

## I-323 - AVALIAÇÃO DE DESEMPENHO DE ESTAÇÕES DE TRATAMENTO DE ÁGUA: COMPREENDER O FUNCIONAMENTO DA ETA PARA MANTER A PRODUÇÃO DE ÁGUA SEGURA PARA CONSUMO HUMANO

**Rafael Kopschtiz Xavier Bastos**<sup>(1)</sup>

Engenheiro Civil (UFJF), Especialização em Engenharia de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ), PhD em Engenharia Sanitária (University of Leeds, UK), Professor Adjunto - Departamento de Engenharia Civil (UFV)

**Bruno Moreno Ramos da Silva**<sup>(2)</sup>

Engenheiro Ambiental (UFV), Mestrando em Engenharia Civil (UFV)

**Pedro Henrique Guerra Alves**<sup>(3)</sup>

Engenheiro Ambiental (UFV)

**Jade Tôrres Guerra de Paula**<sup>(4)</sup>

Engenheira Ambiental (UFV)

**Frederico Halfeld Clark Gomes**<sup>(5)</sup>

Engenheiro Ambiental (UFV)

**Endereço**<sup>(1)</sup>: Av. Peter Henry Rolfs, s/n, Departamento de Engenharia Civil, Campus Universitário - Viçosa – Minas Gerais - CEP: 36570-000 - Brasil - Tel: +55 (31) 3899-2356 - e-mail: [rkxb@ufv.br](mailto:rkxb@ufv.br)

### RESUMO

A avaliação de desempenho de estações de tratamento de água (ETA) é uma ferramenta que permite o diagnóstico atual da ETA e a determinação das condições ótimas de funcionamento. Os resultados da avaliação de desempenho de duas ETA que operam em ciclo completam são apresentados, relacionando a qualidade da água produzida com as características hidráulicas e operacionais de cada ETA. Embora ambas as ETA produzam água com qualidade adequada, foi observado que a ETA I apresentava falhas hidráulicas nas unidades e operação ineficiente da coagulação e retrolavagem, enquanto a ETA II, devido ao maior controle operacional e características hidráulicas adequadas aos valores estabelecidos pela NBR 12216, apresentou maior eficiência no uso dos recursos disponíveis. Foram propostas intervenções estruturais e operacionais na ETA I, de forma a otimizar o uso dos recursos e aumentar a eficiência da estação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Tratamento de água, avaliação de desempenho, otimização

### INTRODUÇÃO

O tratamento de água tem como objetivo fornecer água segura para consumo humano, de acordo com o padrão de potabilidade estabelecido em norma do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). O desempenho de uma estação de tratamento de água (ETA) é resultado da escolha adequada da tecnologia de tratamento, de projeto criterioso, bem como de cuidados e controle operacional. No Brasil, critérios de projeto de cada unidade de estações de tratamento de água (ETA) são definidos na norma da NBR 12216/1992 (ABNT, 1992) – ou seja, as principais variáveis e respectivos valores de dimensionamento e bom funcionamento dessas unidades. No entanto, mesmo com um bom projeto, erros de execução, sobrecarga da estação ou outros problemas operacionais (por exemplo, falhas na coagulação) podem comprometer a capacidade da ETA de produzir água com qualidade adequada. Dessa forma, na linha apresentada em CEPIS (2005), a avaliação de desempenho se apresenta como uma ferramenta valiosa que permite o diagnóstico da situação atual de estações e a determinação das condições ótimas de funcionamento. Neste trabalho são apresentados resultados da avaliação de desempenho de duas ETAs, se discutindo, fundamentalmente, a importância do conhecimento das reais características operacionais das estações e sua influência sobre a qualidade da água tratada.

## METODOLOGIA

Foram avaliados os parâmetros teóricos – de projeto, reais e ótimos de cada etapa de tratamento de duas ETAs localizadas no estado de Minas Gerais, que operam em ciclo completo com as características descritas a seguir.

ETA I – operação de 24h, vazão entre 157 e 236 L/s; coagulação com sulfato de alumínio 50% e mistura rápida em calha Parshall; dois flocculadores em paralelo: um do tipo Alabama com seis câmaras (F1) e outro do tipo Cox com sete câmaras (F2); dois decantadores convencionais retangulares (D1 e D2); quatro filtros rápidos descendentes de camada simples; desinfecção em tanque de contato com cloro líquido.

ETA II – operação de 12h, vazão de 30 L/s; coagulação com sulfato de alumínio 2 a 4% e mistura rápida em calha Parshall; flocculador do tipo Cox com seis câmaras; decantador convencional circular, com distribuição central e fluxo radial; dois filtros rápidos descendentes de camada simples; desinfecção em tanque de contato com gás cloro.

