

I-246 - LEVANTAMENTO E CARACTERIZAÇÃO DE DADOS DE TURBIDEZ DE ÁGUA BRUTA E TRATADA DE 44 ETAS NO BRASIL COM TRATAMENTO EM CICLO COMPLETO

Demétrius Brito Viana⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Engenharia Civil – Área de Concentração: Sanitária e Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Rafael Kopschitz Xavier Bastos

Engenheiro Civil pela Universidade Federal de Juiz de Fora (UFJF). Especialista em Engenharia de Saúde Pública pela Escola Nacional de Saúde Pública (ENSP/FIOCRUZ). Doutor em Engenharia Sanitária pela University of Leeds. Pós-doutor em Engenharia de Saúde Pública pela University of Leeds. Professor e pesquisador do Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Viçosa (UFV). Chefe do Serviço de Tratamento de Água da UFV.

Paula Dias Bevilacqua

Médica Veterinária pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Especialista em Epidemiologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Mestre em Epidemiologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Doutora em Epidemiologia pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Professora e pesquisadora do Departamento de Veterinária da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

Endereço⁽¹⁾: SQS 407 Bloco I, 203 – asa Sul – Brasília – DF – CEP: 70256-090 - Brasil - Tel: (61) 8210-4044 - e-mail: demetriusviana@yahoo.com.br.

RESUMO

No Brasil, a recentemente revisada norma de potabilidade da água, a Portaria MS no 2.914/2011 (BRASIL, 2011), estabelece a redução do padrão de turbidez da água filtrada (filtração rápida - tratamento completo ou filtração direta) de 1 uT, estabelecido na revogada Portaria MS nº 518/2004 (BRASIL, 2004), para 0,5 uT.

Entretanto, reconhecendo-se limitações de grande parte dos serviços de abastecimento de água, o atendimento a esse limite deverá ser cumprido progressivamente ao longo de quatro anos: desde em 25% das amostras mensais no primeiro ano, até em 95% no quarto ano.

De forma a contribuir para a discussão sobre a factibilidade de atendimento do novo padrão de turbidez da norma brasileira, bem como de outras referências de normas internacionais, procurou-se neste trabalho levantar e caracterizar estatisticamente dados de turbidez de água bruta e tratada de 44 ETAs no Brasil.

A avaliação de bancos de dados de 44 ETAs revelou que, em geral, as séries de dados de água bruta e tratada (decantada, filtrada e desinfetada) das 44 estações de tratamento avaliadas exibem características que diferem daquelas identificadas na distribuição normal, apresentando assimetria, em regra, positiva, indicando distribuição assimétrica à direita (maior concentração de dados próxima à cauda inferior), e valores de curtose diferentes de três, o que indica que o grau de achatamento das distribuições dos dados de turbidez diferiu do característico de uma distribuição normal.

Quanto o alcance aos critérios de turbidez da água filtrada reconhecidos como indicadores da remoção de (oo)cistos de protozoários, o valor de 1,0 uT na água filtrada foi sistematicamente atendido nas 44 ETAs avaliadas, o limite de 0,5 uT foi atendido em frequência elevada, mas metas mais ambiciosas foram alcançadas com muita dificuldade (0,3 uT), ou rarissimamente (0,15 uT).

No que se refere ao atendimento dos limites e respectivas metas escalonadas estabelecidos na Portaria MS nº 2.914/2011, a meta prevista para o primeiro ano de vigência da Portaria (25% dos dados de turbidez abaixo de 0,50 uT), aparece como cenário atendido na quase totalidade das séries analisadas, sendo já atendidas as metas previstas para o segundo, principalmente, e terceiro anos (50 e 75% dos dados abaixo de 0,50 uT respectivamente). No entanto, evidenciou-se a dificuldade em alcançar a meta final do padrão de turbidez: $\leq 0,5$ uT em 95% dos dados.

PALAVRAS-CHAVE: Água para consumo, turbidez, *Cryptosporidium*.

INTRODUÇÃO

O monitoramento rotineiro da presença de patógenos em água tratada revela-se inviável, tanto no aspecto técnico quanto econômico, em razão da grande diversidade de patógenos possíveis de serem veiculados via abastecimento de água para consumo humano, do alto custo das análises e de limitações analítico-laboratoriais, tais como limite de detecção e taxa de recuperação (BASTOS *et al.*, 2000). Assim sendo, o procedimento de rotina no controle da qualidade microbiológica da água tem sido o emprego de parâmetros indicadores da eficiência do tratamento (ou seja da remoção de organismos patogênicos).

Segundo Bastos *et al.* (2000), a escolha de um organismo que desempenhe o papel de indicador exige que este organismo seja mais resistente ao processo de tratamento que os patógenos e que o mecanismo de remoção de ambos seja semelhante. Nieminski *et al.* (2000) acrescentam que a escolha de um indicador deve ainda levar em conta a praticidade analítica e os custos associados.

Uma vez que os (oo)cistos de protozoários são preponderantemente removidos na decantação e, principalmente, na filtração, parâmetros que expressem a remoção de partículas em suspensão são naturais candidatos a indicadores da remoção de (oo)cistos, como por exemplo, a turbidez e a contagem de partículas por distribuição de tamanho. De modo geral, se reconhece que a otimização do tratamento (a começar pela coagulação) para a remoção de partículas tem, inegavelmente, efeito positivo sobre a remoção de (oo)cistos de protozoários (USEPA, 1991; USEPA, 2006). Em que se pese as limitações quanto à precisão da turbidez como indicador da remoção de (oo)cistos, não restam dúvidas sobre sua utilidade, inclusive pela simplicidade e baixo custo de determinação laboratorial.

