

## I-089 – AVALIAÇÃO QUANTITATIVA DO RISCO MICROBIOLÓGICO EM DOIS SISTEMAS DE ABASTECIMENTO DE ÁGUA DE MINAS GERAIS

**Fabiana de Cerqueira Martins<sup>(1)</sup>**

Bióloga pelo Instituto de Ciências Biológicas da Universidade Federal de Minas Gerais (ICB/UFMG). Mestre em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela Escola de Engenharia da UFMG (EE/UFMG).

**Daniel Adolpho Cerqueira**

Biólogo pela Pontifícia Universidade Católica de Minas Gerais. Mestre em Microbiologia pelo ICB/UFMG. Doutor em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos pela EE/UFMG. Consultor em Microbiologia Ambiental e Sanitária.

**Valter Lúcio de Pádua**

Engenheiro civil pela EE/UFMG. Mestre e doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Escola de Engenharia da UFMG (DESA/EE/UFMG).

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Guajajaras, 629, ap. 701 – Centro – Belo Horizonte - MG – CEP: 30.180-100 – Brasil – Tel: (31) 9148-7123 – E-mail: [fab\\_i\\_ecologia@yahoo.com.br](mailto:fab_i_ecologia@yahoo.com.br)

### RESUMO

Inúmeros microrganismos encontrados nas águas podem causar danos à nossa saúde, porém nem todos podem ser pesquisados diretamente. Alguns desses microrganismos apresentam grande persistência ambiental, baixa dose infectante e elevada resistência aos processos convencionais de desinfecção. Por conta de aspectos como esses, os protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia* têm sido alvo de preocupação nas últimas décadas, pois são parasitos cosmopolitas, transmitidos pela rota feco-oral, têm causado muitos surtos de doenças gastrointestinais – criptosporidiose e giardiose, respectivamente – associados ao consumo de água submetida ou não a tratamento. A importância de avaliar o risco microbiológico associado à ocorrência de *Cryptosporidium* e *Giardia* em ambientes aquáticos é reforçada pela Portaria nº. 2.914/2011 do Ministério da Saúde do Brasil, que determina o monitoramento desses protozoários com o intuito de atingir o padrão de potabilidade da água. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar o risco microbiológico da água distribuída por dois sistemas de abastecimento de água de Minas Gerais no que concerne à presença de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. Para tanto, foram monitorados, quinzenalmente, durante os meses de janeiro a outubro de 2011, as águas bruta e tratada de dois sistemas de abastecimento de água da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH), para análise de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. Foram calculadas as concentrações e eficiências de remoção (em unidades logarítmicas) para ambos os microrganismos e foram estimadas as probabilidades diária e anual de infecção para cada protozoário investigado, segundo o modelo exponencial, de acordo com a metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico. Constatou-se que no Sistema A a ocorrência de *Cryptosporidium* e *Giardia*, tanto na água bruta quanto na água tratada, foi superior àquela observada no Sistema B; foram encontradas baixas concentrações e percentuais de ocorrência dos protozoários na água tratada dos dois sistemas de abastecimento avaliados; ambos os sistemas de abastecimento de água avaliados mostraram-se suficientemente eficientes na remoção dos protozoários em estudo; e as concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. encontradas na água de consumo dos sistemas de abastecimento estudados não se enquadram no risco aceitável pela norma dos Estados Unidos, mas são próximas ao risco aceitável pelo Canadá e Organização Mundial de Saúde.

**PALAVRAS-CHAVE:** Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico, *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp, risco de infecção, sistemas de abastecimento de água.

## INTRODUÇÃO

Inúmeros microrganismos encontrados nas águas podem causar danos à nossa saúde, porém nem todos podem ser pesquisados diretamente, devido à inexistência de técnicas adequadas de identificação e quantificação e/ou pela inviabilidade prática e econômica. Alguns desses microrganismos apresentam grande persistência ambiental, baixa dose infectante e elevada resistência aos processos convencionais de desinfecção. Por conta de aspectos como esses, os protozoários *Cryptosporidium* e *Giardia* têm sido alvo de preocupação nas últimas décadas, pois são parasitos cosmopolitas, transmitidos pela rota feco-oral, têm causado muitos surtos de doenças gastrointestinais – criptosporidiose e giardiose, respectivamente – associados ao consumo de água submetida ou não a tratamento (THOMPSON, 2000; CAREY; LEE; TREVORS, 2004; KARANIS; KOURENTI; SMITH, 2007; LIM; AHMAD; SMITH, 2008; WHO, 2011).

A importância de avaliar o risco microbiológico associado à ocorrência de *Cryptosporidium* e *Giardia* em ambientes aquáticos é reforçada pela Portaria nº. 2.914/2011 do Ministério da Saúde do Brasil (BRASIL, 2011), que determina o monitoramento desses protozoários com o intuito de atingir o padrão de potabilidade da água.

