XXII Encontro Técnico AESABESP Congresso Nacional de Saneamento e Meio Ambiente

XXII Encontro Técnico da AESABESP

AESABESP Associação dos Engenheiros da Sabesp

Avaliação da radiação UV na desinfecção de água de reúso

Genivaldo Inácio
Técnico de Saneamento da ETE ABC

Marcelo Morgado
Assessor de Meio Ambiente da Presidência da Sabesp

FENASAN, 02/08/2011

água de reúso sabesp

sabesp

GOVERNO DO ESTADO SÃO PAULO CADA VEZ MELHOR

Objetivos

sabesp

Objetivos

• Verificar a eficiência do uso de radiação ultravioleta na desinfecção da água de reúso para eliminação de colimetria total e destruição de oocistos de Cryptosporidium e cistos de Giardia, resistentes à cloração;
• Avaliar o efeito da recirculação pelo dispositivo UV;
• Checar se a condição novo ou saturado dos filtros cartucho influencia na presença de (oo)cistos;
Nota: pelo pioneirismo, os ensaios também serviram para prospectar a presença dos (oo)cistos na água de reúso da ETE ABC.

Materiais

sabesp

Materiais

Lâmpada ultravioleta Germetec H16C/5.5C - potência 1600W, emissão na faixa de 165 a 480nm, média pressão e transmitância de 60 a 65% (cedida gentilmente pelo fabricante para a realização dos testes).
Rede em PVC para circulação e recirculação do efluente, bomba centrífuga, válvulas, rotâmetro (menor divisão 40 litros/h).
Reservatórios existentes na área de tancagem.
O fabricante não especifica valores de turbidez para o uso da lâmpada e sim valores máximos de DBO_5: 30 mg/l de e SST: 30 mg/l. A vazão recomendada pelo fabricante é de 500 a 600 l/h, o que além de razões de eficácia, visa evitar sobreaquecimento.

Metodologia de ensaio

sabesp

Metodologia

Foi montado o dispositivo UV após o filtro de cartuchos em linha sem cloração. Efetuou-se a determinação de coliformes totais, Escherichia coli. parasitos Cryptosporidium e Giardia no efluente final, após os filtros de areia e antracito e de cartuchos e após a lâmpada UV e ainda após a recirculação pela lâmpada. Controlou-se a vazão para não ultrapassar a máxima permitida pelo equipamento UV para desempenho satisfatório (entre 500 a 600 l/h). A condição de saturação dos filtros de cartucho é constatada pela queda de vazão usual de 37 para a faixa entre 5 a 10m³/h.

Obs: um tanque foi isolado para receber a água não desinfetada, que posteriormente retornou ao processo para que isto ocorresse.

Condições de teste

• montou-se a lâmpada em um circuito conforme foto e croqui a seguir, provido de rotâmetro para verificar se a vazão estava na faixa de trabalho do dispositivo UV;
• não se usou cloração durante os testes (a água não clorada foi estocada e retornou ao processo);
• testou-se a condição filtros cartuchos novos e saturados;
• para avaliar efeito da recirculação estocou-se a água filtrada e se fez a recirculação pela lâmpada;
• como os primeiros resultados apontaram um nº muito baixo ou até ausência de oocistos de Cryptosporidium e um nº reduzido de cistos de Giardia se tentou sucessivamente, desviar o fluxo do filtro de cartuchos e depois também do filtro de areia;
• devido à variação acentuada da concentração instantânea dos (oo)cistos se realizou ensaio com estoque de efluente final sem filtração e que foi mantido homogeneizado por recirculação de bomba;
• realizou-se medição da turbidez em todos os ensaios para verificar o quão favorável era a passagem da radiação UV;
• a vazão foi ajustada para 600 l/hora, através das válvulas e rotâmetro de capacidade máxima 1200 l/hora, pressão do sistema 4 bar. Efetuaram-se coletas nos seguintes pontos:
- efluente final nos decantadores secundários;
- efluente dos filtros de areia e antracito sem passagem pelo filtro de cartuchos;
- efluente após a lâmpada UV.