Embora seja difícil o estabelecimento de limites numéricos de turbidez que assegurem a ausência de (oo)cistos de protozoários, existem evidências suficientes de que a produção de efluentes filtrados com turbidez a mais reduzida possível representa importante medida de controle de protozoários e nesse sentido caminham muitas das mais influentes normas de qualidade da água para consumo humano (BRASIL, 2011; HEALTH CANADA, 2008; MINISTRY OF HEALTH, 2005; USEPA, 2006).

A turbidez da água filtrada é, reconhecidamente, um dos principais indicadores de desempenho de estações de tratamento de água. Encontra-se consolidado na literatura internacional o entendimento de que, com vistas ao controle de protozoários, deve-se buscar produção de água com a menor turbidez possível, sendo 0,50 uT, 0,30 uT e 0,15 uT valores tomados como indicadores da remoção de, respectivamente, 2,5 log de cistos de *Giardia*, 3 e 3,5 log de oocistos de *Cryptosporidium*.

No Brasil, a recentemente revisada norma de potabilidade da água, a Portaria MS nº 2914/2011 (BRASIL, 2011), incorpora as preocupações internacionais relacionadas à transmissão de protozoários via abastecimento de água. O padrão de turbidez da água filtrada (filtração rápida - tratamento completo ou filtração direta) foi reduzido para 0,5 uT (era 1 uT na Portaria 518/2004). Entretanto, o atendimento ao valor máximo permitido de 0,5 uT turbidez deverá ser cumprido em metas progressivas ao longo de quatro anos: em 25% das amostras analisadas mensalmente no primeiro ano, até em 95% no quarto ano (sempre com VMP de 1 uT no restante das amostras mensais).

Valor limite de turbidez à parte, o fato é que o monitoramento da turbidez é prática incorporada e rotineira na maioria das estações de tratamento de água (ETAs) no Brasil: na água bruta, como parâmetro de controle operacional; na água tratada, como verificação de atendimento ao padrão de potabilidade. Assim, é de se supor que grande número de estações de tratamento de água brasileiras conte com vastos bancos de dados de turbidez da água, por vezes pouco explorados.

Procurou-se, portanto, como um dos objetivos deste trabalho, levantar e caracterizar estatisticamente dados de turbidez de água bruta e tratada em ETAs no Brasil, bem como avaliar o potencial de atendimento dessas ETAs ao novo padrão. Dessa forma, pretende-se contribuir para a discussão sobre a factibilidade de atendimento do novo padrão de turbidez da norma brasileira, bem como de outras referências de normas internacionais, além de sistematizar e disponibilizar informações sobre alcance de metas de turbidez de água filtrada como subsídio ao necessariamente contínuo processo de atualização da norma brasileira de qualidade da água para consumo humano.

MATERIAIS E MÉTODOS

DESCRIÇÃO GERAL DOS DADOS DE TURBIDEZ

Foram obtidos dados de turbidez de 44 ETAs em operação no Brasil, todas com tratamento em ciclo completo e abastecidas por mananciais superficiais, localizadas nos estados de Minas Gerais (30), São Paulo (nove), Paraná (três), Amazonas e Mato Grosso do Sul (uma cada). Os dados solicitados englobavam séries históricas de três anos de monitoramento da turbidez horária em cada etapa do tratamento (água bruta, decantada e filtrada - efluente de cada filtro). Conforme acordado com os serviços de abastecimento, os sistemas não foram identificados.

Percebendo-se acentuada frequência de dados de turbidez extremamente elevados, inclusive para água tratada, procedeu-se, previamente à caracterização estatística, a exclusão de dados atípicos, ou outliers, assim considerados valores acima de $Q3+1,5(Q3-Q1)$ e abaixo de $Q1-1,5(Q3-Q1)$, sendo $Q1$ e $Q3$, respectivamente, primeiro e terceiro quartis (NAGHETTINI e PINTO, 2007). Os dados de turbidez foram inicialmente caracterizados por meio de estatística descritiva: número de dados, média aritmética, mediana, valores máximo e mínimo, quartis inferior e superior, percentis 10 e 90%, desvio padrão, assimetria e curtose.

ESTATÍSTICAS PRELIMINARES PARA VERIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS

Os coeficientes de assimetria e curtose foram utilizados para auxiliar preliminarmente à verificação da normalidade dos dados. De forma a verificar estatisticamente o distanciamento dos coeficientes de assimetria e curtose dos valores típicos da distribuição normal, foram aplicados o Teste de Sinal e o Teste dos Postos sinalizados de Wilcoxon.

AValiação DO ATENDIMENTO AOS CRITÉRIOS DE TURBIDEZ DE ÁGUA FILTRADA.

Tendo como referência os padrões de potabilidade brasileiro (BRASIL, 2011) e norte americano (USEPA, 2006) para turbidez pós-filtração, para a técnica de tratamento em ciclo completo, foi ainda verificado, nas diversas ETAs, o atendimento aos seguintes critérios de turbidez: 0,15 uT, 0,30 uT, 0,50 uT e 1,0 uT, bem como o cumprimento das metas progressivas estabelecidas pela Portaria MS nº 2.914/2011.

RESULTADOS

DESCRIÇÃO GERAL DOS DADOS DE TURBIDEZ

De modo geral, todas as ETAs disponibilizaram um extenso banco de dados de turbidez referentes à água bruta (afluente a estação), água decantada (efluente do decantador) e água filtrada (amostra composta pela mistura dos efluentes de cada filtro). No entanto, apenas sete estações dispunham de dados de turbidez dos efluentes de cada filtro individualmente. Em outros casos, foram fornecidos dados de 'água tratada', (efluente da etapa de desinfecção). Na Tabela 1 encontram-se quantificados os conjuntos de dados disponibilizados por cada estação.

Tabela 1: Caracterização geral do banco de dados fornecido pelas estações de tratamento de água.