Ultimamente tem sido crescentemente utilizada como ferramenta de controle e prevenção da exposição de populações e indivíduos a agentes ou situações perigosas à saúde a abordagem de avaliação de risco (BASTOS; BEVILACQUA; MIERZWA, 2009). Esta consiste na caracterização e estimativa qualitativa ou quantitativa do potencial de efeitos adversos à saúde associados à exposição de indivíduos ou populações aos perigos (materiais ou situações, físicos, químicos e/ou agentes microbianos). A avaliação de risco não é utilizada isoladamente, mas é parte do que é conhecido em um contexto mais amplo como análise de risco, a qual inclui, além da avaliação de risco, o gerenciamento de risco e a comunicação de risco (HAAS; ROSE; GERBA, 1999).

Segundo Bastos, Bevilacqua e Mierzwa (2009), a Avaliação Quantitativa de Risco (AQR) consiste na estimativa numérica de potenciais efeitos adversos à saúde devido à exposição de indivíduos e populações a perigos. Essa metodologia tem sido adaptada a estudos sobre danos à saúde devido à exposição a organismos patogênicos, adquirindo o nome de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM). Uma vez que tal metodologia tem incluído o consumo de água, ela tem servido de base à formulação de diretrizes e normas de qualidade da água para consumo humano.

Embora os avanços nas pesquisas sejam significativos, ainda há surtos associados ao *Cryptosporidium* e à *Giardia* em todo o mundo, o que justifica a importância de mais estudos que caminhem na busca de soluções em saneamento e saúde pública. Nesse contexto, faz-se cada vez mais importantes estudos que corroborem a avaliação de risco em sistemas de abastecimento de água quanto à presença de organismos patogênicos.

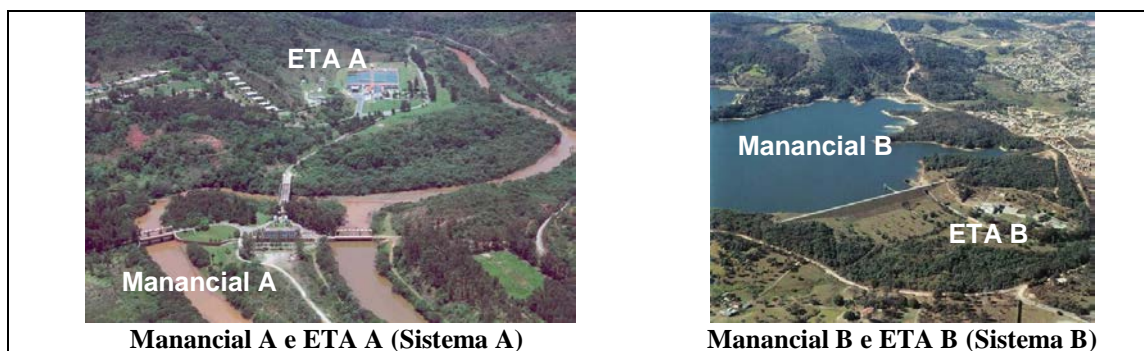
## OBJETIVO

Avaliar o risco microbiológico da água distribuída por dois sistemas de abastecimento de água de Minas Gerais no que concerne à presença de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### 1. Sistemas de abastecimento de água selecionados

Para realizar essa pesquisa, foram selecionados dois sistemas de abastecimento de água (SAAs) (Figura 1), aqui denotados como Sistemas A e B, utilizados pela Companhia de Saneamento de Minas Gerais (COPASA) para abastecimento da Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH).



**Figura 1: Mananciais e respectivas Estações de Tratamento de Água (ETA) utilizadas no estudo.**

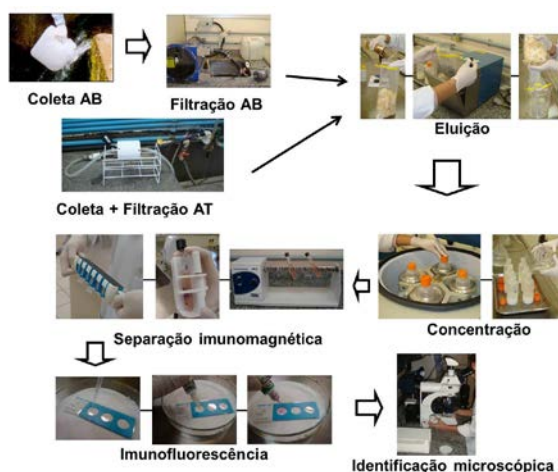
O Sistema A é o maior e o mais estratégico sistema produtor de água da RMBH, sendo responsável pelo fornecimento de água tratada para aproximadamente 43% da população da RMBH, com uma produção média de  $6,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (COPASA, s. d.). A captação da água é realizada em um manancial lótico e a Estação de Tratamento de Água (ETA) opera com a tecnologia de tratamento de ciclo completo com decantadores. Já o Sistema B é responsável pelo abastecimento de cerca de 400 mil pessoas da RMBH, tratando uma vazão média de  $1,0 \text{ m}^3 \cdot \text{s}^{-1}$  (COPASA, s. d.). A captação da água é feita em um manancial lântico e a ETA opera com a tecnologia de tratamento de ciclo completo com flotores.

