

PAP006035 - USO DO FILTRO LENTO NA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA DE CHUVA

Ticiania Ayres Agra

Graduanda em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Alagoas.

Ângelo Thomás Pimentel Ferreira

Graduando em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Alagoas.

Victor Cantalice de Souza

Engenheiro civil pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Marcio Gomes Barboza

Engenheiro civil pela Universidade Federal de Alagoas (UFAL). Mestre e Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Professor adjunto e pesquisador do Centro de Tecnologia da Universidade Federal de Alagoas (UFAL).

Luciano Lopes Lima

Graduando em Geografia Bacharelado, da Universidade Federal de Alagoas.

ABSTRACT

The scarcity of good quality water is responsible for the death of millions of people and animals each year. The reuse of rain water is becoming a reality in several places in the world and stands as a very simple and efficient solution able to reduce the problem mentioned, mainly in places where the scarcity of water is more expressive and the available resources are insufficient to supply the basic needs of the population. One of the main aspects about the use of this kind of water is the guarantee its quality, specially considering the microbiologic point of view. The use of slow filters to catch rain water is ideal for small communities, because of its low cost and the simplicity of operation, further can be efficient to remove pathogens. The work presented here had the goal to make possible the reuse of rain water captured with ceramic roofing tile and later stored in fiberglass containers. In order to match the parameters of quality decreed at the MS 518/2004 issued by the Ministry of Health from Brazil it was adopted the slow sand filtration.

PALAVRAS-CHAVE: escassez de água, água de chuva, filtro lento.

INTRODUÇÃO

Com o crescimento acelerado da população ao longo dos anos, fez-se necessário um amplo desenvolvimento econômico e urbano nas cidades. O descaso com o meio ambiente durante esse tempo, resulta hoje na poluição dos recursos hídricos do planeta, tornando a questão da água uma preocupação de âmbito global.

Em abril do corrente ano de 2011, a Assembleia-Geral da ONU (Organização da Nações Unidas) reconheceu em documento que o acesso à água de qualidade e instalações sanitárias é um direito humano, visto que dois milhões de pessoas, principalmente crianças, morrem anualmente pela ausência dessas condições (Jornal de Ciência, Tecnologia e Empreendedorismo, 2010).

A universalização dos serviços de saneamento básico só acontece em países com PIB *per capita* superior a US\$ 20,000, tendo o Brasil um PIB médio *per capita* de US\$ 3,000, seria necessário um elevado crescimento do mesmo, além de submeter à população a uma taxa de 3 a 4 vezes superior à paga atualmente (REBOUÇAS, 2004).

A demanda por água cresce em ritmo constante, proporcionalmente aos desperdícios e à degradação ambiental. No Brasil e no mundo as estratégias para suprir as necessidades da população estão voltadas para o aumento da oferta. O Secretário-Geral da ONU, Ban Ki-moon, afirmou que a crise urbana de água está diretamente relacionada a uma crise de governança, de políticas e gerenciamentos fracos, e não a um problema de escassez (ONU, 2011).

Rebouças (2004) afirma que a engenharia nacional de recursos hídricos deve investir em campanhas de informação à população sobre o uso inteligente da água disponível, como forma de solucionar o problema da escassez.

O aproveitamento da água de chuva é uma prática antiga, utilizada desde os primórdios da humanidade e se apresenta como uma medida socioambiental responsável e economicamente possível para solucionar os problemas relacionados à água. O principal desafio no manejo dessa prática é garantir a sua qualidade, principalmente do ponto de vista microbiológico.

A contaminação dessas águas pode estar relacionada à qualidade do ar ou ao uso inadequado do sistema. Pesquisas comprovam que a água de chuva ao escoar pela superfície de captação carrega poluentes (substâncias tóxicas e bactérias) capazes de ocasionar doenças. Considerando que as primeiras águas pluviais são de baixa qualidade, deve-se eliminar essa primeira fração e priorizar o monitoramento e o tratamento, quando necessário, da água a ser efetivamente aproveitada (RIGHETTO, 2009).

Os sistemas de captação de águas pluviais devem garantir que os aspectos técnicos, sociais, econômicos e ambientais sejam considerados de forma adequada. É necessário promover a segurança hídrica das águas de chuva, desenvolver e aplicar métodos simples de tratamento de água e apoiar os usuários desses sistemas, proporcionando-lhes um melhor convívio com as condições de sua região.