Etapas de tratamento	Nº de estações
Bruta, decantada, tratada	20
Bruta, decantada, filtrada composta, tratada	8
Bruta, decantada, filtrada composta	2
Bruta, decantada, filtrada individual, filtrada composta, tratada	4
Bruta, decantada, filtrada individual, tratada	2
Bruta, decantada, filtrada individual	1
Bruta, filtrada composta	7

Praticamente todas as séries de dados apresentaram algum tipo de deficiência ou inconsistência: valores de turbidez excessivamente reduzidos, inclusive para amostras de água bruta, ou elevados, inclusive na água filtrada/tratada; turbidez da água afluente sistematicamente inferior aos valores efluentes por longos períodos; falhas ou períodos em que o monitoramento não foi realizado.

Foram observadas grandes variações em termos de número de dados, frequência de amostragem e período de monitoramento. O período de monitoramento variou de um a nove anos, apresentando, em sua maioria, alguma descontinuidade. Algumas ETAs apresentaram dados médios diários, no entanto, a grande maioria forneceu dados de monitoramento em frequência horária ou a cada duas horas. Na Tabela 2 são apresentados os números de dados que foram utilizados nas análises, já sem os *outliers*, e suas variações.

Tabela 2 – Estatística descritiva da quantidade de dados fornecidos para cada etapa de tratamento.

Tipo de dado	Quantidade de dados	Mínimo	1º quartil	Mediana	2º quartil	Máximo
Água Bruta	449.733	1.373	4.849	8.510	14.832	26.156
Água Decantada	322.286	6	2.026	4.235	12.608	25.406
Filtrada Individual	203.887	1.539	2.585	5.114	20.311	23.460
Filtrada composta	327.466	440	10.555	16.375	21.610	28.727
Água tratada	514.686	503	7.827	14.801	20.650	29.469
Total	1.817.895					

Em geral, para todas as séries de dados, o percentual de dados excluídos foi reduzido. Considerando o banco de dados como um todo, cerca de 5,6% das informações foram identificadas como *outliers*. Em 90% das séries de dados fornecidas por cada estação o percentual de dados excluídos foi inferior a 12%, no entanto houve casos em que o percentual de dados foi mais elevado, cerca de 20% (Figura 1). Na Tabela 3 se verifica que o maior percentual de dados excluídos foi referente à água bruta (9,7%).

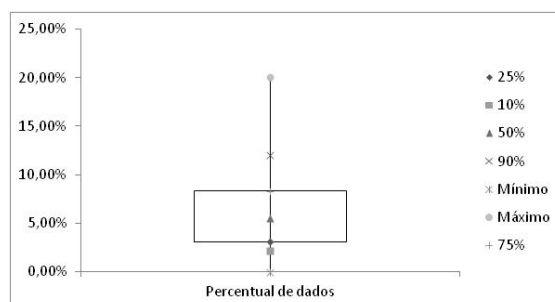


Figura 1 – Variação do percentual de dados excluídos como outliers em cada série de dados.

Tabela 3 – Quantidade de dados com e sem outliers e percentual de dados excluídos para cada etapa de tratamento.

	Água bruta	Água decantada	Filtrada individual	Filtrada composta	Água tratada
Banco de dados com <i>outliers</i>	498.019	336.413	216.591	340.582	535.400
Banco de dados sem <i>outliers</i>	449.733	322.286	203.887	327.466	514.686
Percentual de dados excluídos	9,70%	4,20%	5,87%	3,85%	3,87%

Para as estações que dispunham de dados de água filtrada individual, de água filtrada composta e/ou água de tratada, o teste de Mann-Whitney foi utilizado para avaliar diferenças entre esses tipos de amostras. Os resultados dos testes estatísticos indicaram, em todas as comparações, que, apesar de apresentarem valores de turbidez um tanto próximos, as amostras de água filtrada individual são estatisticamente diferentes das amostras de água filtrada composta e de água tratada. Desse modo, esses dados foram tratados em separado.

As séries de dados foram marcadas por grande variabilidade, com maior destaque para os dados de turbidez da água bruta, tanto em relação aos dados referentes a uma mesma série (mesma ETA), quanto entre séries de dados diferentes (diferentes ETAs). A variabilidade da turbidez nos diversos tipos de amostras foi avaliada com base nos coeficientes de variação (CV) – relação entre desvio padrão e a média aritmética (Figura 2). A análise da figura revela a grande variabilidade dos dados, uma vez que enquanto algumas apresentam certa estabilidade (baixo coeficiente de variação) outras apresentam coeficientes de variação elevados. Na Tabela 4 são apresentadas estatísticas descritivas dos valores de turbidez de todos os dados fornecidos pelas 44 ETAs para cada etapa de tratamento (excluídos os *outliers*).

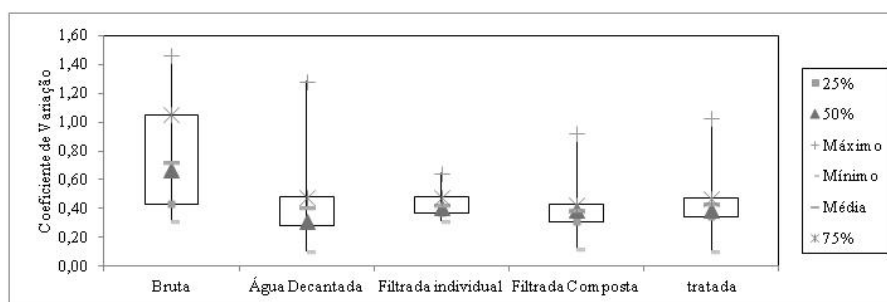


Figura 2 – Variação do coeficiente de variação da turbidez da água nas diferentes etapas do tratamento das 44 ETAs.