A avaliação de desempenho das ETAs foi realizada com base nas seguintes atividades: (i) sistematização e avaliação de dados de turbidez da água bruta, água decantada e água filtrada, obtidos de planilhas de monitoramento preenchidas diariamente pelos operadores; dados de 2000 a 2014 foram sistematizados em termos de estatística descritiva; (ii) levantamento dos parâmetros teóricos de projeto, obtidos a partir das vazões de operação das ETAs e das dimensões das unidades de tratamento; especificamente, foram determinados: (a) perfil hidráulico e gradiente de mistura da calha Parshall a partir das dimensões padronizadas da calha; (b) gradientes de velocidade e tempo de flocculação; (c) taxa de aplicação superficial, vazão por metro de calha coletora e gradiente de velocidade na cortina de distribuição dos decantadores; (iv) taxa de filtração; (iii) levantamento dos parâmetros e condições reais de funcionamento das ETAs, especificamente: (a) perfil hidráulico real da calha Parshall, obtido de medições *in loco*, e respectivos gradientes de misturas; (ii) Gradientes de velocidade reais de flocculação, calculados a partir das perdas de carga determinadas por medições *in loco* das lâminas de água nas câmaras dos flocculadores; tempos de flocculação reais, obtidos de ensaios com traçadores (NaCl); (iv) determinação dos parâmetros ótimos de funcionamento das ETAs, determinados em ensaios de tratabilidade em reator estático (Jar Test) com filtros de bancada acoplados, de acordo com a metodologia exposta em Di Bernardo *et al.* (2002).; (v) caracterização das carreiras de filtração, com acompanhamento da turbidez da água filtrada e do processo de retrolavagem.

## RESULTADOS

Nas Figuras 1 e 2 são apresentados os perfis hidráulicos da calha Parshall da ETA I, para as vazões de 157 e 236 L/s, respectivamente.

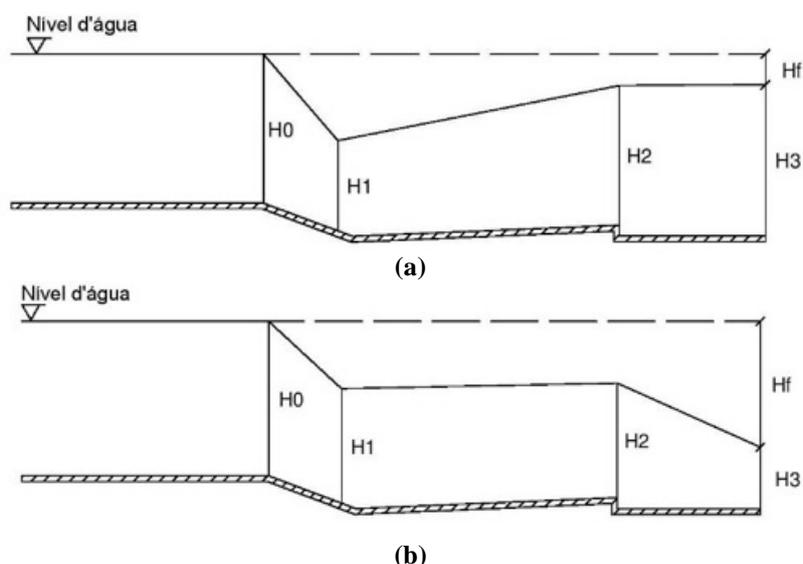


Figura 1. Perfil hidráulico da calha Parshall, ETA I, para vazão de 157 L/s (a) teórico (b) real

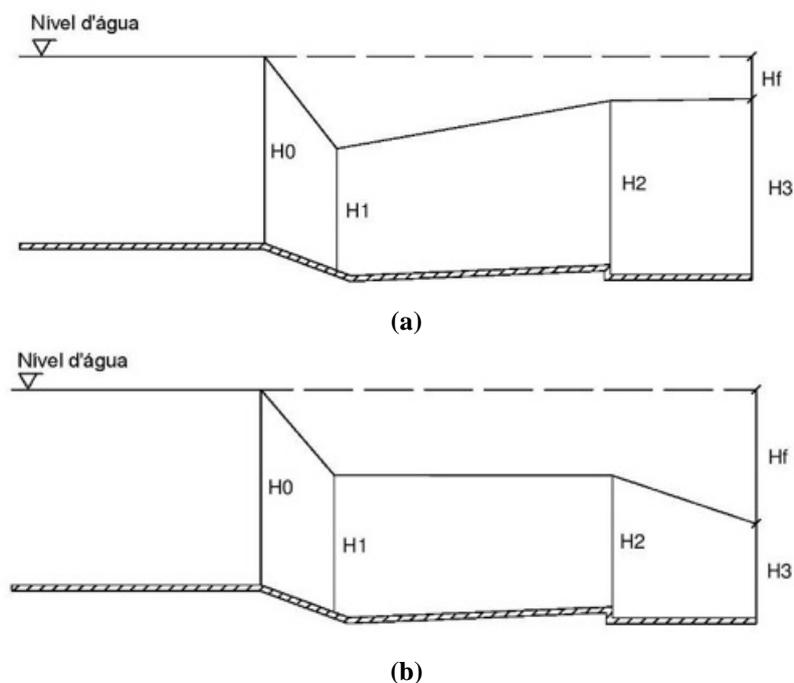


Figura 2. Perfil hidráulico da calha Parshall, ETA I, para vazão de 236 L/s (a) teórico (b) real

