



I-274 - REMOÇÃO DE OOCISTOS DE *Cryptosporidium* PELO PRÉ-FILTRO DE PEDREGULHO COM ESCOAMENTO ASCENDENTE

Raquel Taira⁽¹⁾

Engenheira Civil pela Universidade Estadual de Campinas. Mestre em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília.

Yovanka Perez Ginoris

Engenheira Química. Doutora em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos pela Universidade de Federal do Rio de Janeiro. Professora Adjunta da Universidade de Brasília (UnB) – Campus Gama –Área de Engenharia de Energia.

Rosely Harumi Tango Rios

Bióloga pela Pontifícia Universidade Católica de Campinas. Especialista em Saneamento Ambiental pelo CEFET/MG. Laboratório de Análise de Água do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB) e Pró-reitoria de ensino do Instituto Federal de Brasília (IFEB).

Cristina Celia Silveira Brandão

Engenheira Química. Doutora em Engenharia Ambiental pelo Imperial College of Science, Technology and Medicine. Professora Adjunta do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental da Universidade de Brasília (UnB).

Endereço⁽¹⁾: SQS 113 bloco F apartamento 604 – Asa Sul - Brasília - DF - CEP: 70376-060 - Brasil - Tel: (61) 3363-9148 - e-mail: raqueltaira@yahoo.com.br

RESUMO

Este trabalho, embora de caráter preliminar, avaliou, de forma pioneira, a remoção de oocistos de *Cryptosporidium* pela pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente, pré-tratamento usado na filtração em múltiplas etapas e que visa adequar a qualidade da água bruta para a filtração lenta. Foram realizados experimentos em instalação piloto no Laboratório de Análise de Águas (LAA) do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (ENC) da Universidade de Brasília (UnB) com taxa de filtração constante de 10 m/d. A concentração de oocistos na água bruta durante os experimentos variou de 10^2 e 10^3 oocistos/L. O pré-filtro de pedregulho foi responsável pela remoção de 0,47 a 2,37 log de oocistos. As remoções de coliformes totais e *Clostridium perfringens* foram inferiores às de oocistos, sugerindo que esses indicadores são conservadores em relação à remoção de oocistos.

PALAVRAS-CHAVE: *Cryptosporidium*, Remoção, Pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente.

INTRODUÇÃO

Devido a sua ocorrência em águas superficiais e a sua significativa resistência aos estresses ambientais, o *Cryptosporidium parvum* é considerado um dos mais importantes parasitas de veiculação hídrica. Os oocistos de *Cryptosporidium* possuem tamanho reduzido, 4 a 6 μ m, e grande resistência à desinfecção com cloro, o que faz com que a filtração seja considerada como processo fundamental para a remoção desses protozoários. Dentre os processos de filtração, a filtração lenta é apontada como um processo capaz de remover patógenos eficientemente. Entretanto, dependendo da qualidade da água bruta, a filtração lenta sem pré-tratamento não produz efluente com qualidade compatível com os padrões de potabilidade e a duração da carreira de filtração do filtro lento torna-se curta, comprometendo a produção efetiva de água. Por isso, faz-se necessário a adoção de etapas robustas de pré-tratamento, mas com grau de complexidade operacional similar ao da filtração lenta.

Na filtração em múltiplas etapas (FiME), a pré-filtração visa amortecer picos de turbidez ou de sólidos em suspensão e aliviar a sobrecarga de sólidos no filtro lento, além de consistir em um tratamento biológico adicional. Assim, o objetivo da pré-filtração é produzir um efluente que alcance os pré-requisitos de qualidade de água afluente compatíveis com a filtração lenta, que, de acordo com Di Bernardo *et al.* (1999), são: turbidez < 10 UT, sólidos suspensos < 10 mg/L, coliformes totais < 500 NMP/100L e algas < 250 UPA/L, em 95% das amostras.



Wegelin (1996) alerta que a principal característica do filtro de pedregulho é a melhoria da qualidade da água do ponto de vista físico. Porém, uma melhora na qualidade microbiológica também pode ser observada, pois os vírus e as bactérias são considerados partículas, com tamanhos variando entre 0,2 – 10 μm e 0,002 – 0,4 μm , respectivamente. O autor comenta que a remoção de bactérias pode alcançar valores entre 60 e 90% e, como organismos tão pequenos são removidos pelo pré-filtro, patógenos maiores como larvas e ovos podem ser removidos em porcentagens muito maiores.

