

VII-016 – AVALIAÇÃO DA CONCENTRAÇÃO DE CARBONO ORGÂNICO TOTAL EM ÁGUA TRATADA PARA HEMODIÁLISE NO ESTADO DE MINAS GERAIS

Amanda Santos de Campos⁽¹⁾

Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária pelo Centro Federal de Educação Tecnológica de Minas Gerais (CEFET-MG).

Cláudia Aparecida de Oliveira e Silva⁽²⁾

Bacharel em Ciência e Tecnologia de Laticínios pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestre em Ciência e Tecnologia de Alimentos pela UFV. Doutora em Ciência de Alimentos pela Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Analista e Pesquisadora em Saúde e Tecnologia do Laboratório de Química Bromatológica (LQB) da Fundação Ezequiel Dias (FUNED).

Flávio Rodrigues Pereira⁽³⁾

Técnico em Química pelo CEFET-MG. Tecnólogo em Normalização e Qualidade Industrial pelo CEFET-MG. Licenciado em Química pela UFMG. Técnico em Saúde e Tecnologia do LQB da FUNED.

Gizele Barrozo Ribeiro⁽⁴⁾

Técnica em Química pelo CEFET-MG. Licenciada em História pela UFMG. Técnica em Saúde e Tecnologia do LQB da FUNED.

Adriana Alves Pereira⁽⁵⁾

Engenheira Química pela UFMG. Mestre em Ciências em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Espírito Santo. PhD pela *Vrije Universiteit Amsterdam*. Professora do Departamento de Ciência e Tecnologia Ambiental do CEFET-MG.

Endereço⁽¹⁾: Avenida Amazonas, 5253 – Nova Suíça - Belo Horizonte - MG - CEP: 30421-169 - Brasil - Tel: (31) 99356-40248 - e-mail: scampos.amanda@gmail.com

RESUMO

A insuficiência renal é diagnosticada quando os rins perdem a capacidade de remover do corpo do indivíduo, através da urina, os produtos de seu metabolismo. Durante o procedimento de hemodiálise o sangue é bombeado até o dialisador. Após esse processo de filtragem, o sangue retorna ao corpo do paciente. Por entrar em contato com o sangue, é essencial que a água utilizada na hemodiálise seja de qualidade, pois dela depende a vida dos pacientes. No Brasil, a água tratada para hemodiálise deve cumprir os padrões normatizados pela Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 11, de 13 de março de 2014. O presente trabalho objetivou determinar as concentrações de carbono orgânico total (COT) em águas tratadas para hemodiálise no estado de Minas Gerais. Através da comparação dos resultados com o limite recomendado pela Canadian Standards Association, pretende-se iniciar uma reflexão a respeito da importância do monitoramento desse parâmetro na avaliação geral da qualidade da água tratada para hemodiálise no Estado. Foram analisadas 100 amostras de água tratada para hemodiálise, provenientes de 85 centros de diálise. A quantificação do COT foi baseada na oxidação por combustão catalítica em temperaturas próximas a 680°C. Utilizou-se o analisador de carbono orgânico total Shimadzu®, modelo TOC-L, com detector de infravermelho não dispersível (NDIR). Do total de 100 amostras de água para hemodiálise analisadas, 61 apresentaram concentrações de COT superiores à recomendada pela Canadian Standards Association (0,50 mg/L). Destas, 39 amostras (64%) apresentaram valores superiores ao dobro do valor recomendado (1,00 mg/L), sendo o valor máximo encontrado de 14,1 mg/L. A análise dos resultados por mesorregião do Estado indicou que oito em doze delas apresentaram pelo menos metade dos resultados de COT acima do recomendado. Dentre as mesorregiões com maior número de centros de diálise, a Zona da Mata e Metropolitana de Belo Horizonte foram as que apresentaram as maiores concentrações de COT na água, sugerindo que o paciente hemodialítico pode estar exposto a riscos durante seu tratamento. Recomenda-se que sejam feitas mais pesquisas na área, de modo a subsidiar a inclusão do monitoramento do COT na avaliação geral da qualidade da água para hemodiálise.

PALAVRAS-CHAVE: Diálise, Monitoramento da Água, Vigilância Sanitária.

INTRODUÇÃO

A insuficiência renal é diagnosticada quando os rins perdem a capacidade de remover do corpo do indivíduo, através da urina, os produtos de seu metabolismo. A insuficiência renal pode ser aguda, quando tem duração de horas ou dias, ou crônica. Na insuficiência crônica, a perda da função dos rins é progressiva e, geralmente, irreversível. Nesta fase, a hemodiálise é indicada para normalizar a remoção de substâncias tóxicas do organismo e adequar o balanço eletrolítico (BUZZO et al., 2010).