<u>Dados do efluente final</u>
pH = 6,90
Turbidez = 2,53 NTU
DQO tot = 20 mgO_2/l
SST = 8 mg /l
SSV = 3mg/l
SS < 0,1 ml/l
Cor típica = 100 UC

Características típicas do efluente final

Parâmetro	Unidade	Frequência	Resultados típicos*	Limites Sabesp
pH	--	Diário	7,3	6 a 9,0
Cor	UC	Diário	92,2	--
Turbidez	NTU	Diário	4,7	< 20
SST	mg/l	semanal	11,0	< 35(em 95% das amostras)
DBO_5	mg/l	semanal	13,2	< 25 (em 95% das amostras)
DQO	mg/l	semanal	33,4	Legislação espanhola < 125
OG (substâncias solúveis em hexana)	mg/l	anual	1,8	Visualmente ausente
Colimetria total	NMP UFC/100ml	diária	Em 22% das amostras ausentes e 85% abaixo de 200	----
E. coli	NMP UFC/100 ml	diária	92% das amostras < 200	< 200
Condutividade	µS/cm	semanal	963,2	--
Dureza total	$mgCaCO_3/l$	anual	97,9	--
CRT (cloro total)	mg Cl /l	Diário	5,6	2 a 10
Cloretos total	mg Cl^-/l	anual	127,8	--
Ferro total	mg/l	anual	2,424	< 5
Nitrogênio amoniacal	mg $N\text{-}NH_3/l$	anual	7,8	--
Fósforo total	mg P/l	anual	0,1	< 2

* média de 01/01/11 a 30/05/11

Teste com filtro cartucho novo

Dia 01/02/2011

Dados do efluente final
pH = 7,20
Turbidez = 13,4 NTU
DQO total = 25 mg O_2/l
SST = 8 mg/l
SSV = 3 mg/L
SS < 0,1 ml/l
Cor = 100 UC

Dia 02/02/2011
09:00: encerrada a alimentação do reservatório 02, atingindo-se a altura de 2,19 m e volume de 15.067m³. Iniciada a recirculação pela lâmpada UV.

Dia 04/02/2011
Efetuada a coleta do efluente recirculado pela lâmpada UV e desligado o sistema para efetuar os preparativos do teste.
Leitura no filtro saturado através do controle via horímetro da lâmpada UV**: X h** de funcionamento da bomba.

Testes com filtros cartuchos saturados

10:00: iniciada a drenagem do tanques.
14:20: iniciada a etapa do teste com o filtro saturado e efetuadas as coletas de amostras do efluente final, pós filtro de areia e antracito e cartuchos a ainda após a lâmpada UV (1 passagem)

<u>Dados do efluente final</u>
pH = 7,19
Turbidez = 2,53 NTU
DQO total = 19 mgO_2/l
SST = 7 mg/l
SSV = 3 mg/l
SS < 0,1 ml/l

<u>Dia 05/02/11</u>
9:00: concluído o abastecimento do reservatório e iniciado o processo de recirculação quando prevaleciam as seguintes condições:
Volume: 11.733 l

<u>Dia 07/02/11</u>
08:00: efetuada a coleta de amostra do efluente recirculado
Leitura no horímetro: 27620 h de funcionamento da lâmpada