Entre as vantagens da pré-filtração merecem destaque as seguintes: (i) longas carreiras de filtração, (ii) não necessita de produtos químicos, (iii) não requer mão de obra especializada para construí-lo ou operá-lo, (iv) pode ser construído com material do próprio local, (v) não é necessário grande desnível, pois possui baixa perda de carga (Boller, 1993). Embora seja conhecida há tempos, a pré-filtração é pouco utilizada e estudada uma vez que sozinha não é capaz de atingir os padrões de potabilidade sendo necessárias grandes áreas para implantação devido à baixa taxa de filtração. Entretanto, combinado com outros tipos de tratamento, o pré-filtro de pedregulho pode se tornar muito útil.

Este trabalho teve como objetivo avaliar, em escala piloto, a remoção de oocistos de *Cryptosporidium* pela pré-filtração em pedregulho com escoamento ascendente, avaliando a influência da concentração de oocistos, da turbidez da água bruta e do amadurecimento do pré-filtro na remoção dos oocistos de *Cryptosporidium*.

MATERIAIS E MÉTODOS

O pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente (PFPA) da instalação piloto consistia em uma coluna de acrílico transparente, espessura da parede de 5 mm e altura de 2,30 m (Figura 1). O PFPA possuía cinco camadas sobrepostas, com espessuras de 20 e 30 cm cada (Tabela 1), de pedregulho e areia grossa, com granulometria decrescendo no sentido do escoamento, conforme recomenda Di Bernardo *et al.* (1999).

Tabela 1: Parâmetros de projeto do pré-filtro de pedregulho com escoamento ascendente adotados no presente estudo.

Parâmetro	Valor adotado
Taxa de filtração	10 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ – valor mantido constante
Diâmetro interno	20 cm
Granulometria da camada suporte (fundo)	19 a 31 mm
Granulometria da primeira subcamada	12,7 a 19 mm
Granulometria da segunda subcamada	6,4 a 12,7 mm
Granulometria da terceira subcamada	3,2 a 6,4 mm
Granulometria da quarta subcamada (topo)	1,68 a 3,2 mm
Espessura das camadas	20 e 30 cm

A taxa de filtração adotada no PFPA foi de 10 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, dentro da faixa de 7,2 a 24 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, recomendada por Wegelin (1996). A opção por se trabalhar com valor de taxa de filtração baixo está associada ao fato de ainda não haver estudos publicados com avaliações sobre o efeito da taxa de filtração na eficiência de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* em pré-filtros de pedregulho com escoamento ascendente.

A turbidez natural da água bruta, proveniente do Córrego do Torto, Brasília-DF, variou entre 1,6 e 205 UT, com valores médios de $2,3 \pm 0,35$ UT e 23 ± 37 UT nas épocas de seca e chuva, respectivamente. Apenas foram inoculadas concentrações de oocistos de *Cryptosporidium* (adquiridos do Laboratório de Parasitologia da Faculdade de Medicina do Triângulo Mineiro) na água bruta nos dias de pico dos experimentos e a concentração variou entre 10^2 e 10^3 ooc/L. Além da contagem de oocistos na água bruta e no efluente do pré-filtro, realizada pelo Método 1623 da USEPA (USEPA, 2005), foram monitorados turbidez, alcalinidade, pH e as densidades de coliformes, *Escherichia coli* e posteriormente, *Clostridium perfringens*.

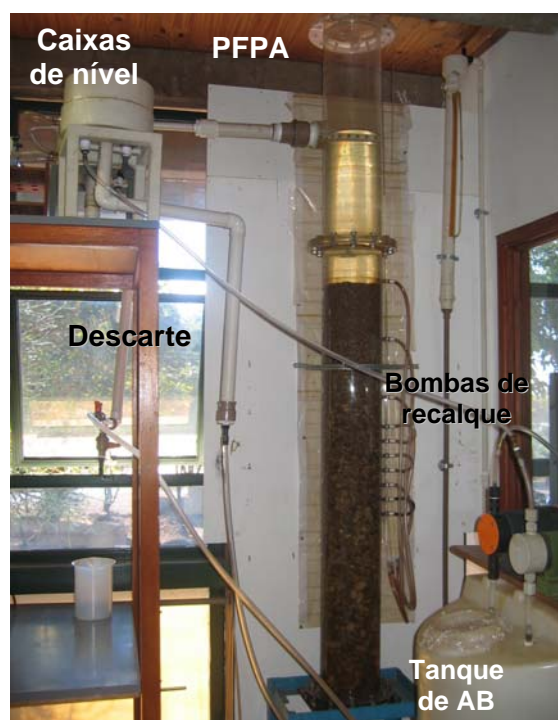


Figura 1: Instalação piloto do pré-filtro de pedregulho com fluxo ascendente (PFPA)