Nesse contexto apresenta-se a técnica de filtração lenta em areia (FLA), como uma alternativa para o tratamento da água de chuva, uma técnica secular e mundialmente difundida, em termos de aplicações práticas. Sua construção é de baixo custo, visto que os materiais empregados são encontrados em muitas localidades, e de simples operação, não exigindo um grau de instrução/conhecimento elevado do operador.

A filtração lenta comparada com outras técnicas de filtração possui uma boa eficiência na remoção de patógenos, atribuída à formação de uma fina camada de microrganismos no topo da camada de areia que se alimentam dos patógenos e matéria orgânica. Assim, em muitos casos, dependendo do desempenho do sistema de FLA, a desinfecção é dispensável no final do tratamento.

A filtração lenta em areia é a passagem da água pelo leito de areia, por gravidade, a uma baixa taxa de filtração, sem o uso de coagulação no pré-tratamento. O filtro geralmente consiste numa camada de areia por cima de uma camada suporte de pedregulho (WHO, 2004). O tamanho de grão de areia é um pouco menor do que o utilizado em um filtro rápido, esse fator associado com a taxa de filtração resulta numa quase total remoção dos sólidos, removidos em uma fina camada sobre o topo do leito de areia. Essa fina camada, composta de micro e macro organismos vivos e mortos da água (geralmente chamada de *schmutzdecke*, termo em alemão que significa película suja), passa a ser o meio filtrante dominante com o amadurecimento do filtro (CLEASBY & LONGSDON, 1999).

METODOLOGIA

O sistema experimental de captação, armazenamento e tratamento de água de chuva foi implantado no Centro de Tecnologia (CTEC) da Universidade Federal de Alagoas (UFAL), num modelo de habitação sustentável de interesse social.

A água de chuva foi captada em telhado de material cerâmico, passando por um sistema piloto de filtração lenta em areia e destinada para o armazenamento em cisterna de fibra de vidro.

Os pontos de coleta utilizados para a amostragem das águas analisadas estão localizados na saída do reservatório de armazenamento de água (cisterna), ao longo do leito do filtro e na saída do mesmo.

O sistema de captação de água de chuva é composto por calhas coletoras, condutores verticais, um reservatório de auto-limpeza com volume de aproximadamente 60L e um reservatório de armazenamento com volume de 10.000L. O sistema recebe a água de uma cobertura cerâmica de 65 m² de área.

A Figura 1 apresenta a estrutura de captação da água de chuva.



FIGURA 1: Estrutura de captação e transporte da água de chuva.

O sistema de filtração lenta é composto de um filtro lento em areia confeccionado num barril cilíndrico de polipropileno com 90 cm de altura e 56 cm de diâmetro. A taxa de filtração inicial adotada é de 312 L/dia ou $1,27\text{m}^3/(\text{m}^2\cdot\text{dia})$.

O fluxo de água é descendente e seu fornecimento ao filtro é feito através de um reservatório intermediário (entre o reservatório de armazenamento e o filtro) situado de maneira a fornecer água por gravidade. A água bruta entra e passa por um dissipador, cujo objetivo é reduzir a perturbação ocasionada pelo vertimento da água na lâmina de água sobre a camada biológica (*schmutzdecke*), evitando assim, uma possível desagregação desse biofilme. A água bruta passa por três meios: o meio filtrante composto de areia fina; a manta geotêxtil não-tecida, necessária para evitar ao máximo a passagem de partículas do meio filtrante para a camada suporte; o terceiro meio é a camada suporte composta de pedregulhos.

Um esquema da instalação do filtro é apresentado na Figura 2.

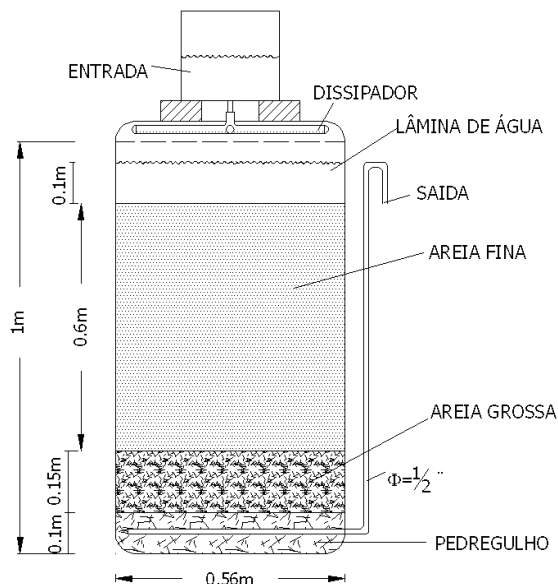


FIGURA 2: Desenho esquemático do filtro lento em areia.