Durante o procedimento de hemodiálise o sangue é bombeado até o filtro de diálise (dialisador), que contém inúmeros capilares que agem como membrana semipermeável. Esses capilares estão imersos no dialisato (solução de diálise). Após o processo de filtragem, o sangue retorna ao corpo do paciente (THOMÉ et al., 2006). O dialisato é composto por água tratada, solução concentrada de eletrólitos, solução tamponante e glicose. Por entrar em contato com o sangue, é essencial que a água utilizada na hemodiálise seja de qualidade, pois dela depende a vida dos pacientes (RIELLA, 2010). Esta água também é utilizada para limpeza e desinfecção de materiais reutilizáveis no processo de hemodiálise. No Brasil, a água tratada para hemodiálise deve cumprir os padrões normatizados pela Resolução da Diretoria Colegiada – RDC nº 11, de 13 de março de 2014 (BRASIL, 2014).

A Resolução RDC Nº 11/2014 não estabelece limites para o teor de carbono orgânico total (COT) em águas tratadas para hemodiálise. Porém, a RDC ANVISA Nº 8/2001, que estabelece critérios de boas práticas de fabricação do Concentrado Polieletrólitos para Hemodiálise – CPHD, cita a possibilidade de substituição do parâmetro “Substâncias Oxidáveis” (limite máximo de 0,30 mg/L) por COT quando da avaliação da água utilizada no CPHD, mas sem informar o limite máximo permitido para esse parâmetro (BRASIL, 2001).

O teor de compostos orgânicos nos mananciais de água sugere a presença de substâncias húmicas oriundas da decomposição de matéria orgânica, sendo que sua determinação nas águas naturais pode ser feita através da avaliação do parâmetro carbono orgânico total (COT). A importância do parâmetro COT está relacionada com a propriedade de a matéria orgânica reagir com compostos clorados, geralmente usados como desinfetantes nas águas de abastecimento, formando os trihalometanos (THM). Os THM são considerados subprodutos da cloração de águas tratadas e apresentam propriedades carcinogênicas (LIBÂNIO et al, 2000).

A avaliação da concentração de COT poderia também indicar a presença de algas e de compostos excretados por elas, muitos deles tóxicos. Em caso de acesso direto à corrente sanguínea, a atuação das toxinas é geralmente fatal, como demonstrou o caso dos pacientes de uma clínica de hemodiálise na cidade de Caruaru, Pernambuco (POURIA et al., 1998). Apesar desse parâmetro também não apresentar padrões máximos recomendados pelas Farmacopéias Americana e Européia, seu monitoramento em águas para uso em hemodiálise é recomendado pela Canadian Standards Association, que cita como limite máximo o teor de 0,50 mg/L (WARD, 2007).

Desta forma, no presente trabalho teve-se como objetivo determinar as concentrações de COT em águas tratadas para hemodiálise utilizadas nos centros de diálise do estado de Minas Gerais. Através da comparação dos resultados com o limite recomendado pela Canadian Standards Association, pretende-se iniciar uma reflexão a respeito da importância do monitoramento desse parâmetro na avaliação geral da qualidade da água tratada para hemodiálise no Estado.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisadas 100 amostras de água tratada para hemodiálise, provenientes de 85 centros de diálise localizados no estado de Minas Gerais, obtidas no ponto de coleta localizado na sala de processamento de capilares. As amostras foram coletadas por técnicos da Vigilância Sanitária do Estado de Minas Gerais durante o ano de 2017, em recipientes esterilizados de vidro de cor âmbar e preservadas com ácido fosfórico concentrado (H_2PO_4) em pH inferior a 2,0. As amostras foram encaminhadas ao Laboratório de Química Bromatológica (LQB) da Fundação Ezequiel Dias (FUNED), que compõe o Laboratório Central de Saúde Pública do Estado de Minas Gerais (LACEN-MG), para medição da concentração de COT.

A quantificação do COT foi realizada de forma direta, de acordo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2017). O método é baseado na oxidação por combustão catalítica em

temperaturas próximas a 680 °C. Utilizou-se o analisador de carbono orgânico total Shimadzu®, modelo TOC-L, com detector de infravermelho não dispersível (NDIR).