Após alguns experimentos, quando o PFPA já se encontrava colonizado, foi realizada uma caracterização simples do zooplâncton e fitoplâncton presente no filtro, tendo em vista a confirmação, ou não, da hipótese da importância da predação como mecanismo biológico de remoção de oocistos de *Cryptosporidium* (Fayer *et al.*, 2000; Stott *et al.*, 2003; Connolly *et al.*, 2007). Para tanto, amostras do material componente do biofilme do PFPA foram coletadas por meio da válvula de descarga de fundo do pré-filtro.

RESULTADOS

A Tabela 2 apresenta um resumo dos experimentos com o período em que foram realizados, dia e duração do pico de inoculação de oocistos de *Cryptosporidium* e, posteriormente, também da bactéria esporulada *Clostridium perfringens*, além das principais características da água bruta. O grau de amadurecimento do pré-filtro foi classificado em função do número de dias transcorridos a partir do momento em que o pré-filtro era colocado em carga, após sucessivas lavagens utilizando a descarga de fundo, ou seja, indicam o tempo de operação do PFPA até o dia do pico.

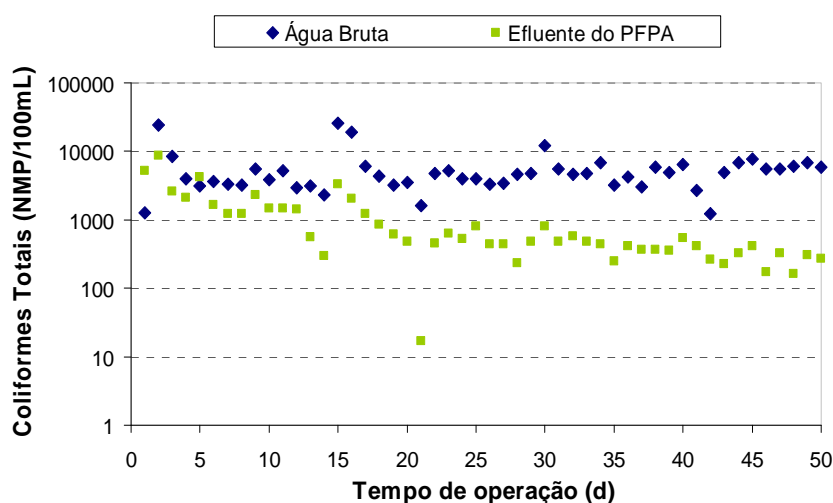
A Figura 2 apresenta os resultados de coliformes totais e turbidez do efluente nos primeiros 50 dias da fase experimental, anterior ao primeiro experimento (E1). O pré-filtro foi colocado em operação após sucessivas descargas de fundo que visaram remover a camada biológica existente na superfície do pedregulho. Nesse período de 50 dias, a turbidez da água bruta se manteve baixa, em torno de 2 a 2,5 UT e a densidade de coliformes totais variou entre 10^3 a 10^5 NMP/100 mL.

Observa-se ainda que houve remoção de coliformes totais e turbidez em praticamente todas as amostras coletadas do PFPA. Após cerca de 17 dias de operação, foi observada uma tendência da turbidez efluente manter-se constante e abaixo de 1,5 UT, e a concentração de coliformes totais abaixo de 10^3 NMP/100 mL, indicando o amadurecimento dessa unidade. O PFPA foi responsável por $35 \pm 13\%$ (2 a 56%) de remoção de turbidez e aproximadamente uma ordem de grandeza (~ 1 log) de remoção de coliformes totais. Tais resultados indicam que o PFPA foi responsável por uma sensível melhora da qualidade da água em termos microbiológicos, apesar de não ser esse o seu principal objetivo.

