

I-022 – EFEITOS DA RECIRCULAÇÃO DA ÁGUA DE LAVAGEM DE FILTROS NA QUALIDADE DA ÁGUA PRODUZIDA

Daianne Gomes de Freitas⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN). Mestre em Engenharia Sanitária pela UFRN.

Marco Antônio Calazans Duarte

Engenheiro Civil (UFRN, 1980). Mestre em Engenharia Civil (UFPB, 1999). Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento (EESC/USP, 2011). Ex-engenheiro e pesquisador da CAERN (1982-2016). Professor titular e membro do Núcleo de Pesquisas em Saneamento Básico do IFRN (1996 - ...).

Hélio Rodrigues dos Santos

Doutor em Engenharia Civil pela Escola de Engenharia de São Carlos (UsP). Professor da Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Natal (RN), Brasil.

André Luis Calado Araújo

Doutor em Engenharia Civil pela University of Leeds. Professor do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte e do Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária da Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Natal (RN), Brasil.

Endereço⁽¹⁾: Alameda das Mansões, 3693 - Candelária - Natal - RN - CEP: 59064-940 - Brasil - Tel: (84) 98835-1048 - e-mail: daiannefreitas@gmail.com

RESUMO

Os resíduos gerados nas Estações de Tratamento de Água (ETA) são formados principalmente pelo lodo de decantadores e pela água de lavagem dos filtros - ALF. A ALF representa a maior parcela de perda de água, podendo compreender até 10% da vazão da estação. Uma alternativa para a destinação desses resíduos é a recirculação na própria estação. Dessa forma, além de representar uma redução nas perdas da estação, também diminui o consumo de energia e de água. A presença de partículas desestabilizadas em sua constituição e o residual de coagulante presentes na ALF podem auxiliar a remoção de partículas da água bruta. Para que o reaproveitamento dos resíduos não prejudique a qualidade da água tratada, é essencial a avaliação dos impactos causados por esse procedimento. O trabalho foi desenvolvido na ETA de Extremoz – RN, que apresenta configuração de estação convencional, apesar de operar como filtração direta. O presente estudo investigou as seguintes configurações para recirculação do efluente da lagoa de sedimentação, ALF bruta (isto é, sem clarificação) e após clarificação. Foram avaliadas diferentes taxas de recirculação (0, 2, 5 e 8%) através de ensaios de tratabilidade. Foram simulados tratamentos com as configurações de filtração direta e filtração direta em linha, com e sem a etapa de oxidação, utilizando diferentes doses de coagulante e oxidante. A água bruta utilizada caracteriza-se por apresentar turbidez e cor em torno de 2 unT e 20 uH, respectivamente. A etapa de floculação não foi necessária, enquanto que a etapa de oxidação foi essencial para se atender ao valor limite estabelecido pela legislação. A recirculação da ALF não influenciou na qualidade da água tratada, não apresentando diferença significativa entre os tipos de resíduos nem entre as taxas de recirculação adotadas.

PALAVRAS-CHAVE: Estação de tratamento de água, água de lavagem dos filtros, recirculação de resíduos, ensaios de tratabilidade.

INTRODUÇÃO

A maior parte dos resíduos gerados são oriundos das águas de lavagem dos filtros – ALF - e do lodo dos decantadores. Geralmente, a quantidade de resíduos gerados pode compreender entre 2 a 10% do volume total tratado (USEPA, 2002; Raj *et al.*, 2008), contendo apenas 0,01 a 0,1% de sólidos (Di Bernardo *et al.*, 2012). No Brasil, cerca de 73% dos resíduos de ETA são lançados nos cursos de água sem tratamento (IBGE, 2002), prática essa, ilegal, uma vez que os lodos de ETA são classificados como resíduos sólidos pela NBR 10004 (ABNT, 2004) e seu lançamento *in natura* no meio ambiente é vedado pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (BRASIL, 2010).

Uma opção de destinação da ALF e lodos de ETA é a recirculação na própria estação. Tal medida contribui para a diminuição do seu lançamento no meio ambiente, favorece a economia de água, proporciona a redução do consumo de produtos químicos, melhora sedimentabilidade dos flocos, e consequentemente, a reduz os custos de tratamento de água. A recirculação pode ser contínua ou não, com ou sem processo de clarificação. A presença de partículas desestabilizadas em sua constituição que permite melhorar as etapas de coagulação, floculação, sedimentação (Gottfried *et al.*, 2008; Suman *et al.*, 2012 e Raj *et al.*, 2008) e pode, até mesmo, auxiliar na remoção de microrganismos (Arora *et al.*, 2001; Cornwell & MacPhee, 2001) no processo de tratamento de água. Por outro lado, a recirculação dos resíduos pode aumentar concentrações de ferro, manganês, COT, trihalometanos (Cornwell & Lee, 1994; Bourgeois, *et al.*, 2004) e microrganismos como protozoários, *Escherichia coli*, coliformes totais e termotolerantes (Braga *et al.*, 2006).

Cornwell & Lee (1994) sugerem que a vazão de recirculação se mantenha abaixo de 10% da vazão da ETA, a fim de assegurar a qualidade microbiológica da água. A USEPA (2002) orienta que o percentual de recirculação deve ser determinado de acordo com cada ETA, definidos a partir de estudos em escalas menores. De acordo com USEPA (2000), uma forma de minimizar os riscos relacionados a reintrodução de contaminantes é através do tratamento dos resíduos antes da recirculação.

Os tipos de unidades mais comuns para o tratamento dos resíduos são os adensadores e lagoas de sedimentação (USEPA, 2002). A lagoa de sedimentação permite a clarificação, adensamento e desaguamento do lodo da ETA (Di Bernardo *et al.*, 2012). Todavia, o maior tempo de detenção necessário pela lagoa pode alterar as características do lodo e facilitar a liberação de contaminantes para o sobrenadante (Cornwell & Lee, 1994) e, juntamente com a grande área necessária para a implantação, beneficia a proliferação de algas (Di Bernardo *et al.*, 2012).

Cornwell & MacPhee (2001) avaliaram os efeitos causados pelo aumento de partículas e (oo)cistos provocados pela recirculação de ALF em uma instalação piloto convencional com água bruta de baixa turbidez (inferior a 5 unT). Os estudos sugerem que a recirculação de resíduos insere turbidez adicional à água bruta, a qual pode auxiliar no processo de tratamento, elevando a remoção de (oo)cistos de protozoários e de turbidez. Nesse estudo, a clarificação dos resíduos antes da recirculação não foi necessária e mostrou-se essencial para obter um efluente final de melhor qualidade.

Os efeitos causados pela recirculação dos resíduos dependem, também, da configuração da ETA. Em águas de baixa turbidez, o processo de remoção das partículas é menos eficiente em relação a águas com turbidez mais elevadas (Xiao *et al.* 2009; Souza, 2011). Isso ocorre devido a menor quantidade de espécies hidrolisadas formadas durante o processo de coagulação e a menor velocidade de sedimentação dos flocos (Xiao *et al.* 2009; Di Bernardo, Dantas & Voltan, 2011).

Vários estudos (Cornwell & MacPhee 2001; Bourgeois *et al.* 2004, Bourgeois *et al.* 2004a; Braga *et al.* 2006; Raj *et al.* 2008; Gottfried *et al.*, 2008; Freitas *et al.* 2010; Suman *et al.*, 2012) destacam alguns fatores associados à reciclagem de águas de lavagem de filtro. Dentre esses fatores, destacam-se: a) Efeito na qualidade final da água tratada (Cornwell & Lee, 1994; Braga *et al.*, 2006; Freitas *et al.*, 2010; Zhou, *et al.* 2012); b) necessidade ou não de pré-tratamento dos resíduos (Cornwell & Lee, 1994; USEPA 2002; Freitas *et al.*, 2010; Zhou, *et al.* 2012); c) taxa de recirculação adequada (Gottfried *et al.*, 2008; Freitas *et al.*, 2010; Souza, 2011; Suman *et al.*, 2012; Zhou, *et al.* 2012; Campos, 2014).