## 2. Locais e frequência de coletas

Durante os meses de janeiro e fevereiro de 2011, foram avaliadas, semanalmente, as águas bruta e tratada dos sistemas de abastecimento selecionados, para identificação e quantificação dos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. A partir de março, as coletas passaram a ser quinzenais, devido ao alto custo de reagentes necessários para as análises. O monitoramento foi realizado até outubro de 2011, totalizando 24 amostras para cada tipo de água (bruta e tratada) e cada sistema.

## 3. Método analítico

Foi utilizado o Método 1623, desenvolvido pela Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (EPA, 2005) para a análise dos dois protozoários. Este método, resumidamente, é composto pelas seguintes etapas (Figura 2): a) Coleta da amostra – 10,0 L de água bruta e em torno de 300 L de água tratada; b) Filtração em módulo de filtro em espuma (Filta-Max<sup>®</sup>) por bomba peristáltica para água bruta, e diretamente em campo, para água tratada, c) Eluição das amostras e processamento em *Stomacher*; d) Concentração das amostras por centrifugação; e) Separação imunomagnética; f) Imunofluorescência; g) Leitura em microscópio óptico com epifluorescência para quantificação, expressando os resultados em (oo)cistos/L.



**Figura 2: Resumo das etapas do método analítico para identificação e quantificação dos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. (AB = água bruta; AT = água tratada).**

As amostras foram analisadas no Laboratório Central da COPASA, em Belo Horizonte-MG.

#### 4. Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (AQRM)

Foram avaliadas as concentrações nas águas bruta e tratada de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. em ambos os SAA selecionados, assim como as eficiências de remoção (em unidades logarítmicas) de ambos os microrganismos, obtidas por meio da Equação 1.

$$\text{Eficiência de remoção (em log)} = -\log_{10}(\text{concentração água tratada} / \text{concentração água bruta}) \quad (1)$$

Foram estimadas as probabilidades diária (Equação 2) e anual (Equação 3) de infecção para cada protozoário investigado, segundo o modelo exponencial, de acordo com a metodologia de Avaliação Quantitativa de Risco Microbiológico (HAAS; ROSE; GERBA, 1999).

$$P_{I(d)} = 1 - \exp(-rN) \quad (2)$$

Na qual:

$P_{I(d)}$ : probabilidade de infecção diária para uma única exposição (nesse caso, volume de água consumido por dia)

$r$ : coeficiente indicativo de dose-resposta (0,004 para *Cryptosporidium* e 0,02 para *Giardia*)

$N$ : número de organismos ingeridos por exposição (dose)

$$P_{I(A)} = 1 - [1 - P_{I(d)}]^n \quad (3)$$

Na qual:

$P_{I(A)}$ : probabilidade anual de infecção decorrente de  $n$  exposições à mesma dose ( $N$ )

$P_{I(d)}$ : probabilidade de infecção diária para uma única exposição

$n$ : número de exposições por ano

Considerando que a quantidade média de consumo de água é de 2,0 L/pessoa.dia, calculou-se o número de organismos ingeridos por exposição ( $N$ ) a partir da concentração média de (oo)cistos na água tratada multiplicada por 2, para obtenção da probabilidade de infecção diária. Realizou-se também o cálculo de risco de infecção diária a partir dos resultados de concentração média de (oo)cistos na água bruta e de remoção média dos protozoários alcançada nesta pesquisa. E, por fim, calculou-se a probabilidade de infecção anual considerando-se o número de exposições por ano igual a 365.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 1. Concentrações e remoções de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. nos Sistemas A e B

#### a) Concentrações dos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* sp. nas águas brutas dos mananciais A e B e tratadas das ETAs A e B

Os resultados de identificação e quantificação dos protozoários avaliados nos Sistemas A e B estão compilados na Tabela 1.

**Tabela 1: Estatística descritiva das concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de cistos de *Giardia* sp. nos sistemas de abastecimento de água A e B.**

Sistema	Variável	Local coleta	N	Mín	Méd	Medn	Máx	DP
A*	<i>Cryptosporidium</i> spp. (oocistos/L)	AB	24	ND	0,3	0,2	2,5	0,5
		AT	24	ND	0,001	0	0,008	0,002
	<i>Giardia</i> spp. (cistos/L)	AB	24	ND	6,7	4,9	18,0	5,5
		AT	24	ND	0,005	0	0,04	0,009
B	<i>Cryptosporidium</i> spp. (oocistos/L)	AB	24	ND	0,1	0	1,4	0,3
		AT	24	ND	0,001	0	0,032	0,007
	<i>Giardia</i> spp. (cistos/L)	AB	24	ND	0,1	0	0,3	0,1
		AT	24	ND	0	0	ND	0

**Legenda:** AB = Água bruta; AT = Água tratada; DP = Desvio-padrão; Máx = Máximo; Méd = Média; Medn = Mediana; Mín = Mínimo; N = Número de dados válidos; ND = Não detectado.