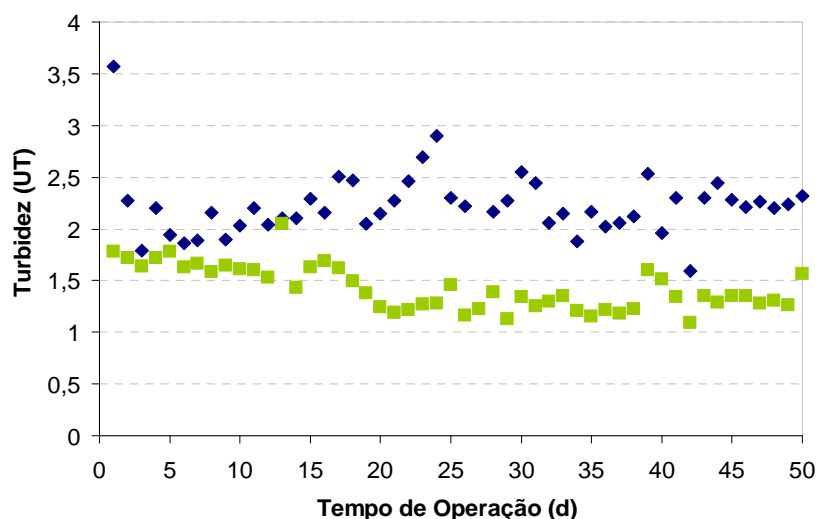


Tabela 2: Principais características dos experimentos realizados com taxa de filtração do PFPA igual a 10 m³/m².d, em ordem cronológica.

Exp.	Período	Dia da inoculação de oocistos / dias de amadurecimento	Descrição da Água Bruta	Observações
E1	23/7 a 19/9/2007	11 de setembro / 51	2,9 UT; 10 ² ooc/L	• Problemas na detecção de oocistos
E2	21/9 a 10/10/2007	P1: 25 de setembro / 65)	2,5 UT; 1,1x10 ² ooc/L	• PFPA foi alimentado com AB contendo oocistos por 24 h.
		P2: 2 de outubro / 72	2,2 UT; 1,2x10 ³ ooc/L	
		P3: 9 de outubro / 79	2,4 UT; 1,0x10 ³ ooc/L	
E3	24 a 30/10/2007	24 de outubro / 94	10 UT; 8,4x10 ² ooc/L	• PFPA foi alimentado com AB contendo oocistos por 24 h.
E4	7 a 13/11/2007	12 de novembro / 113	8,4 UT; 3,9x10 ooc/L	• PFPA foi alimentado com AB contendo oocistos por 24 h.
E5	14 a 18/11/2007	16 de novembro / 117	82 UT; 8,65x10 ² ooc/L	• PFPA foi alimentado com AB contendo oocistos por 12 h.
E6	26/11 a 7/12/2007	P1: 26 de novembro / 127	34 UT; 1,1x10 ³ ooc/L	• PFPA foi alimentado com AB contendo oocistos por 24 h.
		P2: 6 de dezembro / 137	25 UT; 91 ooc/L	• PFPA foi alimentado com AB contendo oocistos por 24 h.
E7	14 a 31/1/2008	P1: 18 de janeiro / 5	16 UT; 9,5x10 ² ooc/L; 1,7x10 ² <i>C. perfringens</i> NMP/100mL	• PFPA foi alimentado com AB contendo oocistos e <i>C. perfringens</i> por 5 h
		P2: 27 de janeiro / 14	52 UT; 3,8x10 ² ooc/L; 5,0x10 ³ <i>C. perfringens</i> NMP/100mL	• PFPA foi alimentado com AB contendo oocistos e <i>C. perfringens</i> por 12 h.
E8	18 a 23/2/2008	22 de fevereiro / 22	54 UT; 96 ooc/L; 1,7x10 ³ <i>C. perfringens</i> NMP/100mL	• PFPA foi alimentado com AB contendo oocistos e <i>C. perfringens</i> por 12 h.
E9	29/2 a 2/3/2008	29 de fevereiro / 24	13 UT; 43 ooc/L; 50 <i>C. perfringens</i> NMP/100mL	• PFPA foi alimentado com AB contendo oocistos e <i>C. perfringens</i> por 24 h.
E10	10 a 16/3/2008	11 de março / 28	35 UT; 3,5x10 ² ooc/L; 9,0x10 ² <i>C. perfringens</i> NMP/100mL	• PFPA foi alimentado com AB contendo oocistos e <i>C. perfringens</i> por 24 h. • Em 11/3 houve contaminação das amostras



(A)