Na Tabela 1 são apresentadas as alturas da lâmina da água na calha, bem como os gradientes e tempos de mistura rápida para as ETA I e II.

Tabela 1. Características hidráulicas da calha Parshall das ETA I e II

Característica	ETA I				ETA II	
	Q <sub>min</sub> (157 L/s)		Q <sub>max</sub> (236 L/s)		Q (30L/s)	
	Teórico	Real	Teórico	Real	Teórico	Real
H <sub>0</sub> (m)	0,46	0,54	0,59	0,685	0,20	0,19
H <sub>1</sub> (m)	0,264	0,40	0,40	0,61	0,09	0,12
H <sub>2</sub> (m)	0,44	0,40	0,53	0,56	0,21	0,13
H <sub>3</sub> (m)	0,48	0,215	0,56	0,33	0,25	0,172
H <sub>f</sub> (m)	0,094	0,44	0,14	0,47	0,06	0,134
T <sub>mr</sub> (s)	0,27	0,46	0,24	0,44	0,49	0,55
G <sub>mr</sub> (s <sup>-1</sup> )	1881	3060	2366	3241	1141	1623
G <sub>p</sub> (s <sup>-1</sup> )	39	342	47	290	1388	NR

H<sub>0</sub>: altura de lâmina d'água no ponto de medição da calha; H<sub>1</sub>: altura de lâmina d'água no início do ressalto; H<sub>2</sub>: altura de lâmina d'água no final do ressalto; H<sub>3</sub>: altura de lâmina d'água na saída da calha; H<sub>f</sub>: perda de carga na mistura rápida; T<sub>mr</sub>: tempo de mistura rápida; G<sub>mr</sub>: gradiente de velocidade na mistura rápida; G<sub>p</sub>: gradiente de velocidade na interconexão Parshall / floculador; NR: não realizado

O perfil hidráulico da calha Parshall apresentou diferenças entre os valores simulados de acordo com as dimensões padronizadas da calha (teóricos) e os valores obtidos pela mensuração das lâminas d'água *in loco* (reais). A NBR 12216 recomenda gradientes de mistura rápida de 700 a 1100 s<sup>-1</sup> e tempo de mistura inferior a 5 s para a dispersão de coagulantes metálicos hidrolisáveis. Os valores de gradientes de mistura rápida da ETA I, tanto teóricos como reais, apresentaram valores elevados e o tempo de mistura apresentou valores adequados. No entanto, como pode ser observado nas Figuras 1 e 2, não há a formação do ressalto hidráulico na calha Parshall da ETA I e sim um rebaixamento da lâmina na seção divergente da calha. A mistura é, portanto, realizada no canal de conexão entre a calha Parshall e o floculador, porém, com gradientes bem mais baixos. A calha da ETA II, embora com perfil hidráulico real diferente do teórico, apresenta formação do

ressalto hidráulico com gradiente de velocidade pouco maior que a recomendação da norma e com tempo de mistura adequado.

Na Tabela 2 são apresentados os tempos de detenção hidráulica (TDH) teóricos e reais dos floculadores e na Tabela 3 os valores de gradientes de velocidade por câmara de floculação. Para o cálculo do tempo de detenção e dos gradientes teóricos da ETA I, foi considerada a distribuição proporcional de vazão entre os dois floculadores, ou seja, 6/13 da vazão para o floculador F1 e 7/13 da vazão para o floculador F2.

**Tabela 2. Tempos de floculação (minutos) teóricos e reais das ETA I e II**

ETA I								ETA II	
Q <sub>min</sub> (157 L/s)				Q <sub>max</sub> (236 L/s)				Q (30L/s)	
F1		F2		F1		F2		-	
Teórico	Real	Teórico	Real	Teórico	Real	Teórico	Real	Teórico	Real
37,4	22,7	39	77,8	27	14,7	22,8	54	66	NR