Tabela 4 – Estatísticas descritivas referentes à turbidez da água em cada etapa de tratamento, 44 ETAs.

Parâmetro	Bruta	Decantada	Filtrada individual	Filtrada composta	Tratada
Número de dados	449733	322286	203887	327466	514686
10%	3,04	0,68	0,08	0,14	0,15
25%	6,00	1,10	0,11	0,20	0,25
50%	12,50	1,90	0,20	0,29	0,39
75%	25,00	2,94	0,40	0,50	0,60
90%	60,00	5,00	0,64	0,69	0,86
Máximo	1460,00	21,00	1,89	1,80	2,10
Mínimo	0,01	0,02	0,01	0,01	0,01
Desvio Padrão	79,66	1,94	0,27	0,23	0,30

Do exposto, nota-se que a turbidez da água bruta apresentou grandes amplitudes de variação, as quais são, em geral, bem absorvidas nas etapas de decantação e filtração, ainda que se observem variações importantes entre as ETAs avaliadas.

As variações de turbidez da água bruta se fizeram sentir em um mesmo manancial ou entre mananciais distintos. A elevada variabilidade dos dados de turbidez provenientes de um mesmo manancial de abastecimento é característica de mananciais superficiais, principalmente na ausência de barramentos. Já a variabilidade entre diferentes mananciais pode ser resultado das condições climáticas e de uso e ocupação do solo em cada bacia contribuinte. A mediana da turbidez da água bruta variou de 1 a 100 uT, com coeficientes de variação entre 0,31 e 1,46.

Como esperado para uma etapa de separação física, a decantação tende a reduzir marcadamente a turbidez da água, tanto em termos de valores absolutos, quanto de amplitude de variação. Entretanto, a decantação está mais sujeita a variações da água bruta do que a filtração e isso ajuda a explicar a maior amplitude da variação da turbidez da água decantada em relação à da água filtrada. Picos de turbidez da água decantada podem indicar condição de operação em sobrecarga e, ou possíveis falhas na etapa de coagulação / mistura rápida.

Naturalmente, como última barreira de clarificação da água, a filtração mostrou menor variação que a decantação. A maior variabilidade dos dados relativos à água filtrada composta e à água tratada, comparativamente à variabilidade da turbidez medida em cada filtro individualmente, pode ser devida à influência da mistura de águas provenientes de filtros com desempenho diferenciado e, ou de outra etapa do tratamento (desinfecção).

ESTATÍSTICAS PRELIMINARES PARA VERIFICAÇÃO DA DISTRIBUIÇÃO DOS DADOS

Coeficientes de assimetria e curtose foram determinados para os dados de turbidez da água bruta, decantada, filtrada individual, filtrada composta e tratada das 44 estações avaliadas, exceto para uma série de dados de água decantada de uma dada ETA, composta por apenas seis observações. Na Figura 3 são apresentados gráficos de dispersão dos coeficientes de assimetria e curtose, com destaque para os valores típicos de distribuições normais (0 e 3 respectivamente), e gráfico de distribuição de frequência dos coeficientes de assimetria e curtose para água bruta e decanta e na Figura 4 para água filtrada individual, filtrada composta e tratada.

Com exceção de duas séries de dados, uma de água filtrada composta e outra de água tratada, que apresentaram assimetria ligeiramente negativa (-0,1 e -0,07 respectivamente), todas as demais séries das diversas etapas de tratamento foram caracterizadas por assimetria positiva, indicando distribuição assimétrica à direita (maior concentração de dados próxima à cauda inferior).

Muitos valores de curtose foram diferentes de três, o que indica que o grau de achatamento das distribuições dos dados de turbidez diferiu muitas vezes do característico de uma distribuição normal. No entanto, observa-se que os coeficientes de curtose para turbidez da água decantada, filtrada individual, filtrada composta e tratada (ou seja, à exceção da água bruta) apresentaram-se distribuídos em torno de três, com medianas iguais a 3,07; 3,20; 2,94 e 2,97 respectivamente.

Os dados referentes à água bruta se destacaram por apresentar os maiores coeficientes de assimetria, bem como os maiores coeficientes de curtose. Ou seja, os dados de água bruta foram aqueles que demonstraram maior distanciamento dos valores de assimetria e curtose típicos de distribuições normais. Excepcionalmente, os coeficientes de assimetria e curtose dos dados de turbidez de água decantada de uma única estação mostraram-se excessivamente elevados (76 e 6462 respectivamente).

De forma a verificar estatisticamente o distanciamento dos coeficientes de assimetria e curtose dos valores típicos da distribuição normal, foram aplicados o Teste de Sinal e o Teste dos Postos sinalizados de Wilcoxon. Os resultados desses testes indicaram que o coeficiente de assimetria é estatisticamente superior a zero em todas as amostras, já o coeficiente de curtose não pode ser considerado diferente de três para as amostras de água decantada, filtrada individual e tratada, sendo caracterizadas como distribuições mesocúrticas. As amostras de água bruta e filtrada composta apresentaram valores de coeficiente de curtose superiores a três, o que as caracteriza como leptocúrticas.