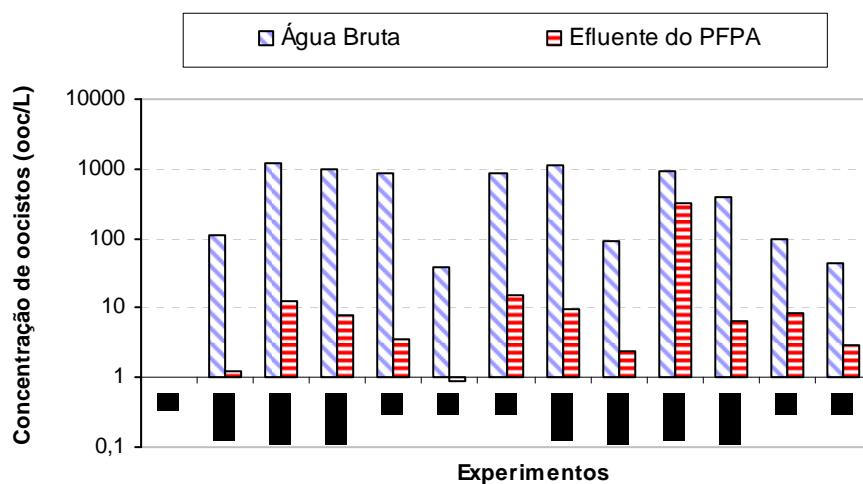
(B)

Figura 2: (A) Densidade de coliformes totais e (B) valores de turbidez na água bruta e efluente do pré-filtro de pedregulho nos primeiros 50 dias da fase experimental.

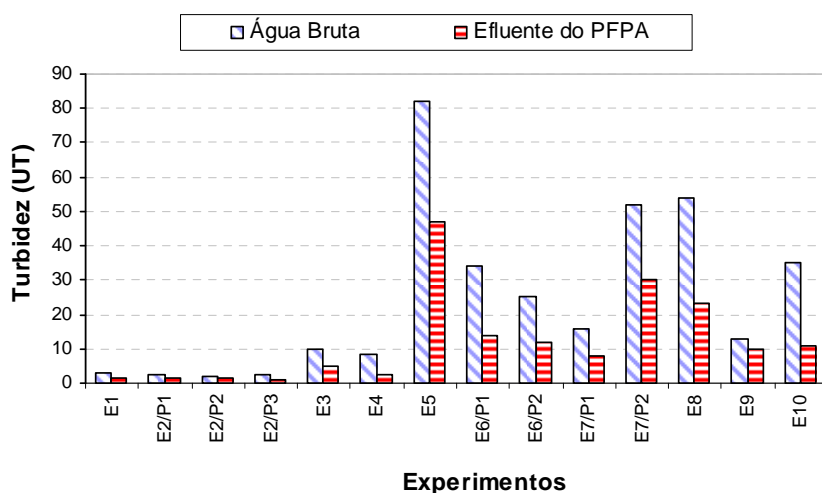
A Figura 3 apresenta as concentrações de oocistos de *Cryptosporidium*, *C. parvum*, *C. perfringens*, coliformes totais assim como os valores de turbidez na água bruta e no efluente após tratamento pelo PFPA nos experimentos E1 a E10. A remoção desses parâmetros é apresentada na Figura 4.

Os valores de turbidez são relativos às amostras compostas ao longo da duração do pico de inoculação. O volume da amostra composta dos filtros foi coletado continuamente durante todo o período de duração do pico de contaminação, excluindo a primeira e a última hora para evitar a mistura com água não contaminada.

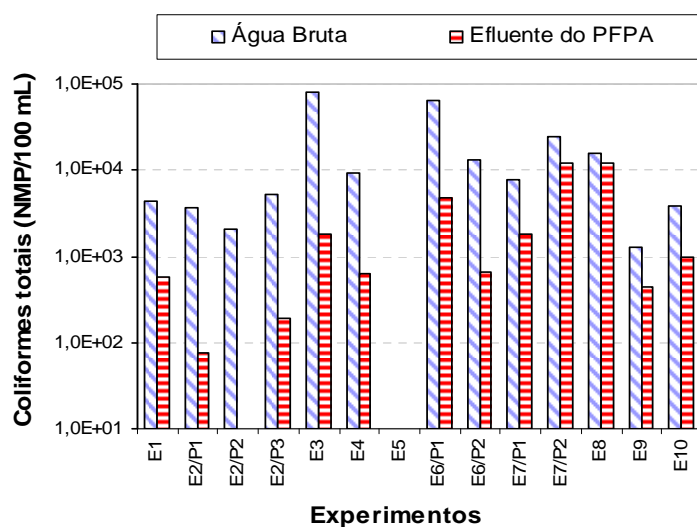
A menor remoção de oocistos de *Cryptosporidium* foi observada no experimento E7/P1 (0,47 log). Este comportamento pode estar associado ao fato de que o experimento E7/P1 foi realizado quando o PFPA contava apenas com 5 dias de amadurecimento. Entretanto, foi verificado que a remoção de oocistos aumentou (valor médio de remoção de 1,70 log) quando o pré-filtro foi submetido a um período maior de amadurecimento (experimentos E1 a E6). Sob condições de curto período de amadurecimento do pré-filtro a carência de predadores no PFPA e o pobre desenvolvimento do biofilme na superfície dos pedregulhos provavelmente afetaram a remoção de oocistos.



