-químicas. Recomenda-se que para futuros trabalhos este seja analisado, visando determinar suas características, volume gerado a partir do tratamento por determinados coagulantes e assim, verificar a sua melhor disposição final.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR 10339/1988 – Projeto e execução de piscina – Sistema de recirculação e tratamento. Rio de Janeiro, 1988.

ABNT. Associação Brasileira de Normas Técnicas. NBR nº13.969/1997 - Tanques Sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. Rio de Janeiro, 1997.

AHMAD, J.; EL-DESSOUKY, H. Design of a modified low cost treatment system for the recycling and reuse of laundry wastewater. **Resource, Conservation and Recycling**. n.52, p.973-978. 2008.

AISSE, M. M.; JÜRGENSEN, D. ; REALI, M. A. P.; et al. Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios por Sistemas de Aeração. In: CHERNICHARO, C. A. L.; **Pós-tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. FINEP/PROSAB, 2001.544 p.

ANA/FIESP/SINDUSCON-SP – Agência Nacional das Águas/Federação das Indústrias do Estado de São Paulo/Sindicato da Indústria de Construção do Estado de São Paulo. **Conservação e reuso da água em edificações**. São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.

APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for examination of water and wastewater**.22nd Ed. Washington: American Public Health Association. 1360p. 2012.

BAIRD, Colin. **Química Ambiental**. Tradução Maria Angeles, Lobo Recio e Luiz Carlos Marques Carrera. 2 ed. Porto Alegre, Bookman, 2002. 622 p.

BOUSSU, K.; KINDTS, K.; VANDECASTEELE, C.; et al. Applicability of nanofiltration in the carwash industry. **Separation and Purification Technology**. 54, p.139-146. 2007.

BRAGA, J. K.; MOTTERAN, F.; MACEDO, T. Z.; ET AL. Biodegradation of linear alkylbenzenesulfonate in commercial laundry wastewater by anaerobic fluidized bed reactor. **Journal of Environmental Science and Health, Part A: Toxic/Hazardous Substances and Environmental Engineering**. 50, p.946-957. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente, Conselho Nacional de Meio Ambiente, CONAMA. **Resolução CONAMA nº 430**, de 13 de maio de 2011. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluente. 2011.

CASTRO-SILVA, M. A. et al. Microrganismos associados ao tratamento de águas de abastecimento com coagulante orgânico vegetal (tanato quaternário de amônio) – I. Microrganismos Filamentosos. **Revista Estudos de Biologia**, v. 26, n. 54, p. 21-27, jan./mar. 2004.

CIABATTI, I; CESARO, F.; FARALLI, L.; et AL. Demonstration of a treatment system for purification and reuse of laundry wastewater. **Desalination**. 245, p.451-459. 2009.

Confederação Nacional do Transporte. Disponível em: <<http://www.cnt.org.br/Boletim/boletim-estatistico-cnt>> acesso em 24 de janeiro de 2017.

DELFORNO, T. P.; MOURA, A. G. L.; OKADA, D. Y.; et al., Effect of biomass adaptation to the degradation of anionic surfactants in laundry wastewater using EGSB reactors. **Bioresource Technology**. 154, p.114-121. 2014.

ETCHEPARE, R. G.; ZANETI, R.; AZEVEDO, A.; et al. Application of flocculation-flotation followed by ozonation in vehicle wash wastewater treatment/desinfection and water reclamation. **Desalination and Water Treatment**. 10p. 2014.

FERRARI-LIMA, A. M. F. 2011. 157f. **Tratamento de efluente de terminal de combustível: coagulação/floculação/fotocatálise**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) Universidade Estadual de Maringá, Paraná. 2011.

GE, J.; QU, J.; LEI, P.; et al. New bipolar electrocoagulation-electroflotation process for the treatment of laundry wastewater. **Separation Purification Technology**. 36, p.33-39. 2004.

HAMADA, T.; MIYAZAKY, Y. Reuse of carwash water with a cellulose acetate ultrafiltration membrane aided by flocculation and activated carbon treatments. **Desalination**. 169, p.257-267. 2004.

Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>> Acesso em 24 de janeiro de 2017.

JIMENEZ, B.; MARA, D.; CARR, R.; BRISSAUD, F. Wastewater treatment for pathogen removal and nutrient conservation: suitable systems for use in developing countries. In: *Wastewater Irrigation and Health – Assessing and mitigating risk in low-income countries*. Earthscan, IDRC. 2010.

KIRAN, S. A.; ARTHANAREESWARAN, G.; THUYAVAN, Y. L.; et al. Influence of bentonite in polymer membranes for effective treatment of car wash effluent to protect the ecosystem. **Ecotoxicology and Environmental Safety**. n.121, p.186-192. 2015

LAU, W. J.; ISMAIL, A. F.; FIRDAUS, S. Car wash industry in Malaysia: treatment of car wash effluent using ultrafiltration and nanofiltration membranes. **Separation and Purification Technology**. n.104, p.26-31. 2013.