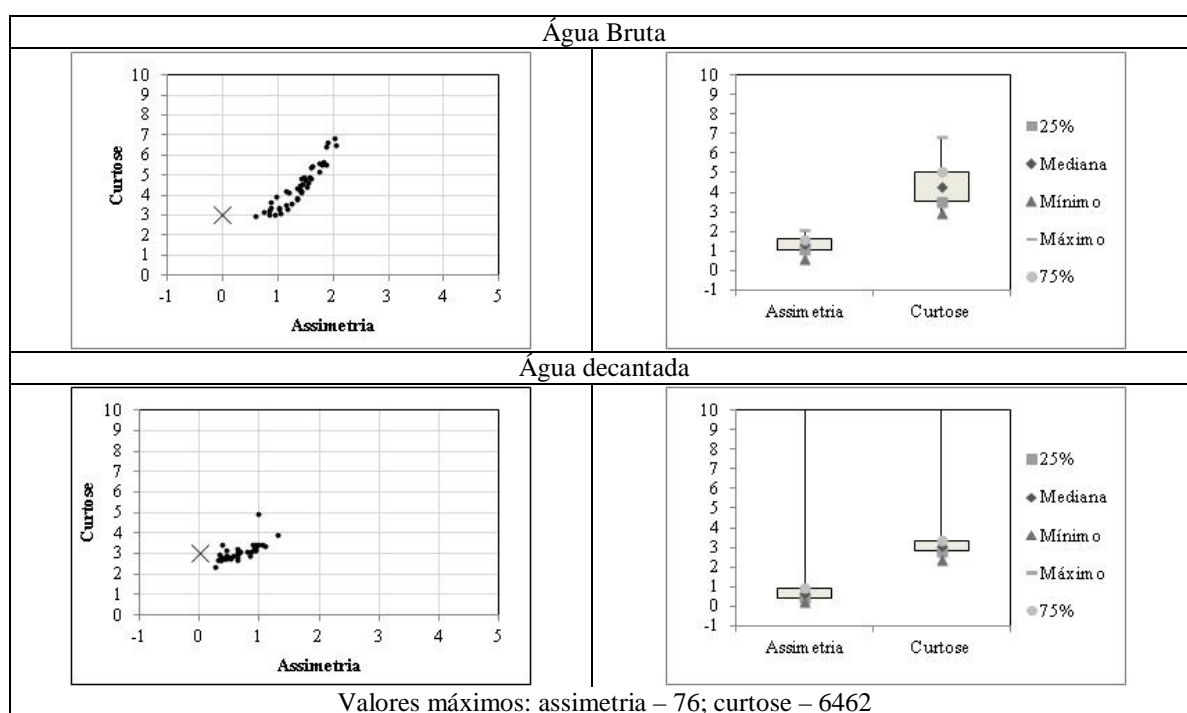


Figura 3 – Turbidez da água bruta e da água decantada: Gráficos de dispersão dos coeficientes de assimetria e curtose e destaque para os valores típicos de distribuições normais (marcado com x) (esquerda), e gráfico de distribuição de frequência dos coeficientes de assimetria e curtose (direita).

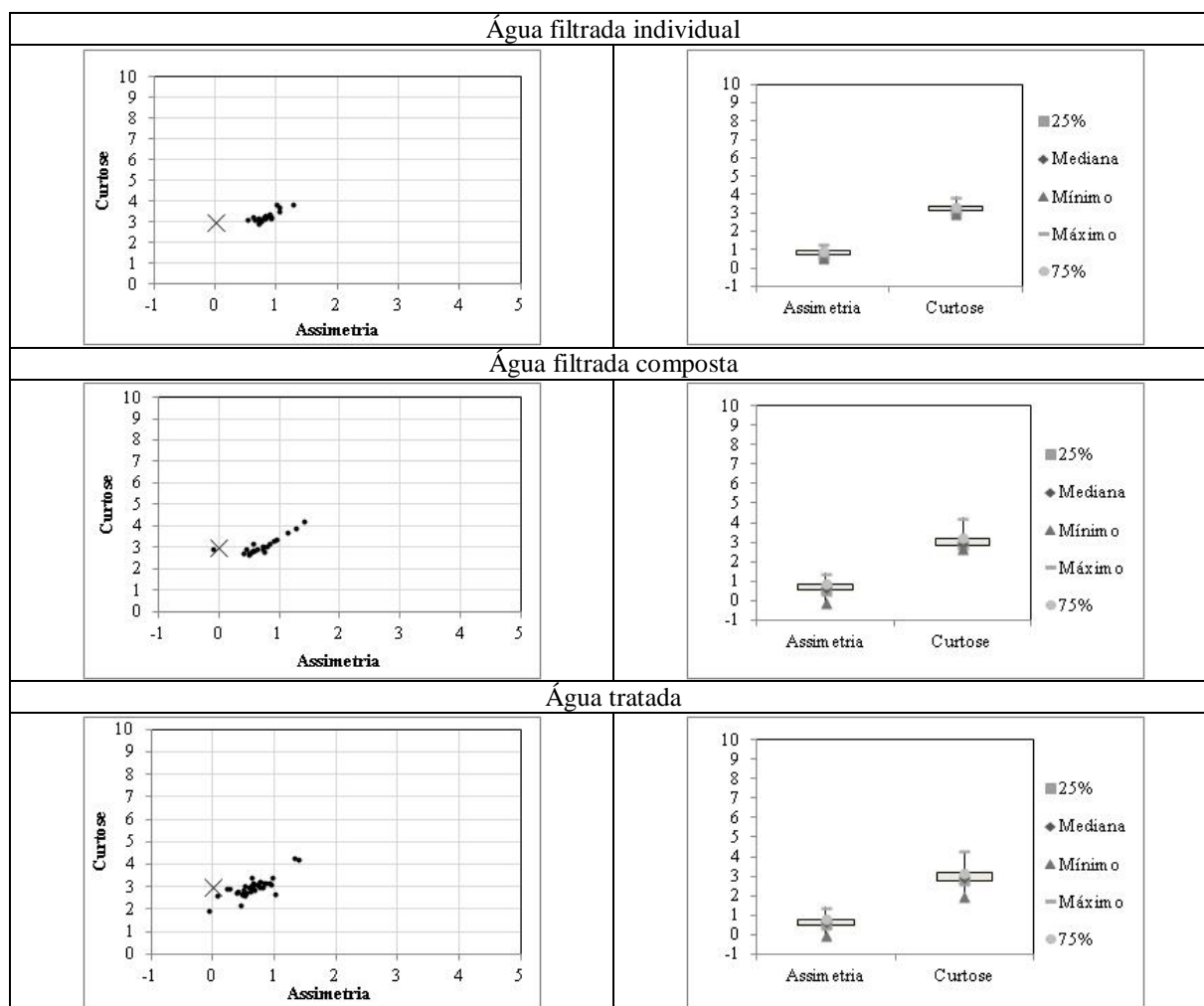


Figura 4 – Turbidez da água filtrada individual, filtrada composta e água tratada. Gráficos de dispersão dos coeficientes de assimetria e curtose e destaque para os valores típicos de distribuições normais (marcado com x) (esquerda), e gráfico de distribuição de frequência dos coeficientes de assimetria e curtose (direita).