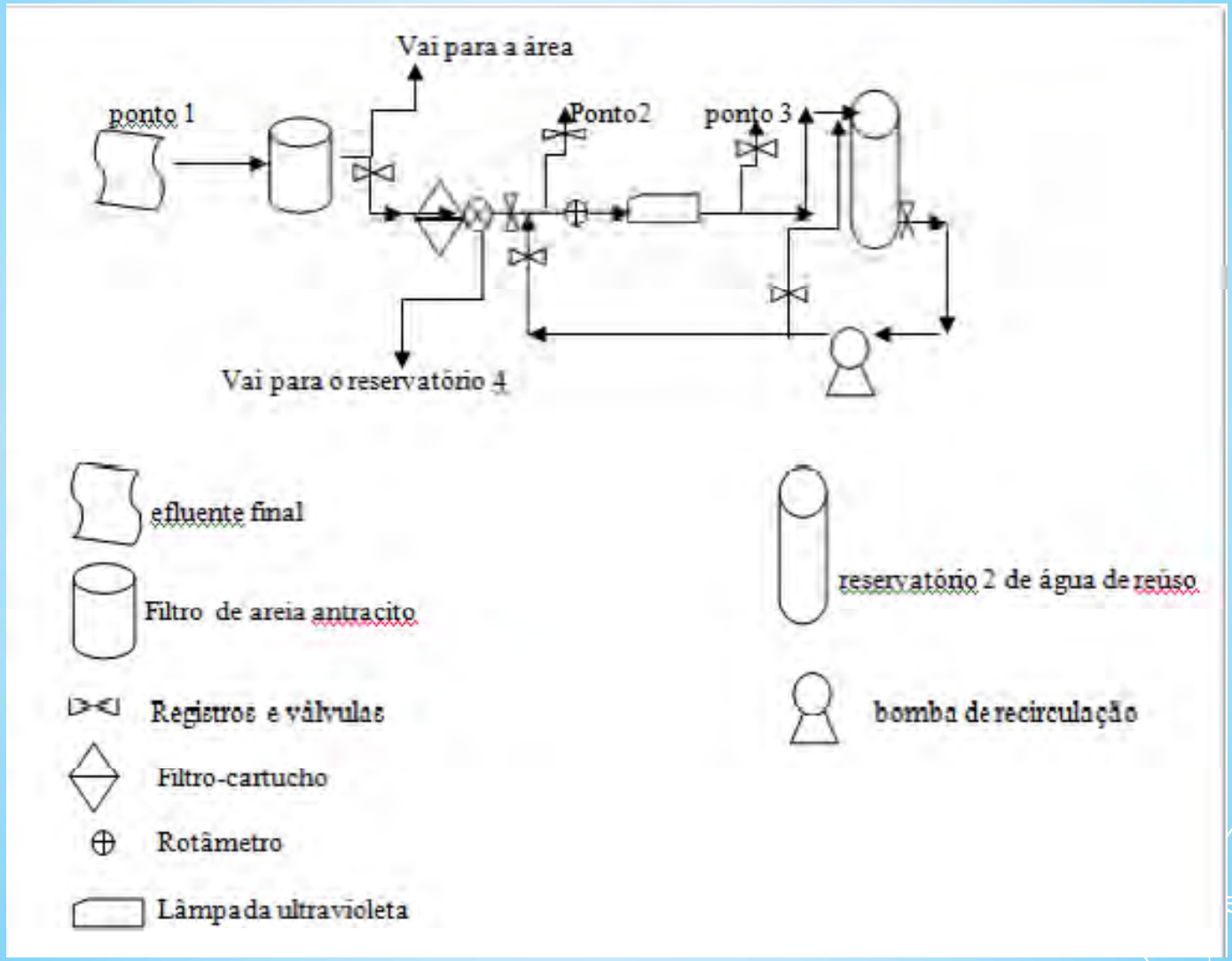
Resultados do afluente a lâmpada

Dia	Cond. µs/cm	Cor UC	DBO mgO_2/l	DQO mgO_2/l	pH	SS ml/l	SSF mg/l	SSV mg/l	SST mg/l	Temp. ºC	Turbidez NTU
26/01/11	927	89	10	38	7,22	0,1	1	5	7	25,7	4,89
01/02/11	775	47	17	19	7,37	0,1	1	2	2	25,0	1,64
04/02/11	-	40	-	24	7,24	0,1	-	-	1,1	25,0	1,4

Croqui e fotos da montagem do sistema de testes

sabesp

Croqui


Vai para a área
ponto 1
Ponto2
ponto 3
Vai para o reservatório 4
efluente final
Filtro de areia antracito
Registros e válvulas
Filtro-cartucho
Rotâmetro
Lâmpada ultravioleta
reservatório 2 de água de reúso
bomba de recirculação