MACHADO, E. L.; HOEHNE, L.; FERREIRA, L.; et al. Tratamento de efluentes com óleos e graxas, fenóis e surfactants através de POA'S ferro-catalisados. In: 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005.

MATSUO, T.; NISHI, T. Activated carbon filter treatment of laundry waste water in nuclear Power plants and filter recovery by heating in vacuum. **Carbon**. 38, p.709-714. 2000.

MELO, A. R. B. de. **Pós-tratamento de efluente de reator UASB por filtração em areia e carvão ativo**. 2014. 70f. Dissertação (Mestre em Engenharia Civil – Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos). Universidade Federal de Pernambuco, Recife. 2014.

MENEZES, J. C. dos S. 2005. 118f. **Tratamento e reciclagem do efluente de uma lavanderia industrial**. Dissertação (Mestrado Engenharia – Área de Concentração Tecnologia Mineral/Metalurgia Extrativa) Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre. 2005.

METCALF & EDDY. **Wastewater Engineering: Treatment, Disposal, Reuse**. 4rd ed. New York, McGraw Hill, 2003. 1819p.

PARANÁ. Secretaria de Estado do Meio Ambiente e Recursos Hídricos–SEMA. Resolução SEMA nº 021 de 4 de julho de 2011. Dispõe sobre o licenciamento ambiental, estabelece condições e critérios para postos de combustíveis e/ou sistemas retalhistas de combustíveis, revoga a Resolução nº 038/09/SEMA, Resolução nº018/10/SEMA e Resolução nº 077/10/SEMA dá outras providências. **2011**

PAVANELLI, Gerson. **Eficiência de diferentes tipos de coagulante na coagulação, floculação e sedimentação de água com cor ou turbidez elevada**. 2001. 216 f. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) - Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.

PANIZZA, G.; CERISOLA, G. Applicability of electrochemical methods to carwash wastewaters for reuse. Part 2: electrocoagulation and anodic oxidation integrated process. **Journal of Electroanalytical Chemistry**, 638, p.236-240.2010

PUREWATER. Disponível em: <<http://www.purewaterefluentes.com.br/>> Acesso em 24 de janeiro de 2017.

RICHTER, C. A.; AZEVEDO, J. H. **Tratamento de água: tecnologia atualizada**. São Paulo: Edgar Blücher, 1995.

RUBIO, J.; CARISSIMI, E.; ROSA, J. J. Flotation in water and wastewater treatment and reuse: recent trend in Brazil. **International Journal of Environmental and Pollution**. 30 (2), p.193-207. 2007.

SILVA, Telma S. S. **Estudo de tratabilidade físico-química com uso de taninos vegetais em água de abastecimento e de esgoto**. 1999. 87 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) - Escola Nacional de Saúde Pública – Fundação Oswaldo Cruz , São Paulo, 1999.

SPERLING, M. V. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto**. 3ed. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 452p. 2005.

ŠOSTAR-TURK, S.; PETRINIÉ, I.; SIMONIČ, M. Laundry wastewater treatment using coagulation and membrane filtration. **Resources Conservation & Recycling**. N.44, p.185-196. 2005.

SRIVASTAVA, Vimal C. et al. Treatment of pulp and paper mill wastewater with poly aluminium chloride and bagasse fly ash. **Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects**, v. 260, n. 1-3, p. 17-28, jun. 2005.

THAKUR, S.S.; CHOUBEY, S. Assessment of coagulation efficiency of Moringa oleifera and Okra for treatment of turbid water. **Archives of Applied Science Research**, v. 6, n. 2, p. 24-30, 2014.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os efluentes estudados apresentam uma variabilidade em suas características físico-químicas, sendo caracterizados pela presença de material orgânica, sólidos e surfactants.

Nos setores estudados são empregados diferentes produtos químicos para a limpeza dos ônibus e lavagem das roupas na lavanderia, implicando nas características dos efluentes.

Nestes setores há um elevado consumo de água para a realização das atividades inerentes a lavagem dos ônibus e na lavanderia. Desta forma, o reúso de água na empresa é algo interessante a ser aplicado, visto a possível redução do consumo de água e a minimização de impactos ambientais decorrentes ao lançamento de efluente nos corpos hídricos. Visando o reúso do efluente tratado, foram realizados estudos com o objetivo de avaliar diferentes sistemas de tratamento, sendo estes coagulação/floculação/FAD e filtração em meio granular sob pressão.