NR = não realizado

**Tabela 3. Gradientes de velocidade (s<sup>-1</sup>) teóricos e reais nas câmaras dos floculadores das ETA I e II**

Câmara	ETA I								ETA II	
	Q <sub>min</sub> (157 L/s)				Q <sub>max</sub> (236 L/s)				Q (30L/s)	
	F1		F2		F1		F2		Teórico	Real
	Teórico	Real	Teórico	Real	Teórico	Real	Teórico	Real		
1	9,5	18,7	85	30,1	16,7	33,1	155,2	52,6	16	12
2	9,4	18,6	79,8	28,3	16,6	33	145	49,5	19	10
3	8,7	17,2	65,7	23,5	15,4	30,6	118	40,9	19	13
4	8,8	17,3	46,8	16,9	15,5	30,8	83,8	29,5	16	10
5	8,4	16,5	45,7	16,5	14,9	29,5	81,8	28,8	15	13
6	8,8	17,3	36,8	13,3	15,5	30,8	65,8	23,3	7	-
7	-	-	30	10,8	-	-	53,3	18,9	-	-

A NBR 12216/1992 (ABNT, 1992) estabelece tempos de floculação entre 20 e 30 min para floculadores hidráulicos e gradientes de velocidade de 70 a 10 s<sup>-1</sup>. NA ETA I, os tempos de floculação teóricos são bem diferentes dos reais e, dependendo da vazão, inadequados. A diferença obtida é devida a um problema na estrutura de distribuição de vazões entre as duas unidades, o que faz com que o floculador F1 (menor) sempre receba maior vazão que o floculador F2. Os gradientes de velocidade teóricos são ou muito baixos (F1) ou muito elevados (F2), pois, nas passagens entre câmaras, as curvas no floculador Alabama possuem diâmetro elevado (600 mm) e os orifícios do F2 são muito pequenos. Em F1, os gradientes são baixos, não decrescentes e, para a vazão máxima, o tempo de floculação também é baixo, podendo provocar má formação de flocos. O floculador F2 apresenta gradientes decrescentes, porém o tempo de floculação é muito elevado, podendo ocasionar a quebra de flocos. Na ETA II, os gradientes de velocidade reais são baixos, não decrescentes e menores que os teóricos; no entanto, como o tempo de floculação é elevado, o produto GT pode vir a se comprovar adequado.

A Tabela 4 apresenta os valores dos parâmetros teóricos para etapa de decantação das ETA I e II.

**Tabela 4. Parâmetros teóricos da decantação nas ETA I e II**

Variável	ETA I				ETA II
	Q <sub>min</sub> (157 L/s)		Q <sub>max</sub> (236 L/s)		Q (30L/s)
	D1	D2	D1	D2	-
Gradientes na cortina de distribuição (s <sup>-1</sup> )	5,38	5,48	9,88	10,14	17
TDH (min)	189	180	126	120	489,3
TAS (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)	26	27	39	41	10
Vazão de coleta de água decantada (L/s.m)	4,1	4,2	6,2	6,3	0,533

A NBR 12216/1992 estabelece que os gradientes de velocidades nas cortinas de distribuição devem ser inferiores a 20 s<sup>-1</sup> e menores que os gradientes das unidades precedentes. A norma recomenda também taxa de aplicação superficial (TAS) de até 35 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d para ETAs com capacidade entre 1000 e 10000 m<sup>3</sup>/d (caso da ETA II) e de até 40 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d para ETAs com capacidade maior que 10000 m<sup>3</sup>/d (caso da ETA I), além de vazão de coleta de água decantada nas calhas coletoras de até 1,8 L/s.m.

No que diz respeito a taxa de aplicação superficial, na ETA I os decantadores operam com certa folga para a vazão mínima, mas próximo ao valor máximo de norma no caso da vazão máxima. Os gradientes de velocidade na cortina de distribuição são inferiores aos gradientes das unidades de floculação e de acordo com os valores estabelecidos pela norma. As vazões de coleta de água decantada são cerca de três vezes maiores que valor estabelecido por norma, podendo ocasionar arraste dos flocos (DI BERNARDO e DANTAS, 2005). O TDH das unidades é satisfatório, sendo superior a 120 min para ambas as vazões. A ETA II opera com TAS bem inferior ao máximo estabelecido pela NBR 12216, vazão de coleta de água cerca de um terço do valor máximo estabelecido por norma e TDH superior a 8h. No entanto, o gradiente na cortina de distribuição, embora inferior ao máximo de 20 s<sup>-1</sup>, é superior ao gradiente da última câmara de floculação.

Na Tabela 5, são apresentadas as taxas de filtração médias (T<sub>f</sub>) e a duração média das carreiras de filtração em cada ETA.