\* Durante o mês de janeiro, nesse sistema, foi coletada água filtrada para análise dos microrganismos, porém, a partir de fevereiro, passou a ser coletada água tratada devido à maior facilidade e rapidez para a filtração em campo. No entanto, tal mudança de tipo de água não afeta os resultados, uma vez que ambas as águas apresentavam características semelhantes, pois a coleta de água tratada foi realizada em local onde não havia tempo de contato suficiente com o desinfetante. Portanto, para análise dos resultados, todas as amostras foram consideradas como sendo de água tratada

Pela análise da Tabela 1, observa-se que as maiores concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. ocorreram no Manancial A, variando de não detectado (ND) a 2,5 oocistos/L e de ND a 18 cistos/L, respectivamente. No Manancial B, as concentrações foram inferiores, variando de ND a 1,4 oocistos de *Cryptosporidium* spp./L e de ND a 0,3 cisto de *Giardia* spp./L. A porcentagem de ocorrência dos protozoários também foi superior no Manancial A em comparação com o Manancial B, como apresentado na Tabela 2.

**Tabela 2: Porcentagem de ocorrência de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de cistos de *Giardia* spp. na água bruta dos sistemas de abastecimento de água A e B.**

Manancial	Porcentagem de ocorrência de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> spp.	Porcentagem de ocorrência de cistos de <i>Giardia</i> spp.
A	66,7% (em 16 das 24 amostras analisadas)	95,8% (em 23 das 24 amostras analisadas)
B	25% (em 6 das 24 amostras analisadas)	33,3% (em 8 das 24 amostras analisadas)

Essas ocorrências são próximas a concentrações e percentuais relatados em investigações nacionais e internacionais conduzidas em mananciais superficiais destinados ao abastecimento público, como, por exemplo: Machado & Cerqueira (2003); Leal (2005); Feng *et al.* (2011) e Helmi *et al.* (2011).

Porém, outras pesquisas registraram ocorrências bem diferentes, como Hachich *et al.* (2000), Franco, Rocha-Eberhardt e Cantusio Neto (2001), Heller *et al.* (2004) e Karanis *et al.* (2006).

Observou-se, também, que, em geral, as concentrações de cistos de *Giardia* spp. são superiores às concentrações de oocistos de *Cryptosporidium*, como constatado no Manancial A e como também já documentado por outros estudos (HÖRMAN *et al.*, 2004; BRIANCESCO; BONADONNA, 2005; Lee *et al.*, 2007; GIANGASPERO *et al.*, 2009; MONS *et al.*, 2009; CASTRO-HERMIDA *et al.*, 2010; HELMI *et al.*, 2011). Contudo, no Manancial B ocorreu o contrário: maiores concentrações de oocistos em comparação com cistos, como também observado por Heller *et al.* (2004) e Feng *et al.* (2011), o que pode ser devido ao fato de os cistos de *Giardia* spp. apresentarem maior velocidade de sedimentação (na ordem de 2,4 mm/h) em comparação aos oocistos de *Cryptosporidium* spp. (na ordem de 1,0 mm/h) (DAI; BOLL, 2006).

As concentrações de (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. encontradas no Manancial B foram relativamente baixas, quando comparadas com as concentrações encontradas em mananciais lóticos, como o Manancial A e outros já citados anteriormente. No entanto, foram similares aos resultados encontrados por Hachich *et al.* (2004), que, ao estudarem diversos mananciais para abastecimento público do estado de São



Paulo, verificaram que, em geral, mananciais lânticos apresentavam menor ocorrência de *Giardia* spp. e *Cryptosporidium* spp. que os mananciais lóticos.

Em relação à concentração dos protozoários na água tratada, constataram-se baixos valores e baixa ocorrência – como também observado em outros estudos (HSU; YEH, 2003; KARANIS *et al.*, 2006; VERNILE *et al.*, 2009): na ETA A foram encontrados de ND a 0,008 oocisto/L e de ND a 0,04 cisto/L, havendo resultados positivos em 8,3% das amostras (em duas das 24 amostras) para oocistos de *Cryptosporidium* spp. e 37,5% das amostras (em nove das 24 amostras) para cistos de *Giardia* spp. Na ETA B, foram contabilizados oocistos de *Cryptosporidium* spp., com concentrações variando de ND a 0,032 oocisto/L, em 8,3% das amostras (em duas das 24 amostras) e nenhum cisto de *Giardia* spp. foi encontrado.

Observa-se, também, que os valores de desvios-padrão foram relativamente elevados para ambos os protozoários, tanto na água bruta quanto na água tratada.