Fotos



Foto 01: Reservatório 02 de água de reúso (25000 litros)



Foto 02: Sistema de retorno com bomba de recirculação e mangueira de nível



Foto 03: Tomada de sucção do sistema de recirculação



Foto 04: Ponto de tomada de amostra após a lâmpada UV

Fotos



Foto 05: Rotâmetro para medição de vazão antes da lâmpada UV



Foto 06: Sistema de filtro cartucho 1µm nominal



Foto 07: Dispostivo com lâmpada UV



Foto 08: Ponto de alimentação e interligação da recirculação. Manômetro c/ menor divisão 0,10bar.

Fotos



Foto 09: Bomba de recirculação e sistema de retorno p/ ajuste da vazão



Foto 10: Filtro de areia/antracito.



Foto 11: Vertedores dos decantadores secundários (coleta do efluente final.

Metodologias de análise

sabesp

Métodos de análise

Colimetria total
Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater - 21st Edition – 2005 - nº 9223 - Enzyme Substrate Coliform Test

Escherichia coli
Standard Methods for the Examination of Water & Wastewater - 21st Edition – 2005 - nº 9223 - Enzyme Substrate Coliform Test

Cryptosporidium e Giardia
Método EPA (EUA) nº 1623: “Crypstoporidium and Giardia by Filtration / IMS / FA - Dec/2005

Equipamentos usados na análise dos parasitos



Centrifuga de 1500 G



Microscópio de epifluorescência

Programação da coleta de amostras

sabesp

Condição	Amostra	Data da coleta	Volume filtrado (litros)	Volume coletado (litros)
1- Sem filtro cartucho, sem recirculação	Efluente final	26/01/11	20	20
	Após filtro de areia/antracito	26/01/11	20	20
	Após lâmpada UV	26/01/11	20	20
2- Sem filtro cartucho, com recirculação	Após a lâmpada UV	29/01/11	20	20
3- Com filtro cartucho novo,sem recirculação	Efluente final	01/02/11	20	20
	Após filtro de areia/antracito	01/02/11	20	20
	Após lâmpada UV	01/02/11	20	20
4- Com filtro cartucho novo, com recirculação	Após Lâmpada UV	04/02/11	20	20
5- Com filtro cartucho saturado, sem recirculação	Efluente final	04/02/11	20	20
	Após filtro de areia/antracito	04/02/11	20	20
	Após lâmpada UV	04/02/11	20	20
6- Com filtro cartucho saturado, com recirculação	Após lâmpada UV	07/02/11	20	20

Resultados das análises

sabesp

Condição	Amostra	Data da Coleta	Coliformes totais (UFC/100ml)	*Escherichia coli* (NMP/100 ml)	*Cryptosporidium* (oocistos/l)	*Giardia* (cistos/l)
1 - Sem filtro cartucho, sem recirculação	Efluente final	26/01/11	> 2419,6	> 2419,6	0,1	29,2
	Após filtro areia e antracito	26/01/11	> 2419,6	> 2419,6	0,0	13,5
	Após lâmpada UV	26/01/11	275,5	11	0,1	17,0
2 - Sem filtro cartucho, com recirculação	Após lâmpada UV	29/01/11	20,9	< 1	0,0	1,1
3 - Com filtro cartucho novo, sem recirculação	Efluente final	01/02/11	> 2419,6	> 2419,6	0,0	9,8
	Após filtro areia e antracito	01/02/11	> 2419,6	> 2419,6	0,0	1,0
	Após lâmpada UV	01/02/11	3,1	< 1	0,0	2,1
4 - Com filtro cartucho novo, com recirculação	Após lâmpada UV	04/02/11	27,5	18,9	0,0	3,3

Nota: estes resultados de colimetria são elevados, pois para a realização dos testes a cloração foi desligada. O efluente retornou ao processo para ser clorado, após a coleta de amostras.