O objetivo dessa pesquisa é avaliar o desempenho de distintas condições de recirculação de resíduos em água de baixa turbidez em uma ETA de filtração direta.

MATERIAIS E MÉTODOS

Delineamento experimental

Para realização dessa pesquisa, foram realizados ensaios em jarreste para simular a ETA de Extremoz em escala de laboratório, operando segundo as concepções de tratamento de filtração direta e filtração direta em linha. Os experimentos testaram diferentes parâmetros a fim de encontrar a melhor condição operacional em relação ao percentual de recirculação de resíduos na entrada da ETA, resíduos utilizados (diferentes águas de lavagem de filtros) e dose de coagulante. Para definir a faixa de dose de coagulante a ser testada e a dose de

pré-oxidante, foram realizados ensaios preliminares. Também foram realizados ensaios de controle, com a água bruta do manancial, sem recirculação de ALF.

Os experimentos foram realizados em cinco fases, se diferenciando em relação a concentração dos produtos químicos utilizados e a execução ou não das etapas de oxidação e floculação. As etapas foram realizadas em sequência de modo que as condições operacionais da fase seguinte foram definidas de acordo com os resultados obtidos na fase anterior. A Tabela 1 resume as condições operacionais adotadas nos ensaios em cada uma das fases.

Tabela 1 - Resumo das condições operacionais adotadas em cada fase dos ensaios em jarteste.

Fase	Oxidação		Coagulação	Floculação		Tipo de resíduo	TR (%).
	Tc (min)	Dose (mg/L)	Dose (mg/L)	Tf (min)	G (s ⁻¹)		
1	-		1, 2 e 3	5	90	ALF _B ALF _{DEC} ALF _{LSSED}	0 ⁽¹⁾ 2 5 8
				5	60		
				5	30		
2	10	2	4, 6 e 8	5	90		
				5	60		
				5	30		
3							
4	5 e 10	1 e 2	6 e 8	-		ALF _{LSSED}	0 ⁽¹⁾ 5
5						ALF _{DEC}	

LEGENDA: Tc – Tempo de contato; Tf – Tempo de floculação; G – gradiente de velocidade; TR – Taxa de recirculação; ALF_B - amostra da ALF sem pré-tratamento; ALF_{DEC} - ALF após decantação em laboratório; ALF_{LSSED} - ALF após decantação na lagoa de sedimentação.

⁽¹⁾ Ensaios utilizando a água bruta da lagoa de Extremoz, sem recirculação de ALF.

Os ensaios seguiram um planejamento experimental para cada fase, a fim de avaliar as melhores condições operacionais que poderiam ser executadas em escala real. O planejamento adotado foi fatorial completo tipo n^k, em que “n” é o número de níveis e “k” é o número de fatores. Foi realizado um planejamento para cada fase da pesquisa, conforme mostra a Tabela 1. Todos os ensaios foram realizados em duplicata, totalizando 226 ensaios. Além desses, também foram realizados 15 ensaios de controle, com a água bruta da lagoa de Extremoz, sem recirculação de ALF, seguindo as condições operacionais das fases 1, 2 e 3, totalizando, assim, 241 ensaios. Os testes estatísticos utilizados foram a análise de variância (anova) e o gráfico de Pareto de efeitos padronizados.

Local de estudo

As amostras de águas foram coletadas na lagoa de Extremoz e ETA Extremoz, no município de Extremoz, localizada na Região Metropolitana de Natal. A Lagoa de Extremoz apresenta uma água com baixa turbidez e cor média. Os valores médios obtidos durante o período de junho a setembro de 2016 foram de 1,85 uNT e 21 uH, respectivamente.

A ETA foi projetada segundo a concepção em ciclo completo, contendo as unidades de mistura rápida hidráulica em calha *Parshall*, floculação mecanizada, decantação de alta taxa e filtração rápida descendente, além da possibilidade de aplicação de produtos químicos na pré-oxidação e desinfecção. Apesar de apresentar concepção convencional, em virtude da baixa turbidez, a coagulação é feita no mecanismo de adsorção e neutralização de cargas e, conseqüentemente, não há formação de flocos. Por isso, os equipamentos de agitação dos floculadores foram removidos e, portanto, quase não há retenção de lodo nos decantadores. Atualmente a ETA opera com filtração direta, contemplando apenas as etapas de pré-oxidação, coagulação, filtração e desinfecção.

Após a lavagem dos filtros a ALF é encaminhada para um tanque de equalização e posteriormente é transferida para uma lagoa de sedimentação e, seu efluente, retorna para o canal de entrada dos floculadores. A lagoa de

sedimentação ocupa uma área de 5.000 m² e o clima quente e ensolarado da região favorece a proliferação de algas.

Procedimentos de coleta e análises das amostras

As coletas de amostras de AB e ALF (ALF_B, ALF_{DEC}, ALF_{LSED}) estão detalhadas a seguir:

- Água bruta (AB): foi coletada através de uma tubulação de derivação da adutora de água bruta localizada na entrada da ETA.
- Amostra composta da água de lavagem de filtro (ALF_B): foram coletadas amostras a cada minuto durante a operação de lavagem. A amostra composta da ALF_B foi obtida através da mistura de alíquotas iguais de cada uma das amostras individuais.
- Amostra composta da água de lavagem de filtro decantada (ALF_{DEC}): as amostras individuais de ALF_B foram clarificadas em cones *imhoff* e, alíquotas iguais dos sobrenadantes foram misturadas para formar uma amostra composta clarificada.
- Água da Lagoa de Sedimentação (ALF_{LSED}): foi coletada na entrada da unidade de floculação.

Análises de pH, cor, turbidez e sólidos suspensos totais (SST) foram realizadas no mesmo dia de coleta em todas as amostras. Sólidos sedimentáveis foram analisados na ALF_B enquanto que a clorofila “a” foi analisada no efluente da lagoa de sedimentação (ALF_{LSED}). Todas as análises foram realizadas seguindo os procedimentos padrões descritos em APHA *et al.* (2012).

Ensaio de tratabilidade

Os ensaios foram realizados em equipamento jarreste e reproduziram os processos de oxidação, coagulação, floculação e filtração.

Em todas as cinco fases realizadas, o gradiente da velocidade mistura rápida foi de 1000 s⁻¹ durante 30 segundos, enquanto que na mistura lenta, a variação foi gradativa, de 90 s⁻¹, 60 s⁻¹ e 30 s⁻¹ com duração de 5 minutos cada, de acordo com dados obtidos na literatura (Libânio, 2005; Baruth, 1969). Os produtos químicos utilizados foram os mesmos utilizados na ETA. Para a oxidação, utilizou-se hipoclorito de cálcio - Ca(ClO)₂, com 65% de cloro ativo enquanto que na coagulação foi utilizado o hidroxiclreto de alumínio (HCA – PAC) com 23% de alumínio. Todos os experimentos foram realizados com o pH natural das amostras.

O jarreste utilizado é composto por 6 jarros com capacidade de 2 litros cada, em acrílico transparente. Foram acoplados ao equipamento 6 filtros de laboratório de areia (FLA), com grãos de areia na faixa de 0,30 mm a 0,60 mm de diâmetro, apresentando um diâmetro efetivo de 0,37 mm, de acordo com recomendações do Di Bernardo *et al.* (2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização das ALFs

A Figura 1 mostra a média dos resultados obtidos para sólidos sedimentáveis analisados nos cones *Imhoff* e a concentração de SST, enquanto que a concentração média de cor e turbidez da ALF_B no período da pesquisa estão na Figura 2. As figuras mostram que nos tempos de lavagem entre minutos 2 e 3 são os que apresentam maior volume de sólidos e maior concentração de SST, cor e turbidez, e os demais minutos apresentaram volumes de sólidos sedimentáveis próximos a zero. Esses resultados permitem sugerir que o tempo de lavagem de filtros da ETA Extremoz poderia ser reduzido para 4 minutos, reduzindo o volume de água tratada utilizado na operação e, conseqüentemente, diminuindo o volume de resíduos. Os resultados de pH em todos os experimentos realizados nesse trabalho variaram entre 7,24 a 7,88. Não foi feita correção de pH em virtude do pH natural ter se mostrado adequado para o tratamento.