As análises e exames da qualidade da água foram executadas no Laboratório de Saneamento Ambiental (LSA) da UFAL. A metodologia de execução das análises físico-químicas e dos exames microbiológicos está estabelecida em *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 1999).

A seguir apresenta-se a Tabela 1 com a lista de todos os parâmetros que foram analisados, bem como suas respectivas freqüências de análise e métodos de execução.

TABELA 1: Parâmetros de qualidade da água analisados.

Parâmetro	Unidade	Método	Frequência
pH	-	Potenciométrico	Semanal
Temperatura (T)	°C	Medição direta	Semanal
Cor Aparente (C)	uC	Medição direta	Semanal
Turbidez (Tb)	uT	Nefelométrico	Semanal
Sólidos Dissolvidos Totais (SST)	mg/L	Gravimétrico	Semanal
Oxigênio dissolvido (OD)	mg/L	Medição direta	Semanal
Cloreto (CL ⁻)	mg Cl ⁻ /L	Titulométrico	Semanal
Dureza (D)	mg CaCO ₃ /L	Titulométrico	Semanal
<i>Escherichia coli</i> (<i>E.coli</i>)	UFC/100ml	Filtração em membrana	Semanal
Coliformes Totais (CT)	UFC/100ml	Filtração em membrana	Semanal
Bactérias heterotróficas	UFC/100ml	Filtração em membrana	Semanal

DESCOBERTAS E DISCUSSÕES

Os valores da estatística descritiva dos dados da análise da água de chuva encontram-se na tabela 2, nesta, pode-se perceber que, dentre os parâmetros físico-químicos os que apresentaram as maiores variabilidades em ordem decrescente foram: a cor aparente; os sólidos dissolvidos; a turbidez; os cloretos; a dureza; o pH; o oxigênio dissolvido e a temperatura.

Todos os dados foram analisados segundo os padrões de potabilidade de água estabelecidos pela portaria do Ministério da Saúde (MS) nº 518/2004.

Dentre os valores de pH analisados, 35,71% não se enquadraram no limite estabelecido pela referente portaria ($6,0 \leq \text{pH} \leq 9,5$). Nas análises de turbidez 25,00% das amostras coletadas não atenderam à norma ($Tb \leq 5uT$). Em todas as coletas realizadas os valores observados nos parâmetros *Escherichia Coli*, coliformes totais e bactérias heterotróficas ficaram acima do permitido, que é a ausência em 100mL para os dois primeiros e de, no máximo, 500 UFC/mL para o último.

A portaria do Ministério da Saúde (MS) nº 518/2004 não estabelece padrões para a temperatura e oxigênio dissolvido.

Os valores da estatística descritiva dos dados do efluente na saída do filtro lento encontram-se na tabela 3.

TABELA 2: Estatística descritiva dos dados da análise da água de chuva.

Parâmetro	Unidade	Média	Mín	Máx	Desvio Padrão	C.V	N
pH	-	9,24	8,08	10,06	0,606	0,066	13
T	°C	24,66	23,60	25,80	0,784	0,032	13
C	uC	3,09	0,70	5,10	1,455	0,471	19
Tb	uT	4,13	2,14	8,16	1,650	0,399	19
SDT	mg/L	45,60	20,00	80,00	18,590	0,408	10
OD	mg/L	4,75	4,40	5,40	0,290	0,061	13
CL ⁻	mg Cl ⁻ /L	3,21	2,52	4,32	0,647	0,202	14
D	mg CaCO ₃ /L	4,36	3,00	6,00	0,745	1,171	14
<i>E.coli</i>	UFC/100ml	7,22 X 10 ²	1,00 X 10 ²	4,00 X 10 ³	1,08 X 10 ³	1,49	18
CT	UFC/100ml	9,60 X 10 ³	6,00 X 10 ²	3,10 X 10 ⁴	8,09 X 10 ³	0,84	18
BH	UFC/100ml	2,11 X 10 ⁴	4,00 X 10 ²	5,80 X 10 ⁴	1,80 X 10 ⁴	0,85	18

Tabela 3 - Estatística descritiva dos dados do efluente na saída do filtro lento.