Condição	Amostra	Data da Coleta	Coliformes totais (UFC/100ml)	*Escherichia coli* (NMP/100 ml)	*Cryptosporidium* (oocistos/l)	*Giardia* (cistos/l)
5 - Com filtro cartucho saturado, sem recirculação	Efluente final	04/02/11	> 2419,6	> 2419,6	0,0	9,7
	Após filtro areia e antracito	04/02/11	> 2419,6	> 2419,6	0,0	0,1
	Após lâmpada UV	04/02/11	55,4	5,2	0,0	6,3
6 - Com filtro cartucho saturado, com recirculação	Após lâmpada UV	07/02/11	1732,9	7,5	0,0	3,2

Nota: estes resultados de colimetria são elevados, pois para a realização dos testes a cloração foi desligada. O efluente retornou ao processo para ser clorado, após a coleta de amostras.

Resultados de análises na água de reúso da ETE Jsus Netto (processo de polimento mais complexo)

Data	Pontos	Cistos de Giardia/litro	Oocistos de Cryptosporidium/litro	
27/04/11	P7	1	0	P7: antes do filtro granular P11: água de reúso
	P11	2,9	0	
18/05/11	P7	0,5	0,4	
	P11	0,2	0	
10/06/11	P7	2,3	0,4	
	P11	0	0,1	
05/07/11	P7	1,7	0,1	
	P11	0,3	0	

Testes p/ aumento do nº de (oo)cistos e com agitação p/ estabilizar a concentração

18 de julho de 2011

Tomada de amostra antes do filtro cesto, abastecendo o reservatório com 25000 litros mantido em recirculação para homogeneizar a concentração afluente.
Dia 19, efetuada a transferência de 3000 litros para novo tanque de teste também mantido sob recirculação para homogeneização e coleta de amostras para colimetria e para o Lab. Central.

Dados da amostra afluente lâmpada UV
pH = 7,6
T (ºC) = 7,96
Turbidez (NTU) = 20,06
DQO (mgl) = 74
SST (mg/l) =18
SS (ml/l)= 0,1
SSV (mg/l) = 17

Após a coleta, ligou-se a lâmpada com ajuste da vazão para a faixa de 500 a 600 litros/hora.
Efetuadas novas coletas de amostras para colimetria e determinação de (oo)cistos dias 20/07 às 07:30 e dia 21/07 às 09:30.

Resultados da sobredosagem de radiação UV por 3 e 8 passagens pela lâmpada

Amostra	Data/hora de coleta	Coliformes totais NMP/100ml	E. coli UFC/100 ml	Cryptosporidium (oocistos/l)	Giardia (cistos/l)	Turbidez NTU
Afluente à lâmpada	18/07/11 16:00	$1,84 \times 10^6$	$3,13 \times 10^6$	0	32,3*	20,06
Efluente da lâmpada com 3 passagens	20/07/11 07:30	2×10^4	1×10^4	0,4	58,0	——
Efluente da lâmpada com 8 passagens	21/07/11 09:30	3,1	<1	0	0,8	10,7

Nota: estes resultados estão provavelmente subestimados pois esta amostra estava muito turva por ser do efluente final e foram necessárias15 lavagens na etapa de purificação em que normalmente são 2 vezes.

Conclusões

sabesp

Conclusões

- Resultados de remoção de E. coli promissores em todas as condições (com e sem filtro cartucho, com e sem recirculação e filtros cartucho novos ou saturados). Não se constatou qualquer efeito benéfico da recirculação pela lâmpada UV, que deveria resultar em leituras menores. Contudo o número de coletas foi muito reduzido para embasar afirmações definitivas. Nas 6 coletas realizadas, a redução foi substancial: > 2419,6 para: ≤ 18,9 UFC-NMP/100ml (em 2 coletas o nível foi inferior ao limite de detecção do método. Contudo, uma avaliação mais criteriosa requereria um maior número de coletas, o que se pretende conduzir no futuro.
- Para colimetria total os resultados foram piores e a remoção em 5 das 6 coletas saiu do patamar de > 2419,6 para ≤ 275,5 UFC-NMP/100ml. Curiosamente, a última análise em 07/02/11 a concentração após lâmpada UV e com recirculação foi surpreendentemente de 1732,9 UFC-NMP/100ml. Desconhece-se a possível causa, mas que pode ser inclusive uma pane momentânea na lâmpada UV.