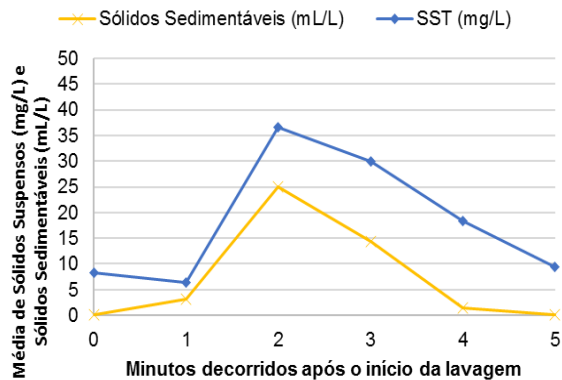


Figura 1 – Concentrações de sólidos sedimentáveis e SST na ALF durante o período de lavagem de filtros na ETA Extremoz.

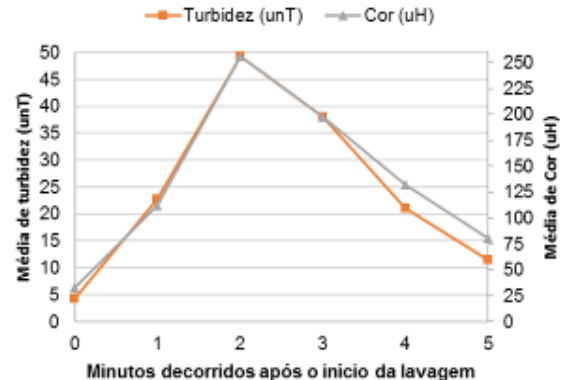


Figura 2 – Concentração média de turbidez e cor ALF durante o período de lavagem de filtros na ETA Extremoz.

Fase 1 – Filtração direta

A Fase 1 compreendeu as etapas de coagulação, floculação e filtração. As concentrações do coagulante testadas variaram de 1 mg/L a 3 mg/L, definida de acordo com a operação da ETA na época dos ensaios (junho a setembro de 2016), que utiliza 1 mg/L de hidroxiclreto de alumínio com 23%.

A água bruta utilizada nos experimentos apresentou turbidez entre 2,10 a 2,37 unT e cor na faixa de 23 uH. O melhor desempenho foi obtido com 2% de recirculação de ALF_{DEC} e uma concentração de 3mg/L de HCA, no entanto, os resultados não atenderam os padrões de potabilidade previstos na Portaria nº 2914/2011. Foi constatado que doses de coagulante foram insuficientes e há necessidade da etapa de oxidação para remoção da cor.

A Figura 3 mostra a média das concentrações remanescentes de cor e turbidez em relação as variáveis testadas – tipo de resíduo, razão de recirculação e dose de coagulante - em todos os 54 experimentos realizados. Os gráficos mostrados na Figura 3 e nas demais figuras similares apresentadas nesse trabalho foram elaboradas a partir da análise de variância (anova) seguida pelo teste de Tukey ao nível de 5%. As barras que não fazem intersecção denotam que as médias são diferentes entre si. Os melhores resultados ocorreram nos experimentos realizados com a menor taxa de recirculação (2%), a maior dose de coagulante (3mg/L) e ALF_{DEC}.

O Diagrama de Pareto foi utilizado para observar a influência dos fatores que afetaram na remoção dos parâmetros analisados e demonstrou que a doses de coagulante foi o único fator significativo na remoção de cor e na turbidez do efluente. Taxa de recirculação e tipo de resíduo não interferiram de maneira significativa na qualidade da água produzida.

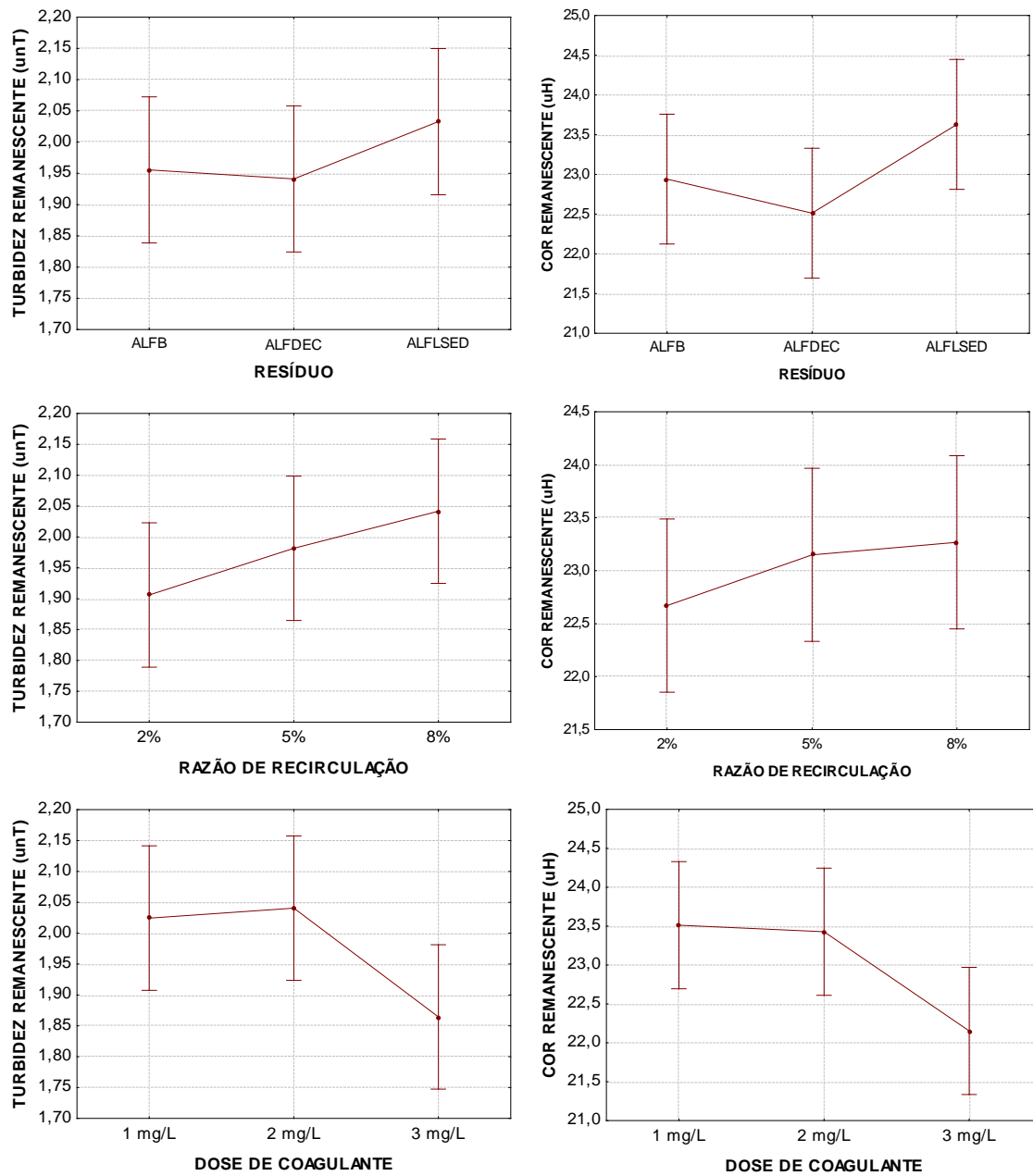


Figura 3 – Comparação entre as médias de cor e turbidez de todos os experimentos realizados em função das diferentes variáveis testadas na Fase 1.

Fase 2 – Filtração direta com pré-oxidação

Na Fase 2, foi adicionada a etapa de pré-oxidação e as doses de coagulante foram ajustadas para melhorar o tratamento uma vez que os procedimentos adotados na fase anterior não forneceram resultados satisfatórios.