Parâmetro	Unidade	Média	Mín	Máx	Desvio Padrão	C.V	N
pH	-	9,71	9,03	10,58	0,41	0,04	13
T	°C	24,05	22,60	25,60	0,82	0,03	13
C	uC	1,81	0,30	4,50	1,09	0,60	19
Tb	uT	5,76	3,26	15,20	3,04	0,53	19
SDT	mg/L	63,2	36,00	90,00	18,55	0,29	10
OD	mg/L	4,95	4,60	5,30	0,24	0,05	13
CL ⁻	mg Cl ⁻ /L	3,55	2,70	5,71	0,81	0,23	14
D	mg CaCO ₃ /L	16,96	13,00	24,00	3,09	0,18	14
<i>E.coli</i>	UFC/100ml	1,00 X 10 ²	1,00 X 10 ¹	2,00 X 10 ²	5,10 X 10 ¹	1,39	18
CT	UFC/100ml	6,00 X 10 ²	1,00 X 10 ¹	1,70 X 10 ³	4,20 X 10 ²	1,03	18
BH	UFC/100ml	4,00 X 10 ²	1,00 X 10 ¹	3,50 X 10 ³	8,70 X 10 ²	0,84	18

Os parâmetros microbiológicos, a cor e a turbidez foram avaliados em quatro pontos do filtro lento: entrada, segunda torneira intermediária (2aT), terceira torneira intermediária (3aT) e saída. Os demais parâmetros foram monitorados na entrada e na saída.

A seguir são apresentadas as discussões sobre cada parâmetro avaliado na operação do filtro lento:

- pH

A figura 3 apresenta a variação temporal do pH ao longo do Filtro Lento, demonstrando a baixa variação desse parâmetro entre os valores de entrada e saída. Cipriano (2004) e Bastos (2007) também verificaram discretas elevações na média do pH da água de saída no filtro lento.

Considerando as médias da água de entrada e saída no filtro (figura 4), percebe-se que os valores de pH analisados no efluente do filtro lento se encontram acima do estabelecido pela portaria MS nº 518/2004 ($6,0 \leq \text{pH} \leq 9,5$).

FIGURA 3: Variação temporal do pH no filtro lento.

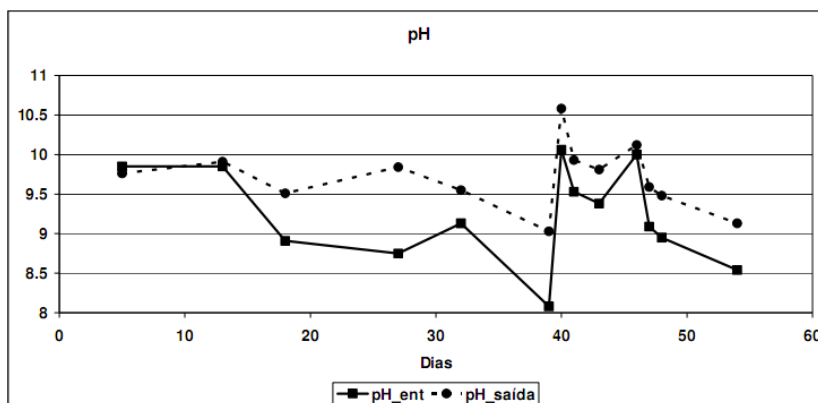
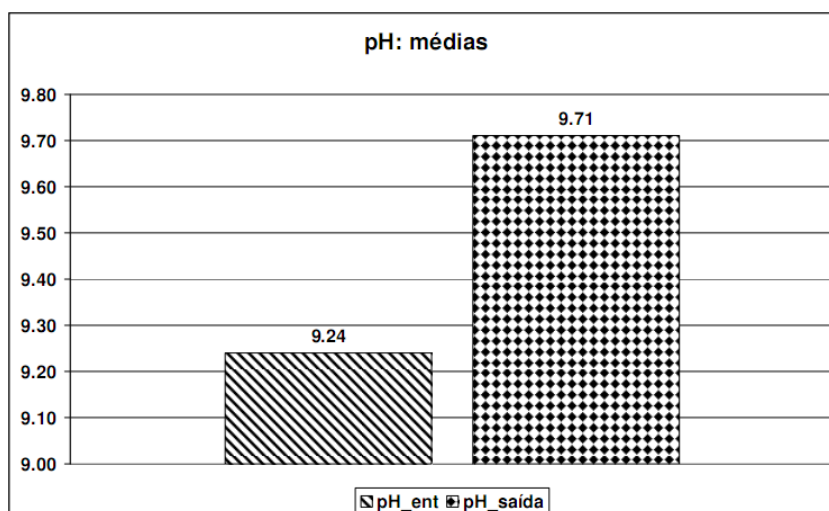