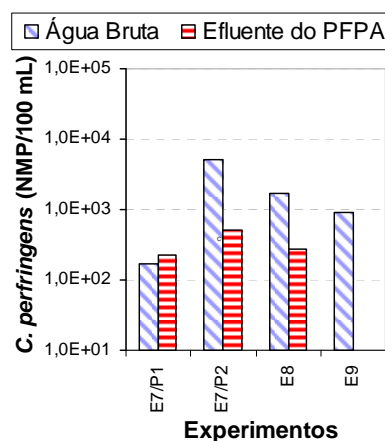
(A)



(B)



(C)



(D)

Figura 3: (A) Concentrações de oocistos de *Cryptosporidium*; (B) Valores de turbidez; (C) Densidade de coliformes totais e (D) *Clostridium perfringens* na água bruta e após tratamento pelo pré-filtro de pedregulho nos experimentos realizados.

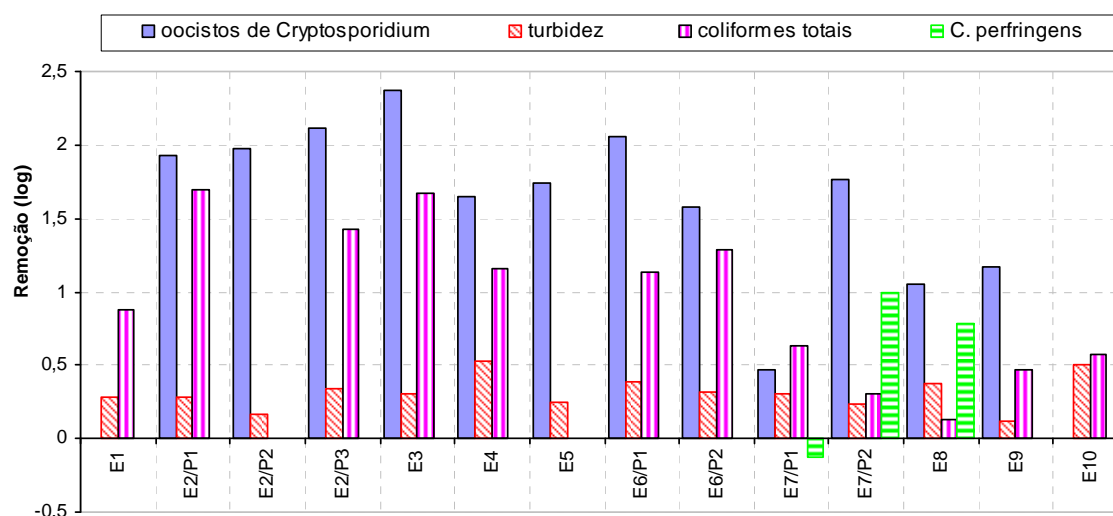


Figura 4: Remoção pelo PFPA em log de oocistos de *Cryptosporidium*, turbidez, coliformes totais e *Clostridium perfringens* nos experimentos realizados.

Observou-se que não houve remoção de *C. perfringens* no pico E7/P1 (remoção de oocistos de 0,47 log), pelo contrário, houve um aumento na concentração efluente do PFPA. A ausência de remoção dos esporos de *C. perfringens* pode ser explicada pela menor dimensão dos esporos (2 µm) em relação aos oocistos (4 a 6 µm). A menor remoção é observada também nos demais experimentos em que os dois organismos foram inoculados.

Em resumo, o PFPA foi responsável pela remoção de 0,47 a 2,37 log de oocistos de *Cryptosporidium*, sendo as remoções de coliformes totais (0 a 1,69 log) e *Clostridium perfringens* (-0,13 a 1,00 log) sempre inferiores às de oocistos (Figura 4 e Tabela 3), sugerindo que esses indicadores são conservadores em relação aos oocistos. Pode-se inferir que uma alta remoção de coliformes totais indicaria remoção de oocistos ainda maior. Porém, essa hipótese deve ser investigada.

A estatística descritiva dos valores dos parâmetros incluídos no estudo é apresentada na Tabela 3.

Tabela 3: Estatística descritiva dos parâmetros turbidez; concentração de oocistos de *Cryptosporidium*, coliformes totais e *Clostridium perfringens*; remoções desses parâmetros no PFPA.