A etapa da pré-oxidação permitiu que fosse atendido o VMP para cor (<15 uH) na maioria dos experimentos, no entanto, para a turbidez, o padrão de 0,5 unT foi atendido em apenas 11% dos experimentos. A Figura 4 e a Figura 5 mostram as médias dos resultados para turbidez e cor, respectivamente. A Figura 6 mostra a média remanescente das variáveis repostas em relação aos fatores analisados.

Segundo o Diagrama de Pareto novamente a dose do coagulante foi o fator que teve influência mais significativa nos resultados.

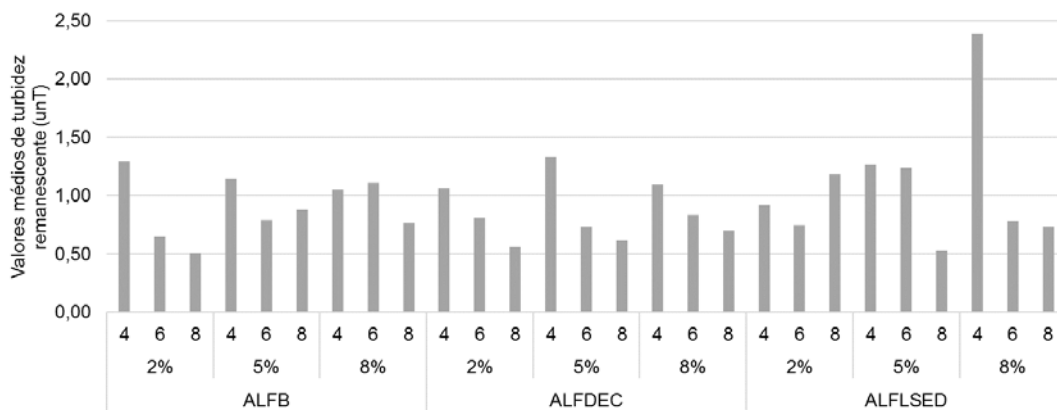


Figura 4 - Variação dos valores médios de turbidez em função da dose de coagulante (mg/L), percentual de recirculação e tipo de água de lavagem na Fase 2.

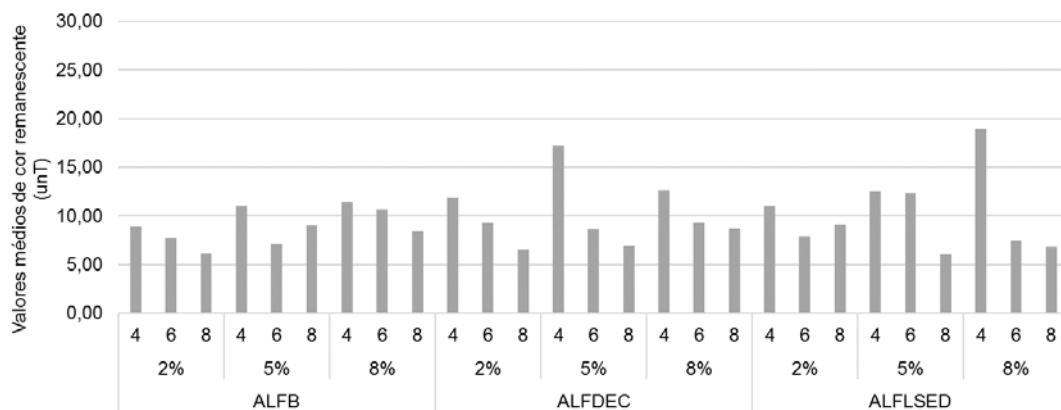


Figura 5 - Variação dos valores médios de cor em função da dose de coagulante (mg/L), percentual de recirculação e tipo de água de lavagem na Fase 2

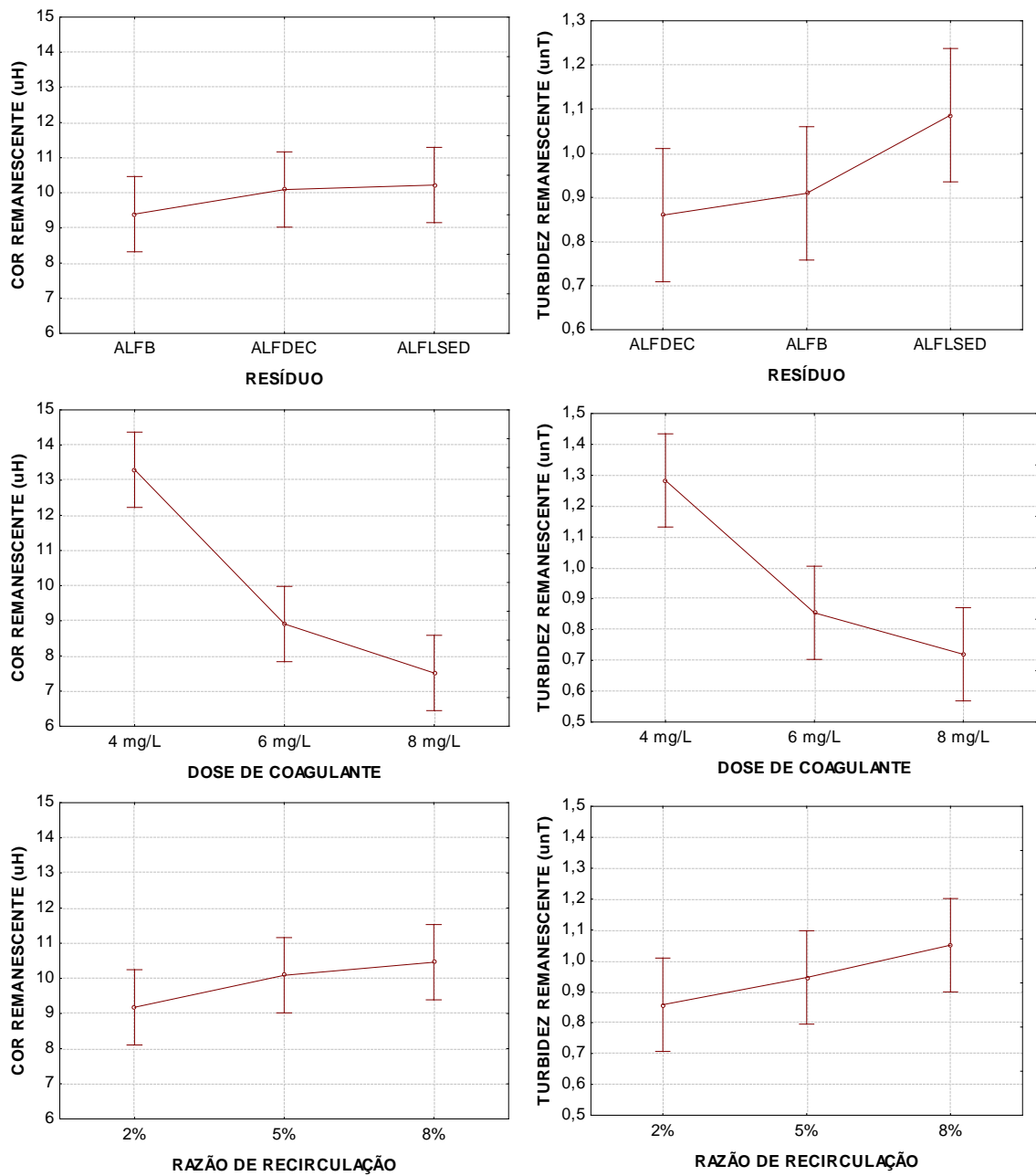


Figura 6 – Comparação entre médias de turbidez em função dos fatores analisados na Fase 2.

Fase 3 – Filtração direta em linha com pré-oxidação

A Fase 3 reproduziu as mesmas etapas de tratamento e condições operacionais realizados na fase 2, excluindo a etapa de floculação. As Figura 7 e Figura 8 mostram os valores médios de cor e turbidez obtidos.

A turbidez atendeu o VMP em cerca de 13% dos experimentos, variando na faixa de 0,42 a 1,70 unT. O melhor resultado foi para 2% de ALF_{DEC} com 8mg/L de coagulante, enquanto que a maior concentração remanescente de turbidez (1,70 unT) foi para a ALF_{LED}, com 4 mg/L de HCA e razão de recirculação de 5%. Em relação a cor, o parâmetro não atendeu o VMP em apenas um ensaio.