Os resultados dos testes de sinal e dos postos sinalizados de Wilcoxon indicaram que o coeficiente de assimetria diferiu de zero em todas as amostras (confirmando a hipótese de assimetria positiva); já o coeficiente de curtose não pode ser considerado diferente de três para as amostras de água decantada, filtrada individual e tratada, sendo caracterizadas como distribuições mesocúrticas. As amostras de água bruta e filtrada composta apresentaram valores de coeficiente de curtose superiores a três, o que as caracteriza como leptocúrticas.

AVALIAÇÃO DO ATENDIMENTO AOS CRITÉRIOS DE TURBIDEZ DE ÁGUA FILTRADA

Como apenas sete ETAs forneceram dados de turbidez dos efluentes de cada filtro individualmente, optou-se por incorporar também os dados de água filtrada composta e água tratada na avaliação do atendimento aos critérios de turbidez de água filtrada. Entende-se que se essa abordagem não constitui critério rigoroso, ao menos permite inferir sobre o desempenho global da estação. Ressalta-se ainda que os dados aqui analisados não incluem os *outliers*, previamente excluídos.

A análise de frequência dos dados de água filtrada individual, filtrada composta e tratada deixa evidente a dificuldade de se alcançar os limites de turbidez entendidos como indicadores da remoção de (oo)cistos de protozoários. Na Figura 5 são apresentadas as estatísticas descritivas das séries de dados de água filtrada

individual, filtrada composta e tratada (valores de turbidez referente a percentis específicos). Já na Figura 6, os dados são apresentados de forma inversa, com os percentuais de atendimento a cada limite de turbidez.

O padrão de 0,15 uT foi rarissimamente alcançado pela grande maioria das estações avaliadas, qualquer que seja o tipo de amostra avaliada (filtrada individual, filtrada composta ou água tratada). Esse padrão foi consistentemente, alcançado em apenas quatro séries de dados de água filtrada individual, uma série de dados de água filtrada composta e uma série de dados de água tratada, pertencentes a uma mesma estação.

Testes estatísticos (teste de Kruskal-Wallis seguido pelo teste de comparações múltiplas entre os valores de turbidez efluentes a cada filtro, a 5% de significância, realizado com o programa XLSTAT), demonstraram que as quatro séries de dados de água filtrada individual apresentaram turbidez, significativamente, inferior às demais.

O limite de 0,30 uT aparece como mais factível de ser atendido, no entanto ainda muito distante de constituir regra dentre as estações avaliadas. Apesar de não serem raros os casos de ETAs que alcançam margem relativamente elevada de dados abaixo 0,30 uT, o percentual de ETAs que atingem esse limite sistematicamente é baixo.

Se, por um lado, este fato comprova a fragilidade de desempenho das estações avaliadas, por outro demonstra ser possível um aperfeiçoamento e a otimização do desempenho das unidades de tratamento, para alcançar valores mais restritivos de turbidez.

Por sua vez, o atendimento aos limites de 0,50 e 1,0 uT, previstos na norma brasileira, desponta como uma realidade das ETAs avaliadas. O limite de 0,50 uT foi alcançado com frequência superior a 80% dos dados em metade das séries de dados, e o limite de 1,0 uT foi sistematicamente atendido pela quase totalidade das estações.

A Portaria MS nº 2.914/2011, prevê um plano de metas progressivas de atendimento ao limite 0,50 uT. A meta prevista para o primeiro ano de vigência da norma de 25% dos dados mensais de turbidez da água filtrada abaixo de 0,50 uT, desponta como um cenário atendido na quase totalidade das séries dados analisadas, sendo que muitas séries de dados já atenderiam as metas previstas para o segundo, principalmente, e terceiro anos (50 e 75% dos dados mensais abaixo de 0,50 uT respectivamente). No entanto, fica evidente a dificuldade de boa parte das estações em alcançar a meta final de atendimento progressivo do padrão de turbidez: $\leq 0,5$ uT em 95% dos dados mensais.