Inicialmente, o analisador de carbono adicionou ácido clorídrico (HCl) 1 mol/L à amostra, para conversão do carbono inorgânico, se presente, a gás carbônico (CO₂). Em seguida a mistura ácido/amostra era borbulhada com o gás de arraste (ar sintético), com vazão ajustada de 150 mL/min. Dessa forma, o CO₂ convertido foi removido da solução, restando somente o carbono orgânico não purgável, que corresponde ao COT. O mesmo foi oxidado a CO₂ através de combustão catalítica utilizando a platina. O gás carbônico foi resfriado e conduzido ao detector de infravermelho, onde foi efetuada a leitura de COT. A concentração de COT na amostra foi determinada pela utilização de curva de calibração elaborada a partir de soluções padrão sacarose de pureza grau USP (United States Pharmacopeia). As faixas de trabalho utilizadas foram de concentração determinadas foram de 0,05 a 1,0 mg/L e 1,0 a 50,0 mg/L de COT.

A água utilizada no preparo das soluções padrão e como branco foi classificada como ultrapura e obtida pelo sistema Milli-Q da Millipore®. As análises foram realizadas em duplicata.

Os serviços de diálise e os resultados das amostras analisadas foram agrupados em 12 mesorregiões do Estado, conforme a divisão estabelecida pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2010) (Tabela 1).

Tabela 1: Quantidade de amostras de água para hemodiálise analisadas provenientes de centros de diálise localizados em cada mesorregião (n=12) do estado de Minas Gerais.

Mesorregião	Centros de Diálise	Quantidade de Amostras
Campo das Vertentes	2	2
Central Mineira	2	2
Jequitinhonha	2	3
Metropolitana de Belo Horizonte	23	30
Noroeste de Minas	1	2
Norte de Minas	6	6
Oeste de Minas	3	3
Sul/Sudoeste de Minas	14	16
Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	15	16
Vale do Mucuri	2	2
Vale do Rio Doce	4	4
Zona da Mata	11	14
Total	85	100

As concentrações de COT obtidas foram comparadas com o limite recomendado pela Canadian Standard Association (0,50 mg/L). Foi realizada a estatística descritiva dos resultados de COT, utilizando os resultados globais e também agrupados por mesorregião.

Previamente à análise estatística, a normalidade dos dados foi testada através do Teste de *Shapiro-Wilk* e a homogeneidade de variância avaliada pelo Teste F. Como os dados não apresentaram distribuição normal nem homogeneidade de variâncias entre mesorregiões, as diferenças entre as medianas das concentrações de COT foram testadas utilizando o teste de *Kruskal-Wallis*. Para as quatro mesorregiões que apresentaram maiores números de amostras analisadas (Metropolitana de Belo Horizonte, Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba, Sul/Sudoeste de Minas e Zona da Mata), as diferenças nas medianas dos resultados de COT foram testadas utilizando o teste de Mann-Whitney. O nível de significância adotado foi de 5% ($\alpha = 0,05$) e o pacote estatístico utilizado foi o *software R* (versão 3.4.2).

RESULTADOS OBTIDOS

As concentrações de COT nas 100 amostras de água tratada para hemodiálise são apresentadas na Figura 1.