FIGURA 4: Médias do pH da água de entrada e saída no filtro lento.



- Temperatura

A variação de temperatura durante a filtração lenta é mostrada na figura 5. Observa-se que a temperatura de entrada foi maior que a de saída, na maior parte dos dias, o que pode ser explicado pelo fato da cisterna de armazenamento estar em constante exposição à radiação solar, enquanto que o filtro lento se encontra totalmente abrigado em recinto coberto. A figura 6 apresenta os valores das médias da temperatura das águas de entrada e saída do filtro lento.

A portaria do Ministério da Saúde (MS) nº 518/2004 não estabelece padrões para a temperatura.

FIGURA 5: Variação temporal da temperatura na filtração lenta.

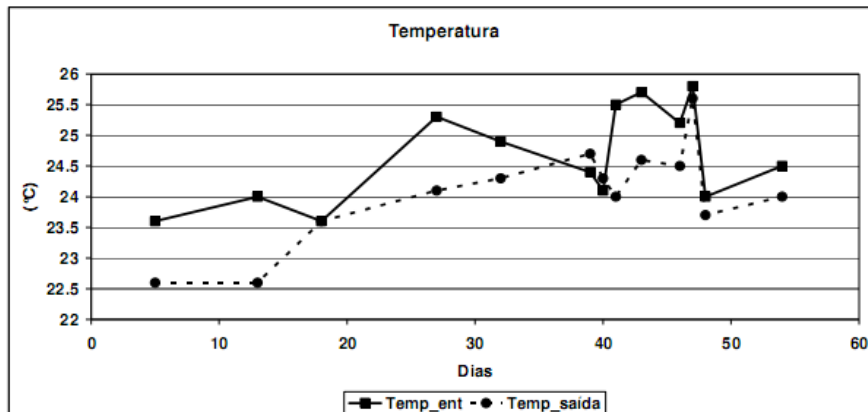
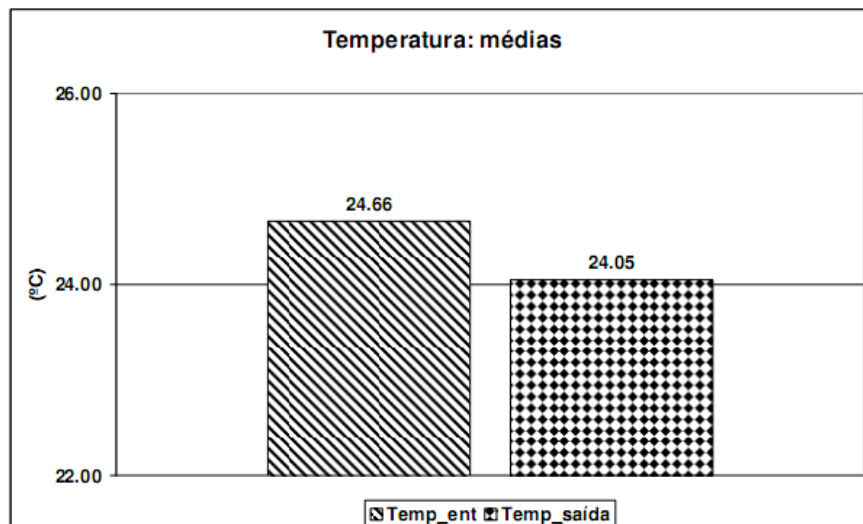


FIGURA 6: Médias da temperatura da água de entrada e saída no filtro lento.