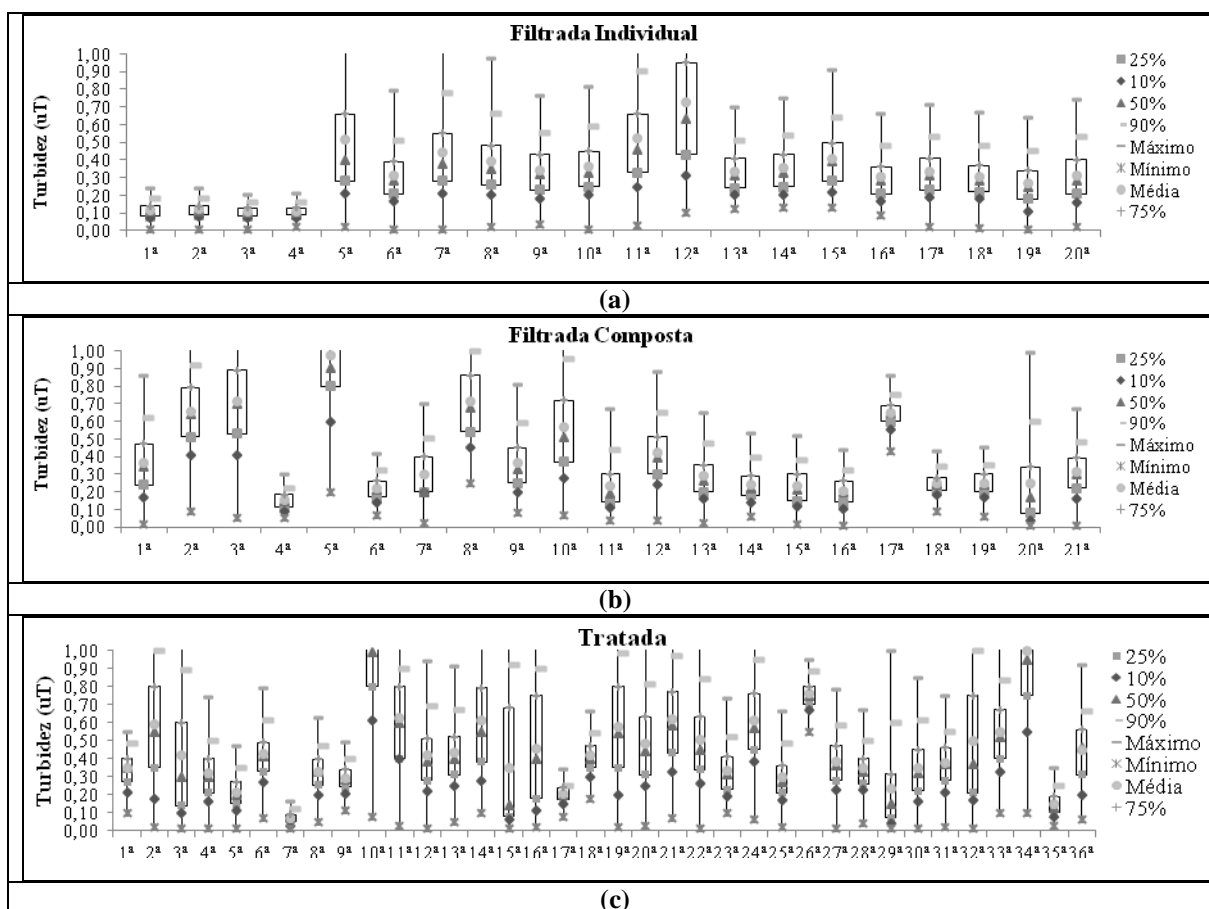


Figura 5 - Distribuição de frequência dos dados de turbidez: (a) 20 séries de dados de efluentes de filtros individuais, (b) 21 séries de dados de água filtrada composta, (c) 36 séries de dados de água tratada.