### b) Eficiências de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de cistos de *Giardia* spp. nos Sistemas A e B

Os resultados de remoções dos protozoários avaliados nos Sistemas A e B estão compilados na Tabela 3.

**Tabela 3: Estatística descritiva das eficiências de remoção, em unidades logarítmicas, de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e de cistos de *Giardia* sp. nos Sistemas A e B.**

Sistema de abastecimento	Variável	N	Mín	Méd	Medn	Máx	DP
A	<i>Cryptosporidium</i> spp. (log)	16	2,0	2,0	2,0	2,6	0,2
	<i>Giardia</i> spp. (log)	23	0,4	2,9	3,0	4,0	0,7
B	<i>Cryptosporidium</i> spp. (log)	6	1,6	1,9	2,0	2,0	0,2
	<i>Giardia</i> spp. (log)	8	2,0	2,0	2,0	2,0	0

**Legenda:** DP = Desvio-padrão; Máx = Máximo; Méd = Média; Medn = Mediana; Mín = Mínimo; N = Número de dados válidos.

Analisando as taxas de remoção, observa-se que essas foram bem próximas para *Cryptosporidium* spp. em ambos os sistemas – média de 2,0 log no Sistema A (com mínimo de 2,0 log e máximo de 2,6 log) e de 1,9 log no Sistema B (com mínimo de 1,6 log e máximo de 2,0 log), porém bem diferentes para *Giardia* spp. – média de 2,9 log no Sistema A (com mínimo de 0,4 log e máximo de 4,0 log) e de 2,0 log no Sistema B (com mínimo e máximo de 2,0 log). Houve pouca variação desse microrganismo no Sistema B porque houve baixa ocorrência na água bruta e nenhuma contagem na água tratada. Resultados semelhantes de eficiência de remoção foram obtidos por Mazoua e Chauveheid (2005) que constataram remoção de *Cryptosporidium* de > 1,5 a > 3,8 log e de *Giardia* de > 2,9 a > 4,4 log. Porém, vale ressaltar, que a literatura é vasta e amplamente variada.

## 2. Avaliação Quantitativa do Risco Microbiológico associado à ocorrência de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. nos Sistemas A e B

Para realização da avaliação do risco associado à ocorrência de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. nos SAA considerados, calcularam-se as probabilidades de infecção diária e anual (aplicando-se as Equações 2 e 3) para cada um desses protozoários a partir da concentração média encontrada na água tratada (Tabela 4) e também a partir da concentração média encontrada na água bruta e das remoções obtidas nos Sistemas A e B (Tabela 5).

**Tabela 4: Cálculo das probabilidades de infecção diária e anual pelos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. nos Sistemas A e B, a partir das concentrações médias na água tratada obtidas para estes microrganismos.**

Sistema	Microrganismo	Concentração média na AT	N	r	P <sub>I</sub> diária	P <sub>I</sub> anual
A	<i>Cryptosporidium</i> spp.	0,001 oocisto/L	0,002	0,004	8,0E-06	2,9E-03
	<i>Giardia</i> spp.	0,005 cistos/L	0,01	0,02	2,0E-04	7,0E-02
B	<i>Cryptosporidium</i> spp.	0,001 oocisto/L	0,002	0,004	8,0E-06	2,9E-03
	<i>Giardia</i> spp.	0 cisto/L	0	0,02	0,0E+00	0,0E+00

**Legenda:** AT = Água tratada; N = dose (3ª. coluna x 2); P<sub>I</sub> = probabilidade de infecção; r = coeficiente de dose-resposta.

Observa-se que as probabilidades de infecção para *Cryptosporidium* spp. foram idênticas para os dois sistemas de abastecimento avaliados, uma vez que as concentrações médias na água tratada foram iguais. Já em relação à *Giardia* spp., as probabilidades de infecção foram nulas para o Sistema B porque a concentração média na água tratada desse sistema foi 0 cisto/L (mas deve-se levar em conta as limitações do método de quantificação). Por isso, nesse sistema, os riscos de infecção para *Cryptosporidium* foram superiores ao calculado para *Giardia*. No Sistema A, assim como também observado por Ryu e Abbaszadegan (2008) nas águas do Arizona, o risco de infecção para *Giardia* foi superior àquele encontrado para *Cryptosporidium*, pois a concentração média na água tratada de *Giardia* spp. foi maior que de *Cryptosporidium* spp.

Para ambos os sistemas, o risco de infecção anual calculado foi superior àquele aceito pela norma estadunidense LT2ESWTR – Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule (EPA, 2006), que é de  $10^{-4}$  (1 caso de infecção a cada 10.000 pessoas expostas por ano), em contrapartida, é próximo, e em alguns casos até inferior, ao risco aceitável no Canadá (CANADÁ, 2010), que adota o mesmo limite da Organização Mundial de Saúde (WHO, 2011), que é de  $10^{-3}$  (1 caso de infecção a cada 1.000 pessoas expostas por ano).