**Tabela 5. Parâmetros teóricos da filtração das ETA I e II**

Variável	ETA I		ETA II
	Q <sub>min</sub> (157 L/s)	Q <sub>max</sub> (236 L/s)	Q (30L/s)
Taxa de filtração (m <sup>3</sup> /m <sup>2</sup> .d)	138,8	208,7	64
Duração média da carreira de filtração (h)	15,8		83,3

A NBR 12216/1992 estabelece como taxa de filtração máxima para filtros rápidos descendentes de camada simples o valor de 180 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d. Como exposto em Di Bernardo e Dantas (2005), carreiras de filtração acima de 48 h representam um bom controle do processo de filtração. Carreiras curtas podem ser resultado da combinação de um ou mais dos seguintes fatores: coagulação inadequada; falhas nos processos anteriores de tratamento devidas a problemas estruturais nas unidades de floculação e sedimentação; falhas no próprio processo de filtração e retrolavagem dos filtros e conseqüente colmatação dos filtros. A ETA I opera com taxa de filtração adequada durante a operação com menor vazão, porém com valores acima do estabelecido pela norma durante o período com maior vazão; a duração das carreiras de filtração é muito baixa. A ETA II opera com taxa de filtração cerca de um terço do valor máximo estabelecido pela norma e as carreiras de filtração médias são até 2,5 vezes maiores que o valor tido como adequado (48 h).

A Figura 3 apresenta os resultados do acompanhamento da retrolavagem do Filtro 2 – ETA I. Observa-se que a retrolavagem tem curta duração (4 minutos) e apresenta ainda valores elevados de turbidez ao fim do procedimento. Devido à alta velocidade ascensional empregada, a expansão do leito atinge valores elevados (78%), causando a perda de material durante a lavagem. O leito do Filtro 2 era inicialmente de 60 cm, sendo que atualmente esse valor é de 39 cm, inferior aos 45 cm mínimos recomendados pela NBR 12216.

De forma similar, na Figura 4 são apresentados os resultado do acompanhamento da retrolavagem do Filtro 1- ETA II, por dois métodos distintos: M1 – abertura parcial da válvula de água de lavagem e menor velocidade

ascensional da água; e M2 – abertura total da válvula da água de lavagem e maior velocidade ascensional. Os dados são apresentados como turbidez da água de retrolavagem em função do tempo do procedimento.

O método 1 era o procedimento utilizado comumente pelos operadores e o método 2 foi o procedimento adotado pela ETA I após a otimização da retrolavagem. Enquanto o método 1 promovia a expansão do leito de apenas 20%, a aplicação do método 2 gerou expansão de 40% e maior eficiência de limpeza do leito. A lavagem realizada pelo método 2 apresenta duração de 8 minutos, tem acentuado decréscimo da turbidez nos 3 primeiros minutos e mantém os valores entre 10 e 20 uT nos 5 minutos restantes.