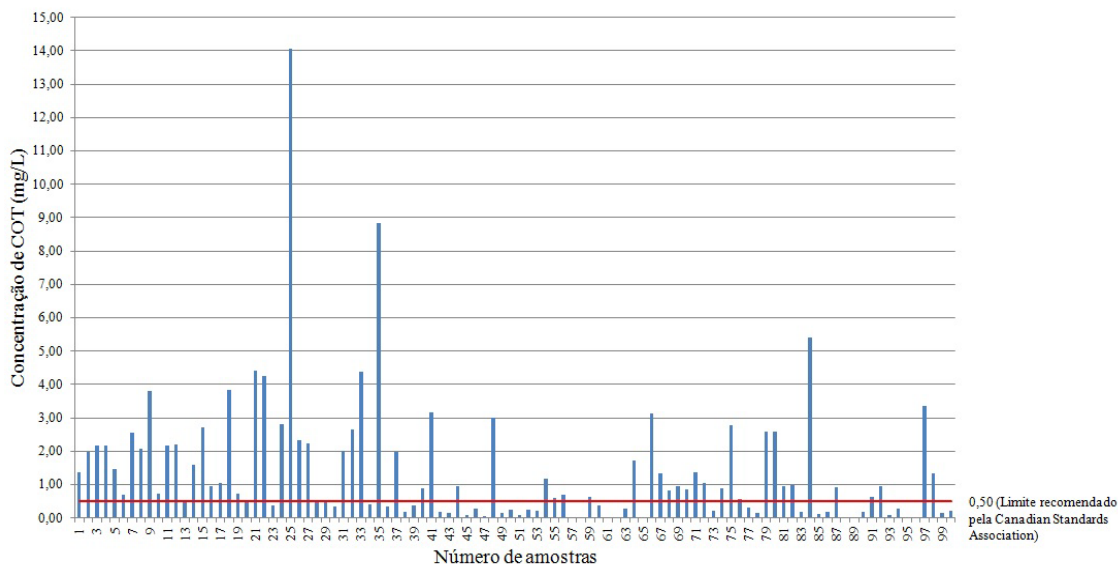


Figura 1: Concentrações de carbono orgânico total (COT) (mg/L) em amostras de água tratada para hemodiálise proveniente de 85 centros de diálise localizados no estado de Minas Gerais (n = 100).

A tabela 2 apresenta a estatística descritiva dos dados de COT, utilizando todos os resultados e separados por mesorregião. Foram determinados os valores mínimos, os valores máximos, as médias, as medianas, os desvios padrão e os coeficientes de variação do parâmetro.

Tabela 2: Estatística descritiva das concentrações de carbono orgânico total (COT) (mg/L) em água para hemodiálise proveniente de serviços de diálise distribuídos por mesorregiões no estado de Minas Gerais.

Mesorregião	Número de amostras	Valor mínimo	Valor máximo	Média	Mediana	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação
Todas as mesorregiões	100	0,03	14,1	1,4	0,76	1,9	138,4
Campo das Vertentes	02	0,96	8,8	4,9	4,9	5,6	113,7
Central Mineira	02	0,36	3,2	1,8	1,8	2,0	112,4
Jequitinhonha	03	0,03	1,4	0,81	1,0	0,69	85,6
Metropolitana de Belo Horizonte	30	0,03	4,4	1,6	1,2	1,3	81,9
Noroeste de Minas	02	0,54	3,0	1,8	1,8	1,8	98,5
Norte de Minas	06	0,03	2,7	0,62	0,24	1,0	165,2
Oeste de Minas	03	0,08	1,5	0,56	0,13	0,79	140,8
Sul/Sudeste de Minas	16	0,03	14,1	1,8	0,51	3,6	196,6
Triângulo Mineiro e Alto Paranaíba	16	0,03	3,1	0,57	0,19	0,85	149,7
Vale do Mucuri	02	0,50	0,61	0,56	0,56	0,08	14,0
Vale do Rio Doce	04	0,15	0,55	0,31	0,27	0,18	58,9
Zona da Mata	14	0,28	4,4	2,0	2,1	1,2	59,1

Na figura 2 observa-se o percentual de amostras, em cada mesorregião, que apresentaram a concentração de COT acima do limite recomendado pela norma canadense.