Com intuito de comparação, também foi realizado o cálculo de probabilidades de infecção a partir das concentrações dos protozoários encontradas na água bruta dos dois sistemas de abastecimento, aplicando as remoções médias encontradas para estimar a concentração final ingerida. Os resultados estão apresentados na Tabela 5.

**Tabela 5: Cálculo das probabilidades de infecção diária e anual pelos protozoários *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. nos Sistemas A e B, a partir das concentrações na água bruta e remoções médias obtidas para estes microrganismos.**

Sistema	Microrganismo	Concentração média na AB	Remoção média (log)	Concentração final	N	r	P <sub>I</sub> diária	P <sub>I</sub> anual
A	<i>Cryptosporidium</i> spp.	0,3 oocisto/L	2,0	0,003	0,006	0,004	2,4E-05	8,7E-03
	<i>Giardia</i> spp.	6,7 cistos/L	2,9	0,008	0,017	0,02	3,4E-04	1,2E-01
B	<i>Cryptosporidium</i> spp.	0,1 oocisto/L	1,9	0,001	0,003	0,004	1,0E-05	3,7E-03
	<i>Giardia</i> spp.	0,1 cisto/L	2,0	0,001	0,002	0,02	4,0E-05	1,4E-02

**Legenda:** AB = água bruta; N = dose (5ª. coluna x 2); P<sub>I</sub> = probabilidade de infecção; r = coeficiente de dose-resposta.

**Nota:** O cálculo da concentração final se deu a partir de um rearranjo da Equação 1: concentração água tratada =  $10^{\log(\text{concentração água bruta}) - \text{remoção média}}$ .

Observa-se que os valores de probabilidade de infecção obtidos a partir das concentrações reais de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. na água tratada foram maiores que aqueles obtidos através da aplicação das remoções alcançadas pelos sistemas. Entretanto, é importante salientar que, em geral, nem sempre é técnica e economicamente viável realizar análises dos protozoários na água tratada. Portanto, também se pode considerar a aplicação das taxas de remoção conferidas pela LT2ESWTR (EPA, 2006) a cada tecnologia de tratamento ou o crédito em log adquirido pela demonstração de desempenho (DOP – demonstration of performance) (BROWN; CORNWELL, 2007) ou até mesmo a média das concentrações esperadas dos protozoários a partir da eficiência de remoção de bactérias esporogênicas aeróbias para se ter uma ideia da probabilidade de infecção estimada.

Vale ressaltar que também é importante obter informações sobre a viabilidade e a infecciosidade dos (oo)cistos de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. para que seja realizada uma AQRM completa e, assim, conhecer melhor o risco que os sistemas de abastecimento apresentam para a população atendida.

## CONCLUSÕES

Com base nos resultados, pode-se concluir que:

- Os Sistemas A e B apresentaram baixas concentrações de *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. em comparação com outros estudos em mananciais dos mesmos tipos (lóticos e lânticos);
- No Sistema B a ocorrência de *Cryptosporidium* e *Giardia*, tanto na água bruta quanto na água tratada, foi inferior àquela observada no Sistema A;