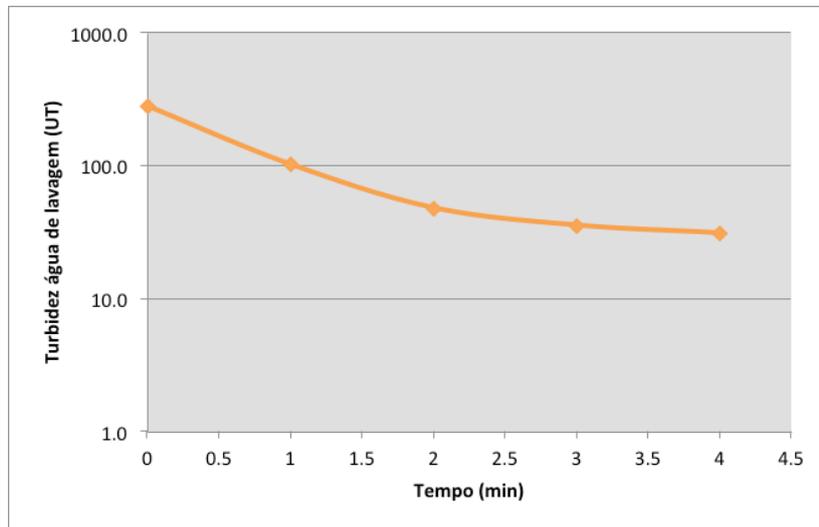


Figura 3. Turbidez da água de lavagem ao longo do tempo para o Filtro 2, ETA I

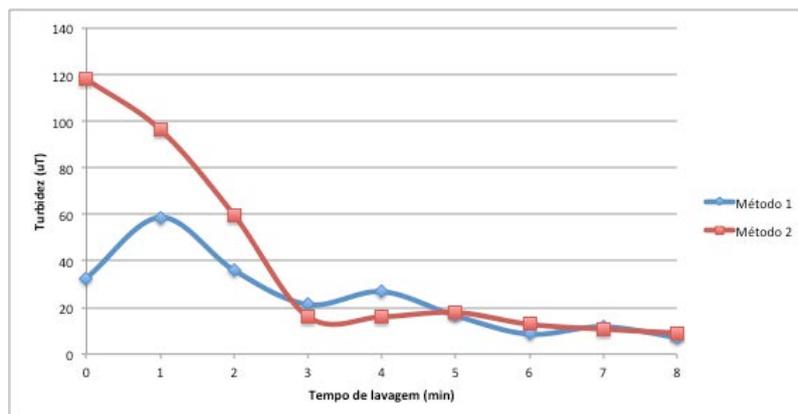


Figura 4. Turbidez da água de lavagem ao longo do tempo para o Filtro 1, ETA II

Dos ensaios de tratabilidade foram obtidos os seguintes parâmetros ótimos: (i) ETA I – coagulação com sulfato de alumínio 4%; tempo de floculação de 25 min e gradientes de floculação de 55, 40, 30, 20, 20, 20 e 20  $s^{-1}$  para as câmaras de 1 a 7, respectivamente; velocidade de sedimentação ótima de 2,80 cm/min; (ii) ETA II – coagulação com sulfato de alumínio 2%; gradientes de floculação de 30, 20, 10, 10, 10 e 10  $s^{-1}$  para as câmaras de 1 a 6, respectivamente; velocidade de sedimentação ótima de 1,40 cm/min.

Nas Figuras 5 e 6 são apresentadas as distribuições de frequência da turbidez da água decantada para ETA I e ETA II, respectivamente. Nas Figuras 7 e 8 são apresentadas, na forma de gráficos *box plot*, as variabilidades dos dados de turbidez da água filtrada, para as ETA I e ETA II, respectivamente.

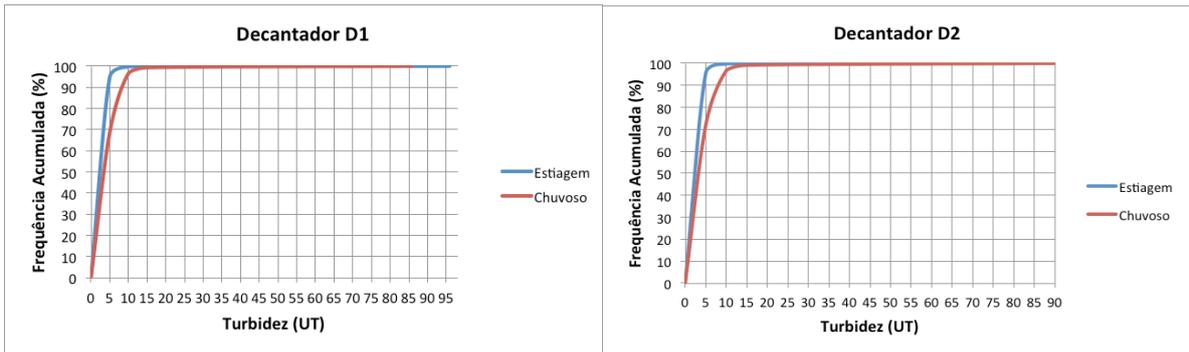


Figura 5. Distribuição de frequência de turbidez da água decantada, decantadores D1 e D2, ETA I, períodos chuvoso e de estiagem.

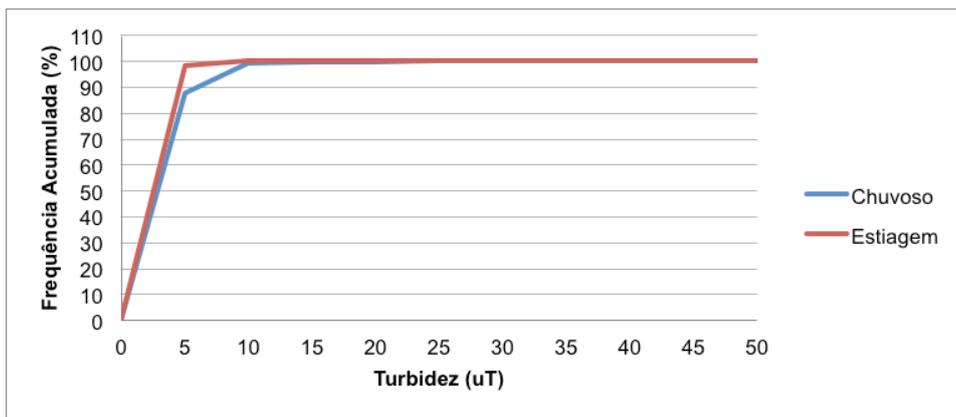


Figura 6. Distribuição de frequência de turbidez da água decantada, ETA II, períodos chuvoso e de estiagem.