Por meio de ensaios de coagulação/floculação/FAD foram determinadas as condições otimizadas de coagulação, com relação a concentração dos coagulantes avaliados, AQUAFLOC/LS e AQUA-PAC, e o pH de coagulação, visto que o polímero utilizado como auxiliar de coagulação não influenciou no tratamento dos efluentes. Na Tabela 1 são apresentadas as faixas de concentração dos coagulantes e pH de coagulação que apresentaram as maiores eficiências no tratamentos dos efluentes estudados.

Tabela 1. Faixas de concentrações dos coagulantes e pH de coagulação determinados pelo método DCCR para o tratamento dos efluentes analisados

Efluente	Etapa 1		Etapa 2	
	Coagulante AQUAFLOC/LS (mg L ⁻¹)	pH de coagulação	Coagulante AQUA-PAC (mg Al ₂ O ₃ L ⁻¹)	pH de coagulação
Lavagem de ônibus	55 - 110	6,00 – 7,20	65 - 85	6,83
Lavanderia	200 - 400	8,00 – 9,00	600 - 700	7,20 – 7,60
Combinado	220 - 260	7,00	50 – 200 e 200 - 320	6,00 – 7,50 e 8,30 – 9,00

Os sistemas que se mostraram mais eficientes no tratamento dos efluentes foram: CFF₁-F, CF₁-F. Na Tabela 2 estão descritos as características dos efluentes após

tratamento por ambos os sistemas citados. Estes dados são caracterizados por serem uma prospecção.

Tabela 2. Caracterização dos efluentes após tratamento por CFF₁-F e CF₁-F

Parâmetros	Efluente lavagem de ônibus		Efluente lavanderia		Efluente combinado		Limite admissível para reúso
	CF ₁ -F	CFF ₁ -F	CF ₁ -F	CFF ₁ -F	CF ₁ -F	CFF ₁ -F	
DQO (mg O ₂ L ⁻¹)	54	112	116	52	69	-	
pH	4,18	5,57	6,49	6,13	5,63	6,00 a 9,00	
Turbidez (UNT)	3,9	2,05	2,19	4,04	4,58	2,0 a 5,0	
Cor (UH)	8	nd	nd	3	4	≤ 10	
Condutividade (µS cm ⁻¹)	292,9	415,9	501,9	360,6	355,7	-	
N-amoniaco (mg N-NH ₃ L ⁻¹)	1,60	1,6	1,3	1,4	1,7	≤ 20,0	
NTK (mg N-NTK L ⁻¹)	7,3	6,7	5,6	12,9	5,6	-	
Nitrato (mg N-NO ₃ ⁻ L ⁻¹)	0,28	0,51	0,33	0,28	0,29	< 10,0	
ST (mg L ⁻¹)	260	322	225	nd	272	-	
SV (mg L ⁻¹)	152	152	200	nd	125	-	
SF (mg L ⁻¹)	107	170	25	nd	147	-	
SST (mg L ⁻¹)	12	nd	nd	nd	nd	≤ 5	
SSV (mg L ⁻¹)	12	nd	nd	nd	nd	-	
SSF (mg L ⁻¹)	nd	nd	nd	nd	nd	-	
SDT (mg L ⁻¹)	247	322	225	nd	272	≤ 500	
SDV (mg L ⁻¹)	140	152	200	nd	125	-	
SDF (mg L ⁻¹)	107	170	25	nd	147	-	
Surfactante (mg L ⁻¹)	0,6	0,4	0,6	2,0	3,0	≤ 0,5	
Fósforo (mg P-PO ₄ L ⁻¹)	0,08	0,09	0,08	0,09	0,08	≤ 0,1	

Os efluentes tratados apresentaram características passíveis de serem reutilizados no setor de lavagem de ônibus da empresa. Em alguns casos, a correção do pH do efluente será necessário, assim como uma possível diluição da água de reúso visando reduzir a concentração de sólidos e de surfactantes e da condutividade elétrica.

O sistema de filtração em meio granular sob pressão, se apresentou eficiente no tratamento de ambos os efluentes estudados, apresentando eficiências superiores ao sistema de coagulação/floculação/FAD. Entretanto, alguns parâmetros analisados apresentaram concentrações superiores ao máximo admissível para águas de reúso, não sendo possível o seu reúso para esta finalidade.

Para uma análise de prospecção, este sistema se mostrou passível de ser empregado como pós-tratamento de sistema FAD e do sistema de coagulação/floculação. Sendo possível a obtenção de um efluente com características físico-químicas que permitam sua reutilização na lavagem de ônibus pela empresa.

Novos ensaios podem vir a ser realizados visando avaliar estes sistemas em uma escala piloto, visando identificar novas dosagens dos coagulantes e valores de pH de

coagulação com o objetivo de obter uma maior otimização do sistema e maior eficiência no tratamento de ambos os efluentes.