Parâmetro	N	Média	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvio padrão
Turbidez (UT)	15	12	9,9	1,13	47	13
Concentração de <i>Cryptosporidium</i> (ooc/L)	12	11,13	7,27	0,88	61,60	16,55
Densidade de coliformes Totais (NMP/100mL)	13	2,9 x 10 ³	1,0 x 10 ³	7,6 x 10 ¹	1,2 x 10 ⁴	4,1 x 10 ³
Remoção de oocistos de <i>Cryptosporidium</i> (log)	12	1,66	1,75	0,47	2,37	0,53
Remoção de coliformes totais (log)	14	0,84	0,76	0,00	1,69	0,56
Remoção de Turbidez (log)	15	0,51	0,53	0,29	1,10	0,21
Remoção de <i>C. perfringens</i> (log)	4	0,47	0,51	-0,13	1,00	0,51

Ao analisar os dados estatisticamente, o teste não paramétrico de “Spearman” mostrou a existência de correlação significativa a 90% de confiabilidade entre a concentração de oocistos e a concentração de coliformes totais no efluente do PFPA ($r=0,5979$). Da mesma forma, as remoções de ambos os organismos mostraram-se significativas ao mesmo nível de confiabilidade ($p<0,10$). Ambas as correlações foram positivas com coeficiente de “Spearman” superior a 0,55, o que indica que, ao aumentar a remoção de coliformes totais, há uma melhora da remoção de oocistos de *Cryptosporidium*. Verificou-se ainda uma forte correlação positiva ($r = 0,8461$) ao nível de 99% de confiança ($p=0,0003$) entre a turbidez residual e a concentração de coliformes totais no efluente do PFPA.

A caracterização das amostras de biofilme retiradas do pré-filtro (Figura 5) revelou que dentre os grupos de protozoários que colonizaram o biofilme do PFPA, predominaram: classe Rhyzopoda, representada pela ordem Testacea (gêneros *Euglypha*, *Arcella* e *Centropyxis*) e pela ordem Amoebida; classe Ciliata, representada pelas ordens Peritricha (gênero *Vorticella*) e Holotricha e classe Actinopoda (ordem Heliozoa). Os metazoários que colonizaram o PFPA foram os pertencentes às ordens Rotatoria, Nematoda, bem como à classe Clitellata representada pela ordem Oligochaeta.

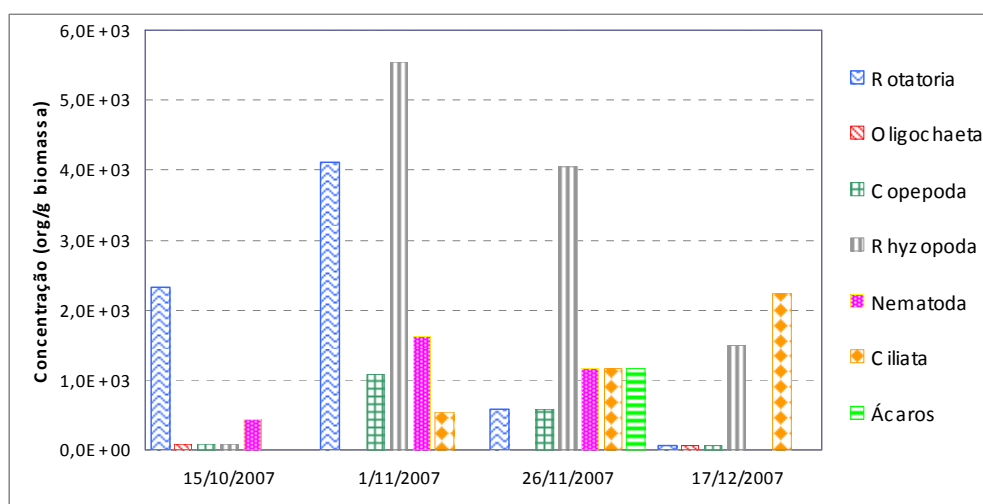


Figura 5: Principais classes de protozoários e metazoários encontrados nas frações de biofilme retiradas do PFPA após os experimentos E2, E3, E5 e E6.

A análise comparativa das eficiências de remoção de oocistos e das contagens de organismos no biofilme mostra que no experimento E6/P1 em que a eficiência de remoção de oocistos pelo PFPA alcançou 2,06 log e logo em seguida diminuiu para 1,58 log (E6/P2), correspondeu com uma diminuição na concentração de organismos das classes Rotatoria (rotíferos), Copepoda, Rhyzopoda e Nematoda no PFPA. Assim, acredita-se que a presença em número menor desses organismos no PFPA pode ter afetado a remoção de oocistos.