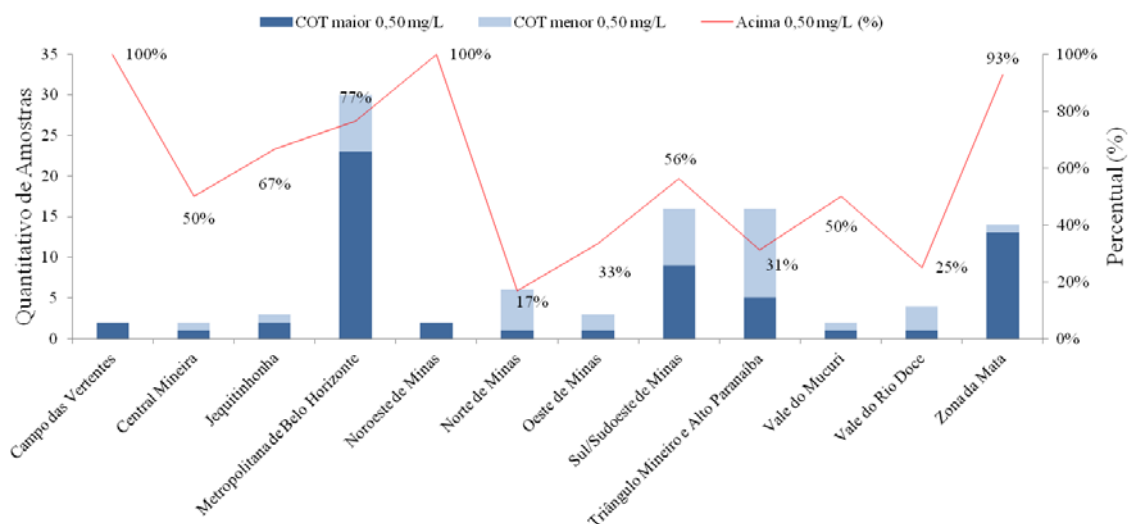


Figura 2: Total de amostras de água para hemodiálise analisadas para o parâmetro carbono orgânico total (COT) (Quantitativo de amostras), total de amostras maiores que 0,50 mg/L, total de amostras menores que 0,50 mg/L e percentual de resultados acima de 0,50 mg/L. Resultados distribuídos por mesorregiões do estado de Minas Gerais (n = 100).

O teste de *Kruskal-Wallis* indicou diferenças significativas entre as medianas dos resultados de COT para as 12 mesorregiões ($p = 0,006$). Na tabela 3 estão apresentados os resultados das comparações das medianas de COT entre as quatro mesorregiões com maior quantidade de amostras, realizadas através do teste de *Mann-Whitney*.

Tabela 3: Resultados das comparações das concentrações médias de carbono orgânico total (COT) em água para hemodiálise entre quatro mesorregiões do estado de Minas Gerais (p-valores do Teste de Mann-Whitney).

COT	Metropolitana de BH	Sul/Sudoeste	Triângulo e Alto Paranaíba	Zona da Mata
Metropolitana de BH	-	-	-	-
Sul/Sudoeste	$p = 0,119$	-	-	-
Triângulo e Alto Paranaíba	$p = 0,002$	$p = 0,300$	-	-
Zona da Mata	$p = 0,212$	$p = 0,029$	$p = 0,0003$	-

ANÁLISE E DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

Do total de 100 amostras de água para hemodiálise analisadas no presente estudo, 61 apresentaram concentrações de COT superiores ao limite recomendado pela Canadian Standards Association (0,50 mg/L) (Figura 1). Isto significa que os pacientes hemodialíticos podem estar expostos a diversos riscos durante o tratamento. Elevados valores de COT podem indicar a presença de THM, compostos associados ao desenvolvimento de câncer. Além disso, altos níveis de COT também sugerem a presença de algas e de compostos excretados por elas, que apresentam ação tóxica mais potente quando em contato direto com a corrente sanguínea do que quando ingeridos. Esses compostos podem causar desde irritação na pele e mucosa e intoxicações gastrointestinais, até bloqueio nas transmissões neuromusculares, causando a morte do paciente em poucos dias após a exposição inicial (SANCHES et. al., 2012).

Das amostras apresentaram concentrações de COT maiores que o recomendado, 39 (64%) apresentaram valores superiores ao dobro do valor (1,0 mg/L), sendo que o valor máximo encontrado foi de 14,1 mg/L, ou seja, 28 vezes maior que o limite recomendado pela Canadian Standards Association (Figura 1).

Baseado nos resultados da estatística descritiva, demonstra-se que o COT apresenta, quando consideradas todas as mesorregiões, um conjunto de dados heterogêneo, uma vez que tanto o desvio padrão quanto o coeficiente de variação calculados foram elevados. Todas as mesorregiões apresentaram coeficiente de variação acima de 50 %, mostrando que em todas elas as amostras não podem ser consideradas homogêneas.

Ao analisar os resultados de COT distribuídos por cada mesorregião do Estado (Figura 2), observa-se que as mesorregiões Campo das Vertentes, Noroeste de Minas e Zona da Mata apresentaram, respectivamente, 100%, 100% e 93% dos resultados de COT acima do valor de referência. Apesar desses elevados percentuais observados, deve-se ressaltar que apenas 2 amostras foram analisadas nas mesorregiões Campo das Vertentes e Noroeste de Minas (Tabela 1). No entanto, a mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte, que teve o maior número de amostras analisadas (30 amostras), também apresentou um elevado percentual (77%) de resultados de COT acima de 0,5 mg/L (Figura 2). Além disso, das 12 mesorregiões do Estado, 8 mesorregiões (67%) apresentaram 50% de suas amostras ou mais com concentração de COT acima do recomendado.