Conclusões

- Verificou-se virtual ausência de oocistos de Cryptosporidium, em todas coletas do efluente final sem filtração, servindo os testes apenas para indicar tal característica do efluente. Portanto, neste caso nada se pode afirmar quanto à eficiência dos filtros de areia/antracito, de cartuchos e da lâmpada UV. Cabe registrar que isto é auspicioso, no sentido que que este parasito é bem mais perigoso e infectante que a Giardia, há apenas tratamento sintomático para a cryptosporidiose e os oocistos resistem muito mais a desinfecção que os cistos.

Conclusões

• Para Giardia, constatou-se que em 4 das 5 coletas, a concentração estava em torno de 10 cistos/l e apenas na 1ª coleta se encontrou 29,2 cistos/l. Entretanto, também não foi possível qualquer avaliação por quatro motivos:

1) o método US-EPA 1623 apenas quantifica os (oo)cistos sem determinar viabilidade, embora se perceba alguma alteração de cor e aspecto das paredes de alguns (oo)cistos, o que ensejou novo protocolo de testes para se verificar se tal mudança poderia ser atribuída ao UV, conforme detalhado abaixo;

2) somente a passagem pelo filtro de areia e antracito já reduz substancialmente a concentração (≤ 1,0 cisto/l, exceto na coleta em 26/01/11 em que a redução foi de 29,2 para 13,5 cistos/l), impedindo se avaliar o efeito da desinfecção;

3) como se trata de um método de análise demorado e dispendioso, há dificuldades em se realizar um número razoável de ensaios, que forneça suporte estatístico para afirmações assertivas;

Conclusões

4) constatou-se intensa flutuação da concentração de cistos de Giardia no efluente final e mesmo se fazendo coletas "simultâneas", ocorreu de haver mais parasitos na saída que na entrada do dispositivo UV em todas as três coletas. Para contornar este problema decidiu-se realizar uma nova bateria de análises em que estocou-se efluente final em pequeno tanque de 3000 litros que se manteve sob agitação através de recirculação com bomba e coletou-se amostra para obter a concentração de cistos e fez-se a passagem desta água pelo dispositivo UV. Estes números devem considerar que há grande variabilidade em ensaios biológicos, baixa recuperação (embora dentro dos limites permitidos pelo método) e maior quantidade de interferentes nas amostras provenientes de etapas anteriores.

Conclusões

- Verificou-se que em todas as amostras os valores de SST e DBO_5 (em alguns casos levando em consideração os valores de DQO) não ultrapassaram os valores máximos estabelecidos pelo fabricante Germetec. Contudo, em situação de operação normal, com fluxo contínuo, é possível a formação de biofilme sobre a lâmpada. Por isso é recomendável se avaliar a necessidade de aparelho contando com sensor de transmissão que alarme redução da passagem de UV. Isto poderia ser feito de forma automática, como ocorre em alguns modelos, que dispõem de um anel de teflon que corre automaticamente pela superfície de vidro para limpeza da lâmpada com intertravamento do sinal de transmissão de UV ou de turbidímetro em linha, à jusante do filtro de cartuchos. Para tanto caberia se estabelecer um valor teto para turbidez.