A presença de rotíferos (Rotatoria), na maioria das vezes em que foi retirada a biomassa para as contagens, pode indicar a existência de predação nos filtros, uma vez que esses organismos são considerados predadores de oocistos de *Cryptosporidium* por diferentes autores (Fayer *et al.*, 2000, Stott *et al.*, 2003). Outros organismos tidos como predadores também foram observados nas coletas realizadas do biofilme do PFPA especificamente os pertencentes a Rhyzopoda e Ciliata.

CONCLUSÕES

O estudo revela que o pré-filtro com escoamento ascendente além de constituir-se um pré-tratamento robusto e capaz de adequar a qualidade da água afluente ao filtro lento, pode representar importante papel na remoção de oocistos de protozoários. As eficiências médias de remoção do PFPA durante toda a fase experimental foram de: 44,2% para turbidez, com valor de turbidez efluente médio de 5,7 UT; 77,8% para coliformes totais, com densidade média efluente de $1,5 \times 10^2$ NMP/100mL; e remoção de oocistos de *Cryptosporidium* entre 0,47 e 2,37 log (66,0% a 99,6%) durante os picos de contaminação.

A presença de organismos considerados predadores de oocistos de *Cryptosporidium* nas amostras do biofilme do PFPA, como os organismos da classe Rotatoria, Rhyzopoda e Ciliata, indica que a predação pode ser um mecanismo biológico atuante na remoção de oocistos no pré-filtro de pedregulho.

A inserção da unidade de pré-filtração em pedregulho precedendo a filtração lenta é consistente com o conceito de múltiplas barreiras, em que cada unidade de tratamento se constitui uma barreira para a sobrevivência de microrganismos, e é de grande importância na produção de água segura para o consumo humano e prevenção de doenças de veiculação hídrica. No caso de ocorrerem falhas em alguma das barreiras,



a falha poderá ser compensada pela operação eficiente das demais. Dessa forma, aliado a outros tipos de pré-filtração (FiME), o pré-filtro de pedregulho pode ser imprescindível em condições desfavoráveis de operação, como por exemplo, ausência ou insuficiência de amadurecimento do filtro lento e/ou quando os valores de densidade de oocistos de *Cryptosporidium* na água bruta são de moderados a altos.

Finalmente, os resultados desse estudo, inéditos em relação à remoção de oocistos de *Cryptosporidium*, alertam para o bom desempenho do pré-filtro de pedregulho (0,47 a 2,37 log). Apesar de ser considerada uma unidade de filtração grosseira pela facilidade de operação e manutenção, o PFPA alcançou resultados muito satisfatórios. Assim, recomenda-se que mais estudos sejam realizados para avaliar a eficiência do pré-filtro de pedregulho em remover oocistos de *Cryptosporidium* em condições operacionais distintas das adotadas no presente trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. Boller, M. Filter mechanisms in roughing filters. J. Water SRT Aqua, 42(3), 174-185, 1993.
2. Connelly, S. J., Wolyniak, E. A., Dieter, K. L., Williamson, C. E., Jellison, K. L. Impact of zooplankton grazing on the excystation, viability, and infectivity of protozoan pathogens *Cryptosporidium parvum* and *Giardia lamblia*. Applied and Environmental Microbiology, 73(22), 7277-7282, 1997.
3. Di Bernardo, Brandão, C.C.S., Heller, L. Tratamento de água de abastecimento por filtração em múltiplas etapas. 1999. Projeto PROSAB, ABES, Rio de Janeiro, 114p, 1999.
4. Fayer, R., Trout, J. M., Walsh, E., Cole, R. Rotifers ingest oocysts of *Cryptosporidium parvum*. J. Eukaryotic Microbiol., 47(2), 161-163, 2000.
5. Stott, R., May, E., Ramirez, E., Warren, A. Predation of *Cryptosporidium* oocysts by protozoa and rotifers: implications for water quality and public health. Water Science and Technology, 47, 77-88, 2003.
6. USEPA – Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos. Method 1623: *Cryptosporidium* and *Giardia* in water by filtration/IMS/FA. EPA, Cincinnati, EUA, 2005.
7. Wegelin, M. Surface Water Treatment by Roughing Filters. Swiss Centre for Development Cooperation in Technology and Management (SKAT), St. Gallen, Suíça., 1996.