A Figura 9 mostra o comportamento da turbidez e da cor aparente remanescentes em função da dose de coagulante, taxa de recirculação e tipo de resíduo adotado. Assim como na fase anterior, quanto maior a dose de coagulante e menor a razão de recirculação, melhor foi a eficiência do experimento. Assim como nas fases anteriores a dose utilizada do coagulante foi a variável que mais influenciou na remoção da cor, turbidez e SST.

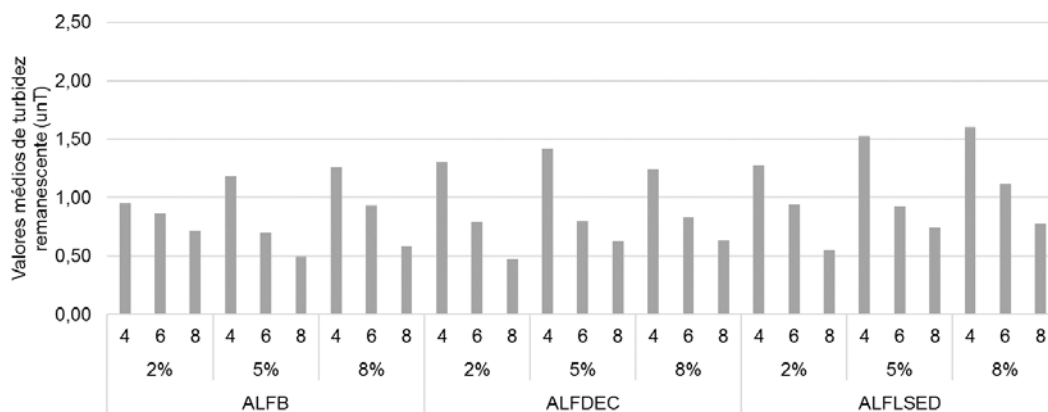


Figura 7 - Variação dos valores médios de turbidez em função da dose de coagulante (mg/L), percentual de recirculação e tipo de água de lavagem na Fase 3.

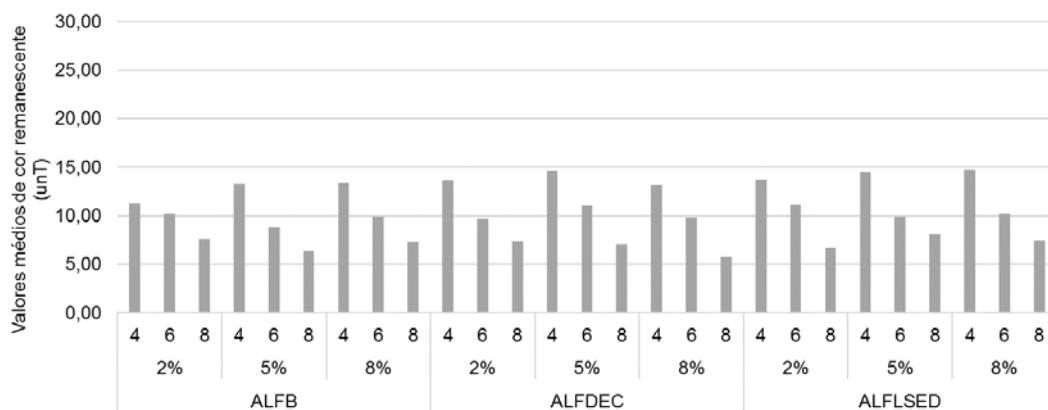


Figura 8 - Variação dos valores médios de cor em função da dose de coagulante (mg/L), percentual de recirculação e tipo de água de lavagem na Fase 3.

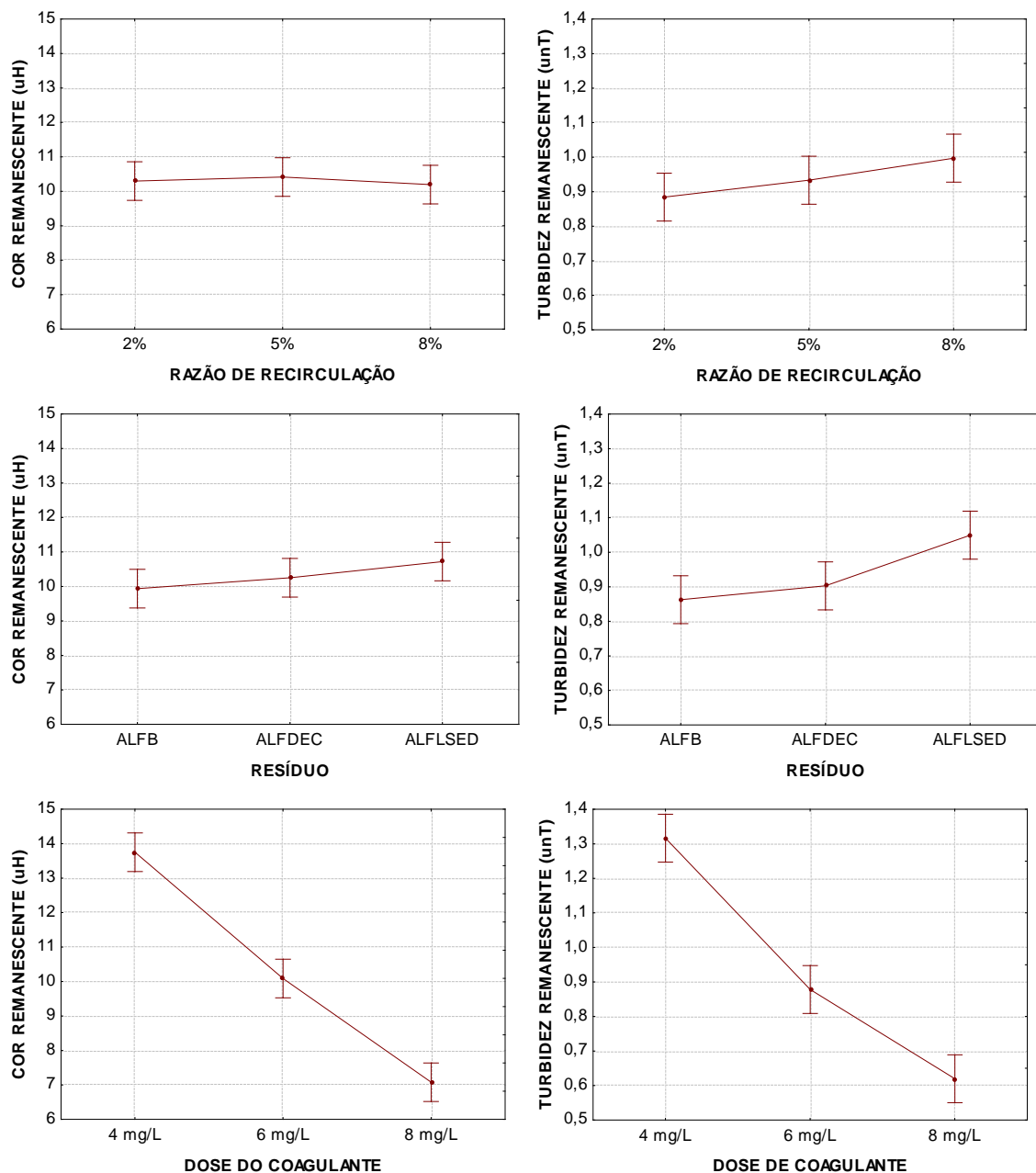


Figura 9 - Concentrações de cor e turbidez em função das diferentes variáveis testadas na Fase 3.

Observa-se pela Figura 10 que, independentemente do processo adotado (seja com ou sem a etapa de floculação), a recirculação da ALFL_{SED} proporcionou resultados ligeiramente maiores de cor, SST e turbidez em relação aos demais resíduos utilizados. Isso se deve provavelmente a presença de algas que proliferam nas lagoas de sedimentação, estimulada pela exposição solar e presença de nutrientes.