- Em geral, as concentrações de cistos de *Giardia* spp. foram superiores às de oocistos de *Cryptosporidium* spp. no Manancial A, como constatado em outros estudos, porém, no Manancial B ocorreu o contrário, o que pode ser devido à maior velocidade de sedimentação da *Giardia* spp.;
- Foram encontradas baixas concentrações e percentuais de ocorrência dos protozoários na água tratada dos dois sistemas de abastecimento avaliados: ND a 0,008 oocisto de *Cryptosporidium* spp./L (com 8,3% das amostras positivas) e ND a 0,04 cisto de *Giardia* spp./L (com 37,5% das amostras positivas), na ETA A; ND a 0,032 oocisto de *Cryptosporidium* spp./L (com 8,3% das amostras positivas) e nenhum cisto de *Giardia* spp., na ETA B;
- As eficiências de remoção de ambos os microrganismos foram superiores para o Sistema A, devido às maiores concentrações iniciais no manancial e às baixas concentrações na água tratada;
- Ambos os sistemas de abastecimento de água avaliados mostraram-se suficientemente eficientes na remoção dos protozoários em estudo;
- As concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* spp. e cistos de *Giardia* spp. encontradas na água de consumo dos sistemas de abastecimento estudados não se enquadram no risco aceitável pela norma dos Estados Unidos, mas são próximas ao risco aceitável pelo Canadá e OMS;
- É necessário que se continuem os estudos de avaliação de ocorrência e remoção dos protozoários patogênicos *Cryptosporidium* spp. e *Giardia* spp. no Brasil a fim de se acumularem conhecimentos a respeito da dinâmica desses organismos no nosso país e com o intuito de prover mais dados que permitam a avaliação do real risco associado à presença desses microrganismos nos mananciais destinados ao abastecimento humano em todo o mundo.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BASTOS, R. K. X.; BEVILACQUA, P. D.; MIERZWA, J. C. Análise de risco aplicada ao abastecimento de água para consumo humano. In: PÁDUA, V. L. (Coord.). *Remoção de microrganismos emergentes e microcontaminantes orgânicos no tratamento de água para consumo humano*. Projeto Prosab. Rio de Janeiro: ABES, 2009. Cap. 9, p.327-360.
2. 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-DF: *Diário Oficial da União*, p. 39-46, 2011.
3. BRIANCESCO, R.; BONADONNA, L. An italian study on *Cryptosporidium* and *Giardia* in wastewater, fresh water and treated water. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 104, n. 1-3, p. 445-457, 2005.
4. BROWN, R. A.; CORNWELL, D. A. Using spore removal to monitor plant performance for *Cryptosporidium* removal. *Journal American Water Works Association*, v. 99, n. 3, p. 95-109, March 2007.
5. CANADÁ. Health Canada. Federal-Provincial-Territorial Committee on Drinking Water. *Enteric protozoa: Giardia and Cryptosporidium*. Document for public comment. August, 2010. 92 p.
6. CAREY, C. M.; LEE, H.; TREVORS, J. T. Biology, persistence and detection of *Cryptosporidium parvum* and *Cryptosporidium hominis* oocyst. *Water Research*, v. 38, n. 4, p. 818-862, February 2004.
7. CASTRO-HERMIDA, J. A.; GARCÍA-PRESEDO, I.; GONZÁLEZ-WARLETA, M.; MEZO, M. *Cryptosporidium* and *Giardia* detection in water bodies of Galicia, Spain. *Water Research*, v. 44, n. 20, p. 5887-5896, December 2010.
8. DAI, X.; BOLL, J. Settling velocity of *Cryptosporidium parvum* and *Giardia lamblia*. *Water Research*, v. 40, n. 6, p. 1321 - 1325, March 2006.
9. COPASA (Companhia de Saneamento de Minas Gerais). Produção de Água para a Região Metropolitana de Belo Horizonte. Disponível em: <[http://www.copasa.com.br/Producao\\_de\\_agua/PAGINA/Principal\\_prodagua.htm](http://www.copasa.com.br/Producao_de_agua/PAGINA/Principal_prodagua.htm)>. Acesso em: 13 de fevereiro de 2011.
10. ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY (EPA). *Method 1623: Cryptosporidium and Giardia in water by filtration/IMS/FA*. (EPA 815-R-05-002). Office of Water (4607). 76 p. December 2005. Disponível em: <<http://www.epa.gov/microbes/>>.
11. \_\_\_\_\_. National Primary Drinking Water Regulations: Long Term 2 Enhanced Surface Water Treatment Rule; Final Rule. *Federal Register*, v. 71, n. 3, p. 654-786. Part II – 40CFR, Parts 9, 141 and 142, Thursday, January 5, 2006.