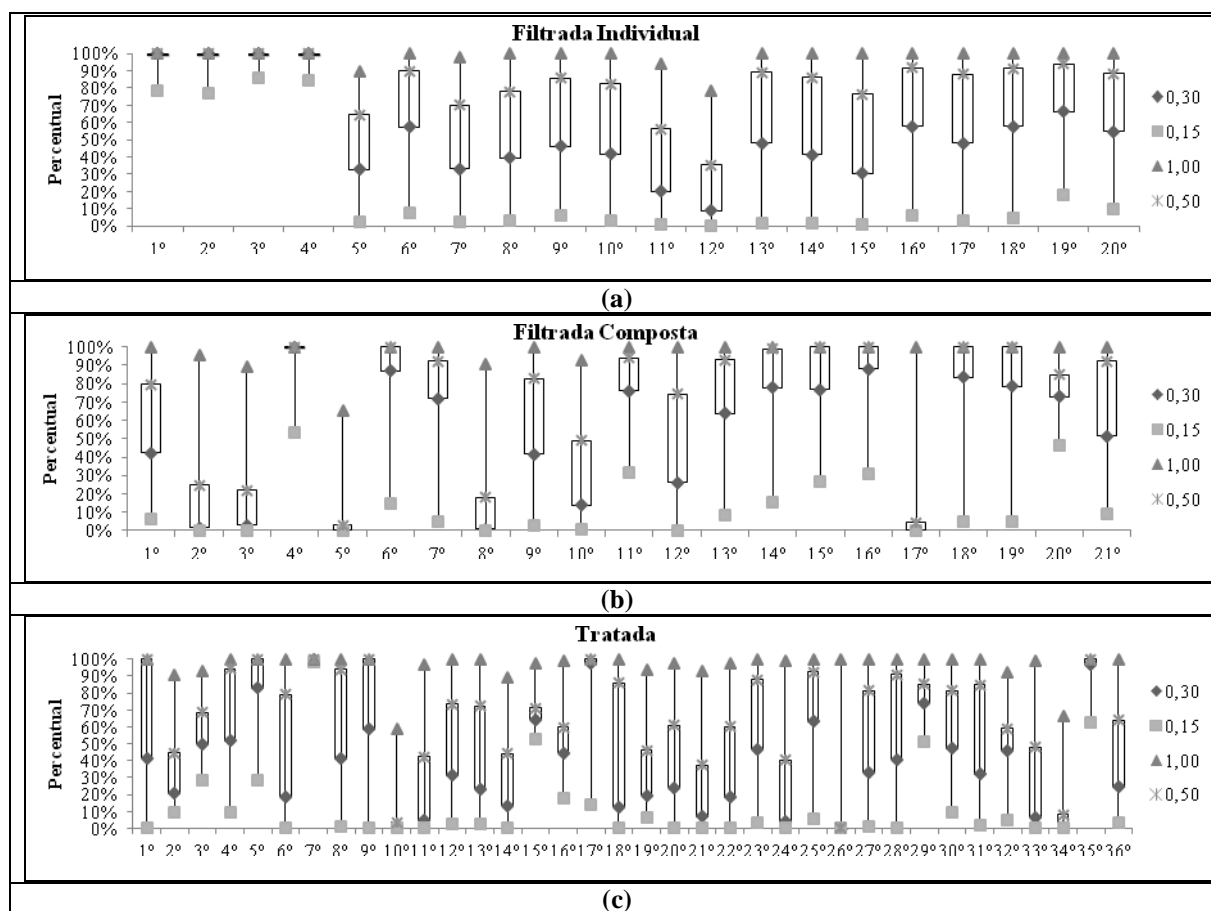


Figura 6 - Frequência de atendimento aos critérios de turbidez: (a) 20 séries de dados de efluentes de filtros individuais, (b) 21 séries de dados de água filtrada composta, (c) 36 séries de dados de água tratada.

CONCLUSÕES

Em geral, as séries de dados de água bruta e tratada (decantada, filtrada e desinfetada) das 44 estações de tratamento avaliadas distanciaram-se da distribuição normal, tendo como base os valores típicos de assimetria e curtose.

As 44 ETAs avaliadas não apresentaram dificuldades de atendimento ao limite de turbidez de água filtrada de 1,0 uT estabelecido na versão anterior da norma brasileira de qualidade da água para consumo humano – a Portaria MS nº 518/2004 (Brasil, 2004).

O valor de 0,50 uT para água filtrada tido como indicador de remoção de cistos de *Giardia* e estabelecido como padrão de potabilidade na Portaria MS nº 2.914/2011 (Brasil, 2011) foi alcançado em frequência relativamente elevada, porém com dificuldade crescente de alcance das metas progressivas de atendimento estabelecidas para os primeiros quatro anos de vigência da norma brasileira.

Por sua vez, os valores de turbidez tidos como indicadores de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* (0,30 e 0,15 uT) foram atendido com dificuldade. Isso sugere que a incorporação de padrão mais rigoroso de turbidez de água filtrada na norma brasileira talvez requeira grandes esforços de otimização de processos de tratamento de água.

Os resultados dessa amostra de ETAs sugerem que a redução do padrão de turbidez de água filtrada de 1 uT da Portaria MS nº 518/2004 para 0,5 uT na Portaria MS nº 2.914/2011 foi decisão acertada e que o novo padrão é factível de ser atendido. Porém, ficou também evidente a dificuldade crescente de alcance das metas progressivas de atendimento desse padrão, principalmente para aquelas estabelecidas para o terceiro e, principalmente, quarto ano de vigência da Portaria MS nº 2.914/2011 e, mais ainda, de metas mais ambiciosas (0,30 e 0,15 uT). Assim, o pleno atendimento do atual padrão de turbidez talvez requeira esforços de otimização de processos de tratamento de água, maiores ainda no caso de eventual adoção de padrão mais rigoroso de turbidez de água filtrada.

Registra-se ainda o grande número de ETAs que não dispõem de dados de turbidez do efluente individual dos filtros e, em menor número, mesmo do efluente filtrado composto originado da mistura dos efluentes de todos os filtros. Cabe ressaltar que o monitoramento da água filtrada é, de acordo com Portaria MS nº 2.914/2011, obrigatório e constitui informação fundamental acerca do desempenho de importante barreira de proteção à veiculação de protozoários (portanto, importante medida de controle de risco).

Sugere-se que outros estudos como o aqui desenvolvido sejam implementados de forma a se obter uma descrição e avaliação mais amplas e representativas do panorama das estações de tratamento de água no Brasil em termos de qualidade de água filtrada e, conseqüentemente, do potencial e limitações de atendimento aos limites de turbidez impostos na norma brasileira de qualidade da água para consumo humano.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; NASCIMENTO, L. E.; CARVALHO, G. R. M.; SILVA, C. V. Coliformes como indicadores da qualidade da água: alcance e limitações. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 27, 2000, Porto Alegre. *Anais...* Rio de Janeiro: ABES/AIDIS, 2000. CD-ROM.
2. HEALTH CANADA. FEDERAL PROVINCIAL TERRITORIAL COMMITTEE ON DRINKING WATER. *Guidelines for Canadian drinking water quality*. Summary table. Ottawa: Health Canada, 2008.
3. MINISTRY OF HEALTH. *Drinking water standards for New Zealand 2005* (Revised 2008). Wellington: Ministry of Health, 2008.
4. NIEMINSKI, E.C.; BE LLAMY, W. D.; MOSS, L. R. Using Surrogates to Improve Plant Performance. *Journal American Water Works Association*. V.92, n.3, p.67–78, 2000.
5. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 2914 de 12 de dezembro de 2011. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativas ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, DF, 14 de dezembro de 2011, Seção 1. p. 39.
6. BRASIL. Ministério da Saúde. Portaria nº 518 de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de

- potabilidade, e dá outras providências. *Diário Oficial da União*, Brasília, Brasília, DF, 26 de março de 2004. Seção 1. p. 266.
7. NAGHETTINI, M.; PINTO, E. J. A. *Hidrologia estatística*. Belo Horizonte: CPRM, 2007. 552 p.
 8. USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. National Primary Drinking Water. Regulations: long term 2 enhanced surface water treatment rule; Final Rule. *Federal Register* – Part II – 40CFR, Parts 9, 141 and 142. Thursday, January 5, 2006.
 9. USEPA - UNITED STATES ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY. *Guidance manual for compliance with the filtration and disinfection requirements for public water systems: using surface water sources*. Washington, DC: USEPA, Office of Drinking Water, 1991.