- Oxigênio dissolvido

A portaria do Ministério da Saúde (MS) nº 518/2004 não estabelece padrões para o oxigênio dissolvido. Huisman & Wood (1974), indicaram um limite inferior de 3mg/L de oxigênio no afluente, para que condições anaeróbias sejam evitadas em todo o filtro. Com relação à concentração de O₂ dissolvido presente na água de entrada Broder & Byron (2004) recomendam um mínimo de 6mg/L.

A figura 7 apresenta os dados de oxigênio dissolvido do afluente e efluente do filtro lento. A concentração de oxigênio dissolvido do efluente é afetada devido ao arranjo do filtro que deve possuir a saída aberta à atmosfera, através de um vertedor que assegure a submersão do leito filtrante (LIBÂNIO, 2005). Além

disso, o vertedor proporciona uma aeração na água de saída, fazendo com que o oxigênio seja absorvido, liberando os gases dissolvidos que podem conferir gosto e odor desagradáveis à água (HUISMAN & WOOD, 1974).

FIGURA 7: Variação temporal do oxigênio dissolvido na filtração lenta.

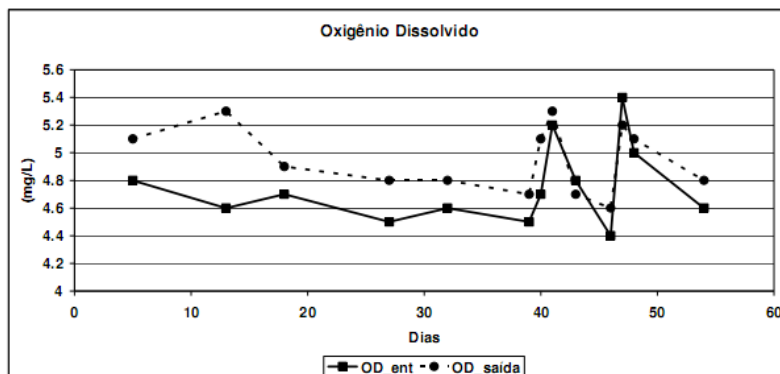
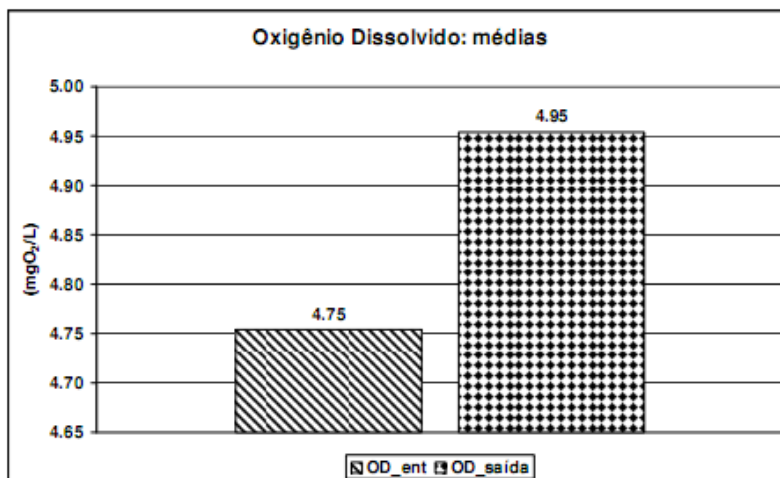


FIGURA 8: Médias do oxigênio dissolvido da água de entrada e saída do filtro lento.