12. FENG, Y.; ZHAO, X.; CHEN, J.; JIN, W.; ZHOU, X.; LI, N.; WANG, L.; XIAO, L. Occurrence, source, and human infection potential of *Cryptosporidium* and *Giardia* spp. in source and tap water in Shanghai, China. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 77, n. 11, p. 3609-3616, June 2011.
13. FRANCO, R. M. B.; ROCHA-EBERHARDT, R.; CANTUSIO NETO, R. Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in raw water from the Atibaia river, Campinas, Brazil. *Revista do Instituto de Medicina Tropical de São Paulo*, v. 43, n. 2, p. 109-111, March-April 2001.
14. GIANGASPERO, A.; CIRILLO, R.; LACASELLA, V.; LONIGRO, A.; MARANGI, M.; CAVALLO, P.; BERRILLI, F.; DI CAVE, D.; BRANDONISIO, O. *Giardia* and *Cryptosporidium* in inflowing water and harvested shellfish in a Lagoon in Southern Italy. *Parasitology International*, v. 58, n. 1, p. 12-17, March 2009.
15. HAAS, C. N.; ROSE, J. B.; GERBRA, C. P. *Quantitative Microbial Risk Assessment*. John Wiley & Sons: New York, 1999. 449 p.
16. HACHICH, E. M.; GALVANI, A. T.; PADULA, J. A.; MENEGON, N.; SATO, M. I. Z. Importância do controle dos parasitas patogênicos *Giardia* e *Cryptosporidium* em águas captadas para consumo humano. In: CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL, XXVII., 2000, Porto Alegre-RS, Brasil. *Anais...* Porto Alegre : AIDIS/ABES, 2000. 6 p.
17. HACHICH, E. M.; SATO, M. I. Z.; GALVANI, A. T.; MENEGON, J. R. N.; MUCCI, J. L. N. *Giardia* and *Cryptosporidium* in source waters of São Paulo State, Brazil. *Water Science and Technology*, v. 50, n. 1, p. 239-245, 2004.
18. HELLER, L.; BASTOS, R. K. X.; VIEIRA, M. B. C. M.; BEVILACQUA, P. D.; BRITO, L. L. A.; MOTA, S. M. M.; OLIVEIRA, A. A.; MACHADO, P. M.; SALVADOR, D. P.; CARDOSO, A. B. Oocistos de *Cryptosporidium* e cistos de *Giardia*: circulação no ambiente e riscos à saúde humana. *Epidemiologia e Serviços de Saúde*, v. 13, n. 2, p. 79-92, junho de 2004.
19. HELMI, K.; SKRABER, S.; BURNET, J. B.; LEBLANC, L.; HOFFMANN, L. CAUCHIE, H. M. Two-year monitoring of *Cryptosporidium parvum* and *Giardia lamblia* occurrence in a recreational and drinking water reservoir using standard microscopic and molecular biology techniques. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 179, n. 1-4, p. 163-175, August 2011.
20. HÖRMAN, A.; RIMHANEN-FINNE, R.; MAUNULA, L.; VON BONSDORFF, C. H.; TORVELA, N.; HEIKINHEIMO, A.; HÄNNINEN, M. L. *Campylobacter* spp., *Giardia* spp., *Cryptosporidium* spp., Noroviruses, and indicator organisms in surface water in Southwestern Finland, 2000-2001. *Applied and Environmental Microbiology*, v. 70, n. 1, p. 87-95, January 2004.
21. HSU, B.-M.; YEH, H.-H. Removal of *Giardia* and *Cryptosporidium* in drinking water treatment: A pilot-scale study. *Water Research*, v. 37, n. 5, p. 1111-1117, March 2003.
22. KARANIS, P.; SOTIRIADOU, I.; KARTASHEV, V.; KOURENTI, C.; TSVETKOVA, N.; STOJANOVA, K. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in water supplies of Russia and Bulgaria. *Environmental Research*, v. 102, n. 3, p. 260-271, November 2006.
23. KARANIS, P.; KOURENTI, C.; SMITH, H. Waterborne transmission of protozoan parasites: A worldwide review of outbreaks and lessons learnt. *Journal of Water and Health*, v. 5, n. 1, p. 1-38, March 2007.
24. LEAL, Patrícia Maria Ribeiro Machado. *Avaliação do risco microbiológico associado à ocorrência de protozoários em sistemas de abastecimento de água: Um estudo na cidade de Divinópolis, Minas Gerais*. 2005. 91 f. Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos) – Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte-MG, 2005.
25. LEE, S.-H.; LEE, C.-H.; KIM, Y.-H.; DO, J.-H.; KIM, S.-H. Occurrence of *Cryptosporidium* oocysts and *Giardia* cysts in the Nakdong River and their removal during water treatment. *Journal of Water and Health*, v. 5, n. 1, p. 163-169, 2007.
26. LIM, Y. A. L.; AHMAD, R. A.; SMITH, H. V. Current status and future trends in *Cryptosporidium* and *Giardia* epidemiology in Malaysia. *Journal of Water and Health*, v. 6, n. 2, p. 239-254, June 2008.
27. MACHADO, P. M. R.; CERQUEIRA, D. A. Ocorrência de (oo) cistos de *Cryptosporidium* e *Giardia* na área de captação e sua remoção no sistema de tratamento de água do rio das Velhas COPASA - Nova Lima - MG. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 22., 2003, Joinville-SC. *Anais...* Joinville : ABES 2003.
28. MAZOUA, S.; CHAUVEHEID, E. Aerobic spore-forming bacteria for assessing quality of drinking water produced from surface water. *Water Research*, v. 39, n. 20, p. 5186-5198, December 2005.
29. MONS, C.; DUMÈTRE, A.; GOSSELIN, S.; GALLIOT, C.; MOULIN, L. Monitoring of *Cryptosporidium* and *Giardia* river contamination in Paris area. *Water Research*, v. 43, n. 1, p. 211-217, January 2009.

30. RYU, H.; ABBASZADEGAN, M. Long-term study of *Cryptosporidium* and *Giardia* occurrence and quantitative microbial risk assessment in surface waters of Arizona in the USA. *Journal of Water and Health*, v. 6, n. 2, p. 263-273, June 2008.
31. THOMPSON, R. C. A. Giardiasis as a re-emerging infectious disease and its zoonotic potential. *International Journal for Parasitology*, v. 30, n. 12-13, p. 1259-1267, November 2000.
32. VERNILE, A.; NABI, A. Q.; BONADONNA, L.; BRIANCESCO, R.; MASSA, S. Occurrence of *Giardia* and *Cryptosporidium* in Italian water supplies. *Environmental Monitoring and Assessment*, v. 152, n. 1-4, p. 203-207, 2009.
33. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). *Guidelines for Drinking Water Quality*. 4<sup>th</sup> ed. Malta: WHO, 2011. 562 p.