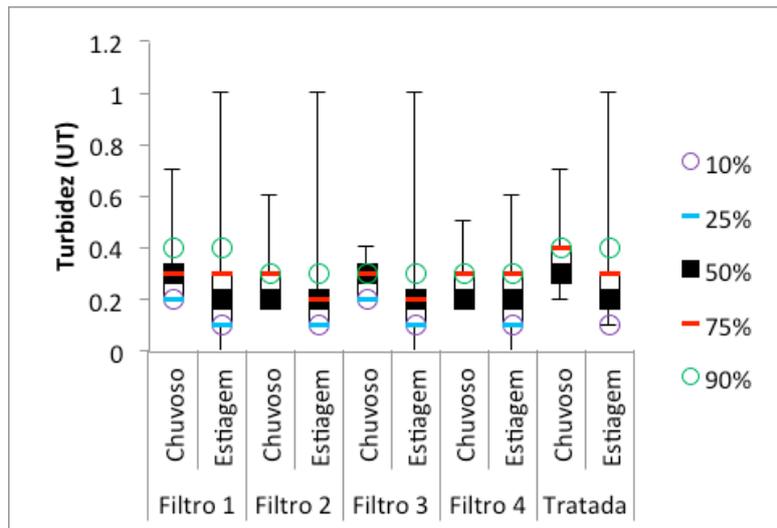


Figura 7. Variabilidade da turbidez da água filtrada, ETA I, períodos chuvoso e de estiagem.

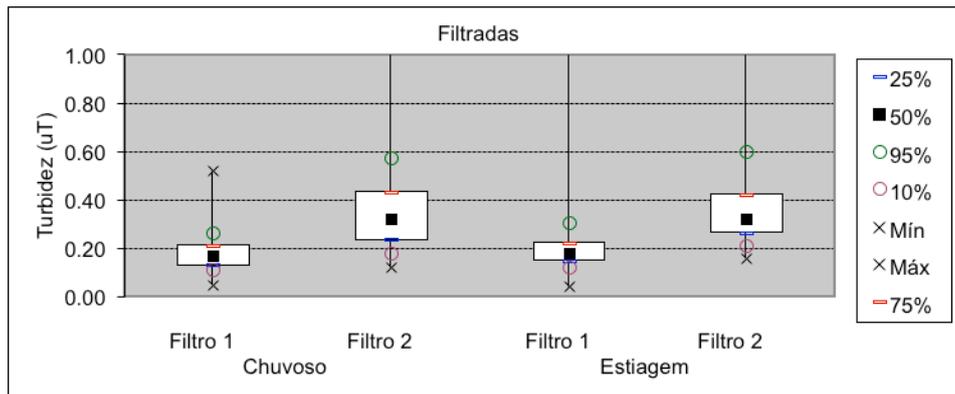


Figura 8. Variabilidade da turbidez da água filtrada, ETA II, períodos chuvoso e de estiagem.

## DISCUSSÃO

Na ETA I foram observados diversos problemas nas etapas sequenciais de tratamento, tais como: imprecisão da medida de vazão, aplicação do coagulante sem diluição, tempo e gradientes de floculação inadequados, vazão de coleta de água decantada, taxas de filtração elevadas, gradientes e tempo de floculação reais bem diferentes dos ótimos determinados nos ensaios de tratabilidade. No entanto, como se pode observar na Figura 1, a ETA I produz água decantada de excelente qualidade, sendo 98% dos dados inferiores a 5 uT para ambos os decantadores no período de estiagem e 70% inferiores a 5 uT no período chuvoso. A água filtrada também apresenta boa qualidade, sendo inferior a 0,5 uT em pelo menos 90% das análises, porém com alguns picos de até 1 uT. Ainda, sobre a água filtrada, é observada maior eficiência no período chuvoso em comparação ao período de estiagem, embora a decantação seja menos eficiente nesse período (chuvoso). Embora a ETA I seja eficiente em termos de remoção de turbidez, o tratamento é feito às custas de maior utilização de produtos químicos e maior número de retrolavagens. Devido à elevada turbulência na entrada da calha Parshall, ocorre a alteração da lâmina do ponto de medição com conseqüente superestimativa da vazão de operação. Como a dosagem de produtos químicos depende da vazão de operação, a imprecisão na medição gera a dosagem de quantidades inadequadas dos produtos. O uso de coagulante não diluído diminui a eficiência de dispersão deste na massa líquida de água, interferindo na qualidade do processo e gerando maior consumo do produto. O ensaio de tratabilidade para coagulação determinou como concentração ótima do coagulante 4%, sendo que na ETA I o sulfato de alumínio é aplicado a 50%. A distribuição inadequada de vazão aos floculadores prejudica a eficiência do processo, gerando valores de gradientes de velocidade e tempos de floculação inadequados. É necessário o redimensionamento das passagens de entrada e das passagens dos floculadores F1 e F2, de forma a obter os valores de tempo e gradientes de acordo com os valores determinados pelos ensaios de tratabilidade. Na etapa de decantação, a taxa de decantação empregada é adequada aos valores estabelecidos pela NBR 12216 e próxima ao valor obtido nos ensaios de tratabilidade, porém, a taxa de coleta de água decantada é elevada, sendo necessária o aumento do comprimento de calhas de coleta para evitar a ressuspensão dos flocos já sedimentados. Os filtros da ETA I, durante a operação com a vazão máxima (6 horas por dia), operam com taxa de filtração acima das recomendações da NBR 12216 e com espessura do leito inferior a 45 cm. O leito utilizado já apresenta 10 anos de operação e sinais de má conservação (areia com coloração escura e espessura inferiores às de projeto). Essas características, juntamente com o processo inadequado de retrolavagem (tempo de lavagem e expansão do leito inadequados), reduzem a duração das carreiras de filtração e contribuem para deterioração do leito e maior consumo de água tratada para a limpeza dos filtros.