O tratamento sem a recirculação, conforme mostra a Figura 10, apresentou resultados melhores em relação ao tratamento com a recirculação de resíduos, entretanto, a diferença não foi significativa. Além disso, como os gráficos representam a média de todos os experimentos realizados, as condições operacionais podem ser otimizadas, por exemplo, aumentando a dose de coagulante e diminuindo a taxa de recirculação, de modo a obter melhores resultados.

Pela Figura 11, observa-se que as Fases 2 e 3 apresentaram comportamentos semelhantes, indicando que a etapa de floculação pouco interferiu no processo de tratamento. Comparando-se as Fases 2 e 3 com a Fase 1, fica claro que a necessidade da pré oxidação e ajuste na dose de coagulante.

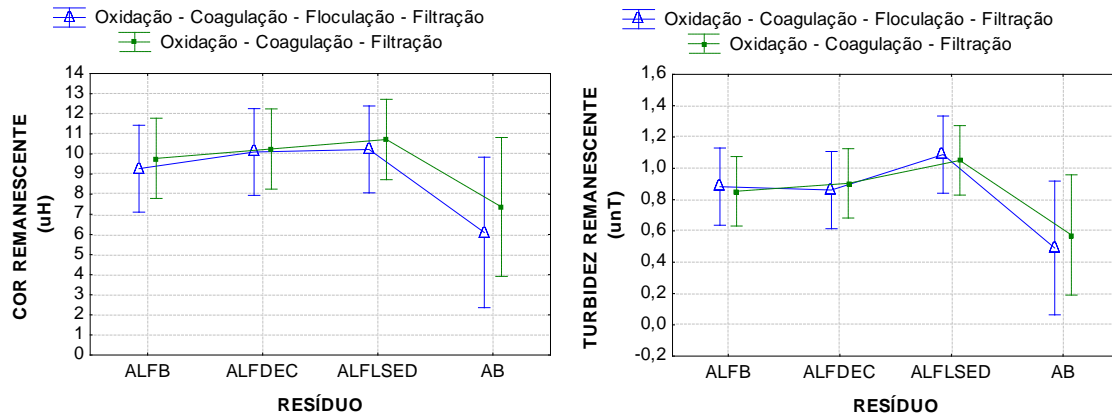


Figura 10 - Comparação entre as médias de pH, SST, cor e turbidez em função tipos de resíduos analisados na Fase 3.

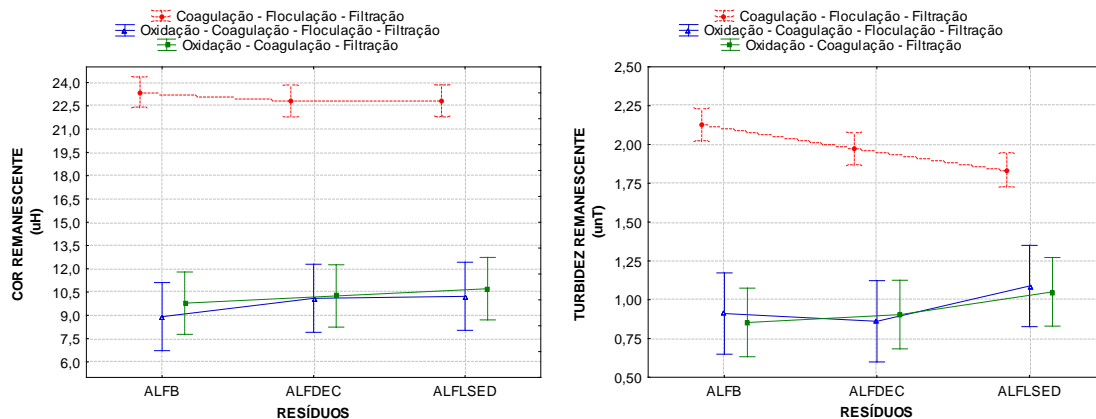


Figura 11 - Médias de cor e turbidez das Fases 1, 2 e 3 em função tipos de resíduos analisados.

Fase 4 – Filtração direta em linha com pré-oxidação utilizando a ALFLSED

Nas Fases 4 e 5 foram testadas a redução do tempo de oxidação de 10 para 5 minutos, e da dose de oxidante de 2 mg/L para 1 mg/L. Não foi realizada a mistura lenta, em virtude de os resultados anteriores mostrarem que a etapa não influenciou significativamente no tratamento. As concentrações de coagulante adotadas (6 e 8mg/L) foram as que obtiveram melhor resultado nas fases anteriores. As Fases 4 e 5 diferem-se apenas em relação ao resíduo utilizado: ALFLSED e a ALFDEC, respectivamente.

Todos os experimentos atenderam ao VMP de 15 uH em relação a cor, sendo 13 uH o maior valor encontrado (Figura 12). A maior concentração de turbidez remanescente encontrada foi de 1,09 unT (Figura 13). A Figura 14 mostra as concentrações de cor e turbidez em função das variáveis testadas nessa série de experimentos.

Na Fase 4, além da dose de coagulante, a taxa de recirculação também foi um fator que teve influência significativa nos resultados. Por outro lado, os Diagramas de Pareto mostraram que os fatores tempo e dose de oxidação não influenciaram no tratamento. Dessa forma, a redução da concentração de cloro de 2mg/L para 1mg/L assim como a redução do tempo de contato de 10 minutos para 5 minutos, não prejudicou o tratamento realizado.

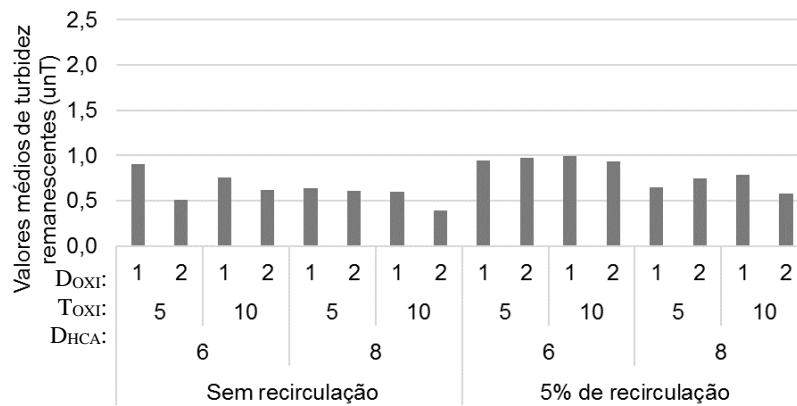


Figura 12 - Variação dos valores médios de turbidez em função da dose de coagulante (mg/L), tempo de oxidação (minutos) e dose de oxidante (mg/L) na Fase 4.

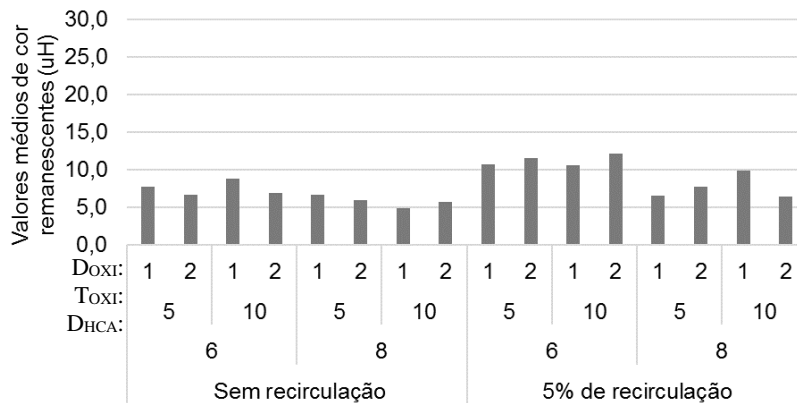


Figura 13 - Variação dos valores médios de cor em função da dose de coagulante (mg/L), tempo de oxidação (minutos) e dose de oxidante (mg/L) na Fase 4.