Conclusões

- Constatou-se nos ensaios com sobredosagem que a radiação UV é efetiva na destruição dos parasitos. No caso da amostra que passou 3 vezes na lâmpada houve destruição significativa dos cistos que desapareceram na amostra que passou 6 vezes, sem deixar vestígios na forma de restos de parede celular. Cabe registrar que apenas as amostras que foram submetidas à radiação UV apresentaram alteração morfológica com a parede externa rugosa, com pequenas reentrâncias. Novos ensaios poderiam quantificar tais alterações. Nas análises realizadas, trata-se apenas de uma observação. Não se observaram contudo alterações na cor nem nas estruturas celulares.
- O método US-EPA 1623 foi desenvolvido para água potável e sua aplicação na água de reúso aumenta o erro, que já é elevado (recuperação média de (oo)cistos marcados mínima de 24% em água destilada; no caso da água de reúso se conseguiu cerca de 10% - o método descreve que pode não ser possível a recuperação em certas matrizes). Ou seja na melhor condição o método fornece resultados que podem ser até 4 vezes menores que os reais.

Conclusões

O Lab. Central da Sabesp consegue recuperação de 40-50% mín. para água destilada (recuperação do método) e de somente 10% para água de reúso da ETE-ABC (recuperação na matriz).
Infelizmente as técnicas para determinação da viabilidade dos (oo)cistos não estão disponíveis nos laboratórios da Sabesp (corantes vitais ou biologia molecular).
No caso destes protozoários, em que as doses infectantes são muito baixas e mesmo um único (oo)cisto poderia deflagrar doença em indivíduo adulto imunodeficiente, recomenda-se a mudança de tecnologia de polimento do efluente final para água de reúso destinada à venda, como ultrafiltração ou coagulação / floculação / sedimentação. Isto ainda que possa se considerar o risco de contaminação relativamente remoto seja por ingestão acidental, seja por ingresso no esôfago por inalação de névoa. Registre-se que no histórico de fornecimento de água de réúso desde 1997, para hoje 53 clientes, se desconhecem casos de cryptosporidiose ou giardíase associados à sua manipulação, em que pese tais etiologias possam ser assintomáticas em certos casos.

Recomendações

sabesp

Recomendações

- Prosseguir com as avaliações de colimetria para confirmar resultados promissores da desinfecção UV;
- Investigar a possibilidade de adotar a desinfecção UV como alternativa para destruição de oocistos e cistos, recorrendo-se a recirculação ou dispositivos mais potentes, tendo em vista os resultados promissores na bateria de ensaios com 3 e 6 passagens pela lâmpada. Também é oportuno estudar a possibilidade de se desenvolver um método para avaliar a viabilidade das formas encistadas, após a radiação;
- Considerando-se que o método EPA é muito caro e trabalhoso, foi desenvolvido para água potável e que o monitoramento de (oo)cistos de protozoários não consta em legislações consultadas de outros países, recomenda-se que a futura regulamentação no estado de S. Paulo considere a alternativa de se exigir tecnologia e não tal monitoramento.

Recomendações

- Instalar um 2º filtro de cartuchos em série, à montante do de 1 mícron, com abertura nominal superior (Ex: 15 micra), visando aumentar a vida útil dos cartuchos de 1 mícron e melhorar o desempenho, permitindo a operação a pressões mais baixas (Obs: este é o padrão usual em filtração industrial);
- Adotar a ultrafiltração ou coagulação/sedimentação para água de reúso destinada à venda, em casos em que haja risco de contaminação;
- Considerar as membranas cerâmicas de ultrafiltração pela sua robustez e durabilizade;
- No caso das ETEs que utilizarem a água de reúso apenas internamente, como água de serviço na selagem de bombas e outras aplicações em que não há aspersão, não se considera haver objeções ao uso de polimento apenas por filtração.

Obrigado!

Genivaldo Inácio - Técnico de saneamento da ETE ABC
11-20202425 - genivaldoinacio@sabesp.com.br
Tatiane C. R. Dintof - Bióloga da ETE ABC
11-20202480 - tdintof@sabesp.com.br
Marcelo Morgado - Assessor de Meio Ambiente da Presidência
11-33888954 - mmorgado@sabesp.com.br

www.sabesp.com.br – twitter: @ciasabesp
Flicker: www.flickr.com/sabesp
Youtube: www.youtube.com/SaneamentoSabesp
Blog da Sabesp: www.blogdasabesp.com.br

sabesp

GOVERNO DE SÃO PAULO