Na ETA II, o tratamento ocorre de forma eficiente e com grande maioria das características hidráulicas das unidades com valores de acordo com as recomendações da NBR 12216. O gradiente e tempo de mistura são adequados e a concentração de coagulante utilizada na ETA é igual à ótima, como determinado nos ensaios de tratabilidade. Ainda, a realização de ensaios *jar test* diários para determinação da dose de coagulante a ser aplicado na ETA otimiza a eficiência do tratamento e reduz o consumo de produtos químicos. A ETA II opera com gradientes de velocidade de floculação baixos, mas com tempos de floculação elevados. Portanto, assim como demonstrado pelos ensaios de tratabilidade, a combinação de gradientes baixos com tempo elevado é condição adequada para o tratamento da água em questão, considerando as dimensões do floculador já existente e a vazão de operação. Embora os gradientes na cortina de distribuição favoreçam a quebra de flocos,

a baixa taxa de aplicação superficial (metade do valor ótimo e 3,5 vezes menor que o recomendado por norma) juntamente com a baixa taxa de coleta de água decantada favorecem a produção de água decantada de excelente qualidade (inferior a 5uT em mais de 90% dos dados, em ambos períodos). Assim, a combinação de água decantada de excelente qualidade e baixas taxas de filtração favorece a obtenção de carreiras de filtração maiores e produção de água filtrada com turbidez inferior a 0,5 uT na maior parte do tempo. Recentemente, a ETA II realizou a troca dos leitos filtrantes, fator que deve impactar positivamente as características das carreiras futuras dos filtros. Além disso, os operadores foram treinados para realizar o processo de retrolavagem com duração e expansões adequadas, contribuindo para a produção de água de excelente qualidade e obtenção de carreiras de filtração mais prolongadas.

## CONCLUSÕES

A avaliação de desempenho de duas ETA revelaram características e condições hidráulicas distintas, sendo que na ETA I os problemas identificados são mais sérios. Muito embora ambas as ETAs produzam água com qualidade adequada após as respectivas etapas de tratamento, a ETA I o faz aplicando maior quantidade de coagulante (concentração diferente da ótima) e à custa de retrolavagens frequentes. Portanto, algumas intervenções são recomendadas com o objetivo de reduzir os custos de tratamento de água da ETA I. São recomendadas obras no floculador para adequar a distribuição de água coagulada aos floculadores e para adequar os gradientes de velocidade em cada câmara, de acordo com os valores ótimos obtidos dos ensaios de tratabilidade. É também necessária a instalação de novas calhas de coleta de água decantada e a troca dos leitos filtrantes, além de ajustes na operação, como diluição do coagulante aplicado para a concentração de 4% e adequação do processo de retrolavagem, de forma a prolongar as carreiras de filtração. Na ETA II, as características hidráulicas das unidades apresentam valores em acordo com os estabelecidos pela NBR 12216. Ainda, diversos estudos para melhoria da eficiência do tratamento e da qualidade da água e treinamento contínuo dos operadores da estação favorecem a produção de água com qualidade adequada e com otimização da utilização dos recursos pela ETA II.

## AGRADECIMENTOS

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa, pelo apoio à participação no congresso.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BRASIL. MINISTÉRIO DA SAÚDE. Portaria Nº 2.914, de 12 de Dezembro de 2011. *Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade*. Brasília, 2011.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 12216: Projeto de estação de tratamento de água para abastecimento público: procedimento. Rio de Janeiro: ABNT 1992. 18p
3. CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE. Tratamiento de agua para consumo humano. Plantas de filtración rápida. Manual III: Evaluación de plantas de tecnología apropiada. Lima, Peru: CEPIS, 2005.
4. DI BERNARDO, L.; DI BERNARDO, A; CENTURIONE FILHO, P. L. Ensaios de tratabilidade de água e de resíduos gerados em estações de tratamento de água. São Carlos-SP: Rima, 2002, 237 p.
5. DI BERNARDO, L.; DANTAS, A. Métodos e técnicas de tratamento de água. 2ª. ed. São Carlos: RiMa, 2005, 792 p.