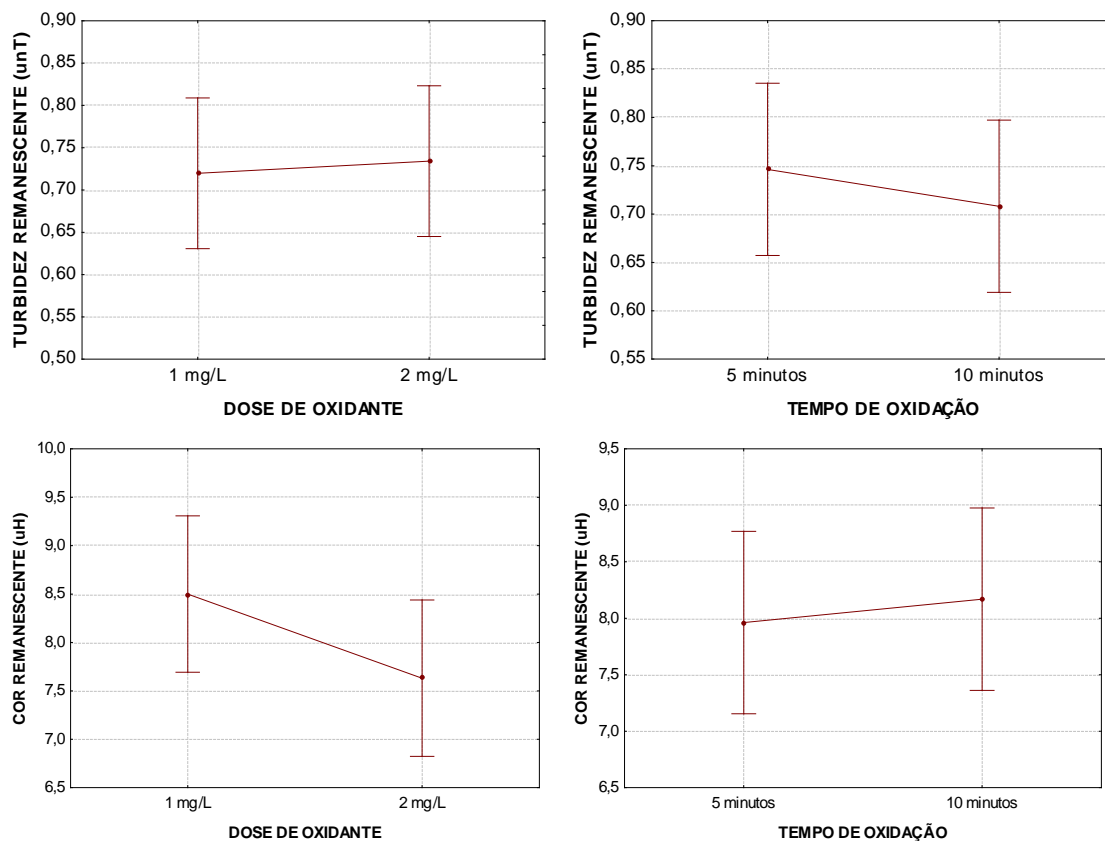


Figura 14 - Comparação entre as médias de cor e turbidez em função da dose de oxidante e do tempo de oxidação na Fase 4.

Fase 5 – Filtração direta em linha com pré-oxidação, utilizando a ALF_{DEC}

A Fase 5 foi similar à Fase 4, diferindo apenas em relação ao resíduo utilizado: ALF_{DEC}. A turbidez remanescente nessa fase variou entre 0,5 a 1,3 unT. Só foi atendido o VMP estabelecido pela legislação em 9 dos 32 casos, todos sem recirculação de ALF_{DEC}. O maior valor encontrado para cor foi de 13 uH, atendendo assim ao limite de 15 uH definido pela Portaria n° 2914/2011. A Figura 15 e a Figura 16 mostram as médias dos resultados dos ensaios realizados.

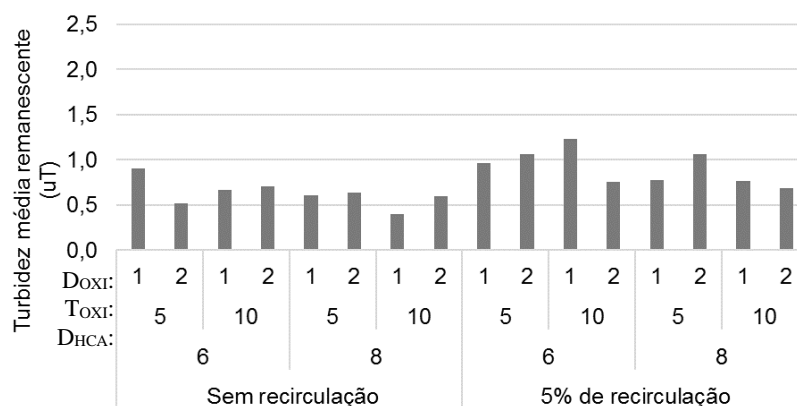


Figura 15 - Variação dos valores médios de turbidez em função da dose de coagulante (mg/L), tempo de oxidação (minutos) e dose de oxidante (mg/L) na Fase 5.

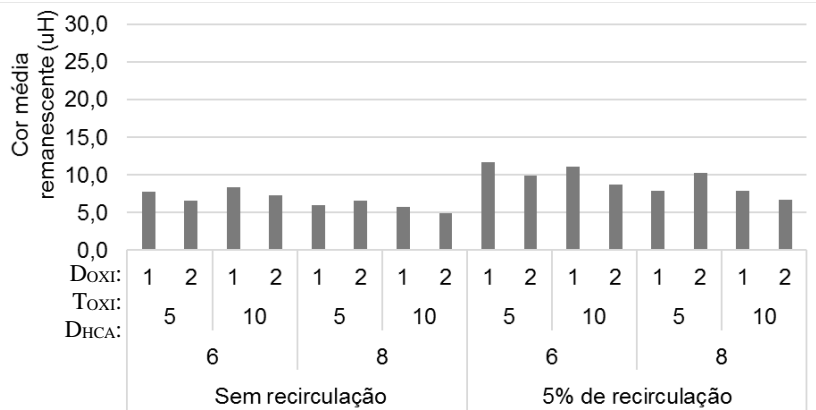


Figura 16 - Variação dos valores médios de cor em função da dose de coagulante (mg/L), tempo de oxidação (minutos) e dose de oxidante (mg/L) na Fase 5.

Comparando-se os resultados das Fases 4 e 5 (Figura 17), nota-se que a diferença entre os tratamentos com a ALF_{DEC} e a ALF_{LSED} não foi significativa, entretanto, a ALF_{DEC} teve uma menor concentração remanescente em relação aos parâmetros cor e SST, enquanto a ALF_{LSED} teve um desempenho ligeiramente melhor na remoção da turbidez. Pelos gráficos mostrados na Figura 17, observa-se que a mudança no tempo e dose durante a etapa de oxidação pouco influenciou a variação da turbidez, ganhando destaque a taxa de recirculação e a dose de coagulante como fatores mais importantes.