Com relação aos resultados de COT em água para hemodiálise nas quatro mesorregiões onde foram analisados os maiores números de amostras, observa-se que a Zona da Mata apresentou concentrações mais elevadas que as mesorregiões Sul/Sudoeste de Minas e Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba ($p < 0,05$), e não apresentou diferenças significativas nas concentrações de COT em comparação com a mesorregião Metropolitana de Belo Horizonte ($p > 0,05$ Tabela 2; Tabela 3). De fato, os serviços de diálise que compõem as mesorregiões Zona da Mata e Metropolitana de Belo Horizonte apresentaram elevados percentuais de resultados de COT acima do valor recomendado pela Canadian Standard Association (Figura 2). Esses serviços necessitam de um acompanhamento sistemático dos agentes de saúde visando à garantia da qualidade da água tratada para hemodiálise e consequentemente a segurança dos pacientes renais.

CONCLUSÕES

Os resultados indicaram que a maioria das amostras de água tratada para hemodiálise apresentaram concentrações de COT elevadas, sendo superiores ao limite recomendado pela Canadian Standards Association (0,50 mg/L). Isto indica que a água utilizada para tratamento de hemodiálise no estado de Minas Gerais está susceptível à formação dos THM, considerando que o cloro é um desinfetante comumente utilizado nas estações de tratamento de água no Estado. Isso é uma constante no Estado, uma vez que a maioria das mesorregiões (67%) apresentaram 50% ou mais amostras acima do recomendado. Os centros de diálise localizados nas mesorregiões Zona da Mata e Metropolitana de Belo Horizonte necessitam de acompanhamento constante dos agentes de saúde visando à segurança dos pacientes, uma vez que apresentaram maiores concentrações de COT em relação aos centros de diálise localizados em outras mesorregiões que também possuem elevado número de centros de diálise (Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e Sul/Sudoeste de Minas).

Os níveis de COT encontrados podem indicar que a água tratada para hemodiálise no Estado pode conter algas e compostos excretados por elas, muitos deles tóxicos. Esses resultados sugerem que o paciente hemodialítico pode estar exposto a riscos durante seu tratamento. Como poucos trabalhos sobre o assunto foram publicados até o presente momento, recomenda-se que sejam feitas mais pesquisas na área, avaliando uma quantidade maior de amostras de água de hemodiálise e correlacionando com os resultados dos parâmetros estabelecidos pela Resolução RDC Nº 11/2014, de modo a subsidiar a importância do COT na avaliação geral da qualidade da água para hemodiálise.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA. AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*, 23rd edition. 2017.
2. BRASIL. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC Nº 8, de 2 de janeiro de 2001. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2001

3. BRASIL. Farmacopeia Brasileira. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 5ª. ed., v. 1, 545 p., Brasília. 2010.
4. BRASIL. Resolução da Diretoria Colegiada – RDC Nº 11, de 13 de março de 2014. Ministério da Saúde. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. 2014.
5. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Tabelas – Mesorregiões, microrregiões, municípios, distritos, subdistritos e bairros dos estados brasileiros. Censo 2010*. Disponível em: <https://ww2.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/caracteristicas_da_populacao/caracteristicas_da_populacao_tab_municipios_zip_xls.shtm>. Acesso em: 10 jul. 2017.
6. BUZZO, M. L. et. al. *A importância de programas de monitoramento da qualidade da água para diálise na segurança dos pacientes*. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, v. 69(1), p.1-6. 2010.
7. LIBÂNIO, M.; LIBÂNIO, P.A.C.; COSTA, B. M. P.; VON SPERLING, E. *Avaliação da relevância do carbono orgânico total como parâmetro de caracterização de águas de abastecimento*. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 5(4), p.41-55. 2000.
8. POURIA, S.; DE ANDRADE, A.; BARBOSA, J. *Fatal microcystin intoxication in haemodialysis unit in Caruaru, Brazil*. *Lancet*, v.352, p. 21-26. 1998.
9. RIELLA, M. C. *Princípios de nefrologia e distúrbios hidroeletrolíticos*. 5ª ed. Rio de Janeiro: Guanabara Koogan. 2010.
10. SANCHES, S. M et. al. *Presença da toxina microcistina em água, impactos na saúde pública e mediads de controle*. *Revista de Ciências Farmacêuticas Básica e Aplicada*, v. 33(2), p. 181-1187. 2012.
11. THOMÉ, F. S; KAROL, C; GONÇALVES, L. F. S; MANFRO, R. C. *Métodos dialíticos*. Em: *Barros E; Manfro, R. C, Thomé, F. S; Gonçalves, L. F. S. Nefrologia: rotinas, diagnóstico e tratamento*. 3ª. ed. Porto Alegre: Artes Médicas, p. 272-8. 2006.
12. WARD, R. A. *Worldwide water standards for hemodialysis*. *Hemodialysis International*, v. 11, p. 18-25. 2007.