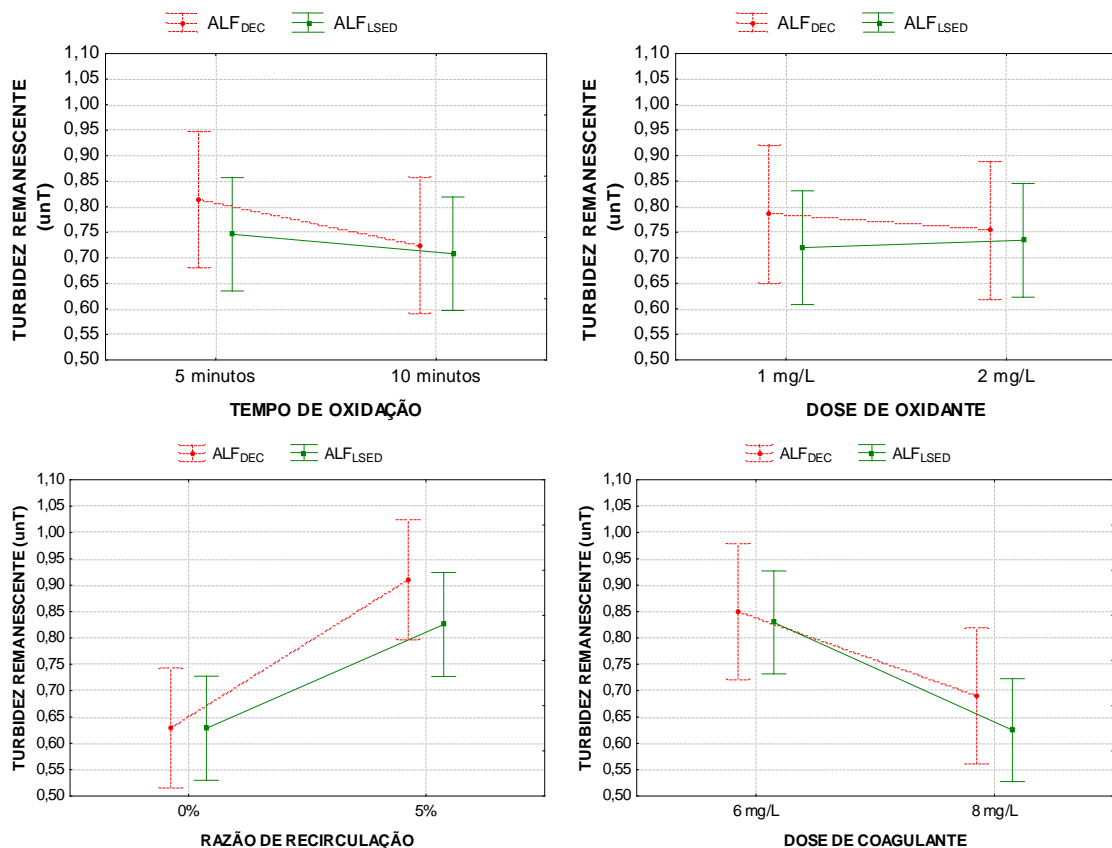


Figura 17 - Comparação das médias de turbidez em função das diferentes variáveis testadas: tempo de oxidação e dose de coagulante

CONCLUSÕES

Em todas as fases, a dose de Hidróxicloreto de Alumínio (HCA) foi o fator mais importante na remoção de cor, SST e turbidez. Quanto maior a dose testada maior a eficiência do processo. A introdução da pré-oxidação permitiu alcançar o VMP pela Portaria nº 2914/2011 para cor aparente. A etapa de floculação mostrou-se desnecessária durante os experimentos.

A recirculação da ALF, em diferentes vazões, com ou sem tratamento, não influenciou significativamente no processo de tratamento. Os estudos mostraram que não houve diferença significativa entre os tipos de resíduos nem entre as taxas de recirculação adotadas, entretanto, quanto menor for a taxa de recirculação, melhor tendem a ser os resultados.

O estudo comprova que a recirculação não acarretou prejuízos ao tratamento da água, podendo ser realizada em ETA de filtração direta. Constitui, portanto, alternativa para minimizar o uso dos recursos hídricos, evitar o lançamento de resíduos de ETA nos corpos de água e diminuir o consumo de energia no processo de tratamento.

AGRADECIMENTOS

À Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte (CAERN) pela disponibilidade de realização da pesquisa em uma de suas estações de tratamento de água.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) pelo financiamento do Projeto Caracterização de Resíduos Líquidos Gerados em Instalação Piloto de Dupla Filtração e em ETA de Ciclo Completo em Escala Real (467848/2014-9), ao qual está pesquisa faz parte.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT - Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2004). NBR 10004 - Resíduos Sólidos - Classificação.
2. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION - APHA, AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA, & WATER ENVIRONMENT FEDERATION - WEF. (2005). Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. Hardcover.
3. Arora, H., Di Giovanni, G., & LeChevallier, M. (2001). Spent filter backwash water contaminants and treatment strategies. Journal AWWA - American Water Works Association.
4. Baruth, E. E. (2005). Water Treatment Plant Design Fourth Edition. New York, San Francisco, Lisbon, London, Madrid, Mexico City, Milan, New Delhi, San Juan, Seoul, Singapore, Sydney, Toronto: McGraw-Hill.
5. Bourgeois, J. C., Walsh, M. E., & Gagnon, G. A. (2004). Treatment of drinking water residuals: comparing sedimentation and dissolved air flotation performance with optimal cation ratios. Water Research.
6. Bourgeois, J. C., Walsh, M. E., & Gagnon, G. A. (2004a). Comparison of process options for treatment of water treatment residual streams. Journal of Environmental Engineering and Science.
7. Braga, M. D., Bevilacqua, P. D., Bastos, R. K., Freitas, A. G., & Ferreira, G. M. (2006). Caracterização microbiológica da água de lavagem de filtros e avaliação de diferentes cenários de recirculação. In Rescatando antiguos principios para los nuevos desafíos del milenio (pp. 1-8). AIDIS.
8. BRASIL. Lei Nº 12305 - Política Nacional de Resíduos Sólidos de 02 de agosto de 2010.
9. BRASIL, Portaria nº 2914/2011, do Ministério da Saúde. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Brasília: Diário Oficial da União.
10. Campos, M. C. (2014). Influência da recirculação de água de lavagem de filtros na qualidade da água para consumo humano. Dissertação de Mestrado. Campinas, SP, Brasil.
11. Cornwell, D. A., & Lee, R. G. (1994). Waste stream recycling: its effect on water quality. Journal American Water Works Association.
12. Cornwell, D. A., & MacPhee, M. J. (2001). Effects of spent filter backwash recycle on Cryptosporidium removal. Journal AWWA - American Water Works Association.

13. Di Bernardo, L., Dantas, A. D., & Voltan, P. N. (2011). Tratabilidade de água e dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos: LDiBe.
14. Di Bernardo, L., Dantas, A. D., & Voltan, P. N. (2012). Métodos e técnicas de tratamento e disposição dos resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos: LDiBe.
15. Disposição de resíduos de ETA. Fonte: Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE: www.ibge.com.br. Acessado em: 20 de outubro de 2016.
16. Freitas, A. G., Bastos, R. K., Bevilacqua, P. D., Pádua, V. L., Pimenta, J. d., & Andrade, R. C. (2010). Recirculação de água de lavagem de filtros e perigos associados a protozoários. Engenharia Sanitária e Ambiental.
17. Gottfried, A., Shepard, A. D., Hardiman, K., & Walsh, M. E. (2008). Impact of recycling filter backwash water on organic removal in coagulation–sedimentation processes. *Water research*.
18. Libânio, M. (2005). Fundamentos de qualidade e tratamento de água. Campinas, SP: Átomo.
19. Raj, C. C., Kwong, T. E., Wong, Cheng, W. W., Fong, L. M., Tiong, S. H., & Klose, P. S. (2008). Wash water in waterworks: contaminants and process options for reclamation. *Journal of Environmental Sciences*.
20. Suman, S., Singh, N. P., & Sulekh, C. (2012). Effect of Filter Backwash Water when lends with Raw Water on Total Organic Carbon and Dissolve Organic Carbon Removal. *Research Journal of Chemical Sciences*.
21. UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2000). National primary drinking water regulations.
22. UNITED STATE ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. (2002). Filter Backwash Recycling Rule: Technical Guidance Manual.
23. Veneu, D. M., Silva, M. M., Di Salvio, A., & Delphino, I. A. (junho de 2015). Tratamento de água eutrofizada através dos processos de pré-oxidação, coagulação e floculação. *ENGEVISTA*, 17, 175-186.
24. Xiao, F., Zhang, B.-j., Ma, J., Yi, P., & Cui, C.-w. (2009). Effects of low temperature on floc fractal dimensions and shape factors during alum coagulation. *Journal of Water Supply: Research and Technology-Aqua*.
25. Zhou, Z., Yang, Y., Li, X., Gao, W., Liang, H., & Li, G. (2012). Coagulation efficiency and flocs characteristics of recycling sludge during treatment of low temperature and micro-polluted water. *Journal of Environmental Sciences*