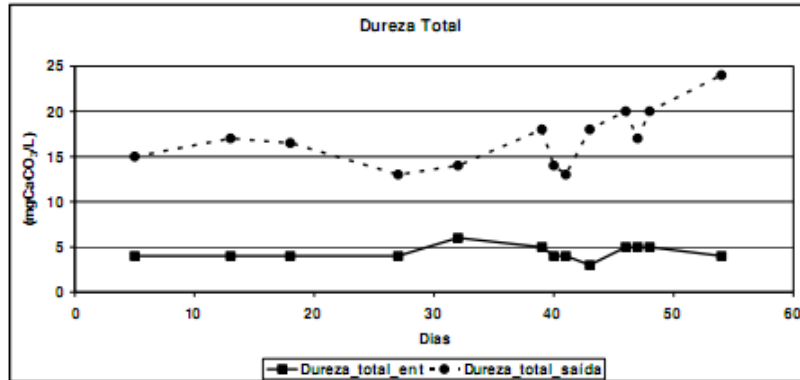


Na figura 8 são mostradas as médias das concentrações de oxigênio dissolvido na entrada e na saída do filtro lento. Verifica-se que a água de chuva na entrada do filtro esteve com uma média de 4,75mg/L de O₂. Para que esse valor atinja ao mínimo recomendado por Broder & Byron (2004), seria necessária uma aeração da água em uma etapa anterior à entrada no filtro. Contudo, essa intervenção iria modificar o intento desta pesquisa que é o de avaliar o funcionamento do filtro lento sendo alimentado com água de chuva captada em telhados.

- Dureza total

Os resultados do monitoramento da dureza total nas águas de entrada e saída do filtro lento encontram-se na figura 9. Nesta figura pode-se observar a grande variação que houve entre os valores de entrada e saída, sem, contudo, afetar a potabilidade da água, considerando o limite máximo de dureza total de 500mgCaCO₃/L da portaria 518/2004 do MS.

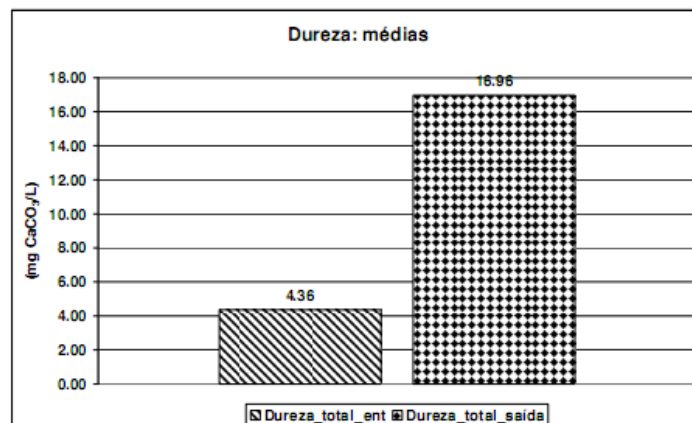
FIGURA 9: Monitoramento temporal da dureza total na filtração lenta.



O aumento da dureza total na água filtrada deve-se por dois fatores: (1) a passagem da água de chuva pelo leito filtrante (areia) e (2) a presença de dióxido de carbono produzido pela ação bacteriana (HUISMAN & WOOD, 1974).

Na figura 10, onde são apresentadas as médias da dureza total da água de entrada e saída, pode-se verificar a magnitude do aumento da dureza total no efluente do filtro lento, de cerca de três vezes a concentração inicial.

FIGURA 10: Médias da dureza total.



- Cloretos

O gráfico com a variação da concentração de cloretos durante a filtração lenta encontra-se na figura 11. Observando o gráfico, percebe-se que houve pouca variação da concentração inicial presente na água de chuva, com relação ao efluente do filtro lento, indicando que a influência da filtração lenta neste parâmetro é insignificante, o que também pode ser verificado na figura 12, onde é apresentada a média da concentração de entrada e saída dos Cloretos.

Todos os valores encontrados se enquadraram dentro do estabelecido pela portaria nº 518/2004 MS, que estabelece o valor de 250 mg/L como máximo permitido para este parâmetro.

FIGURA 11: Monitoramento da concentração de cloretos na filtração lenta.

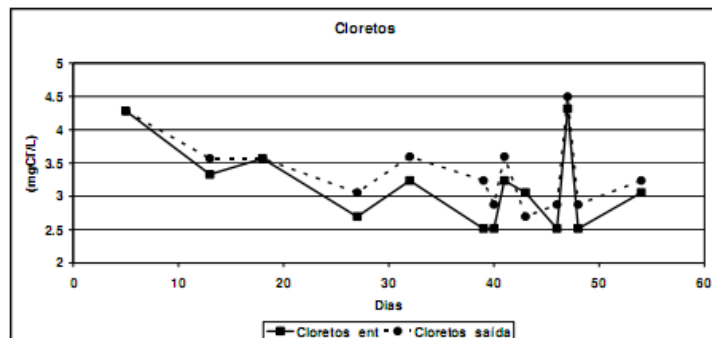
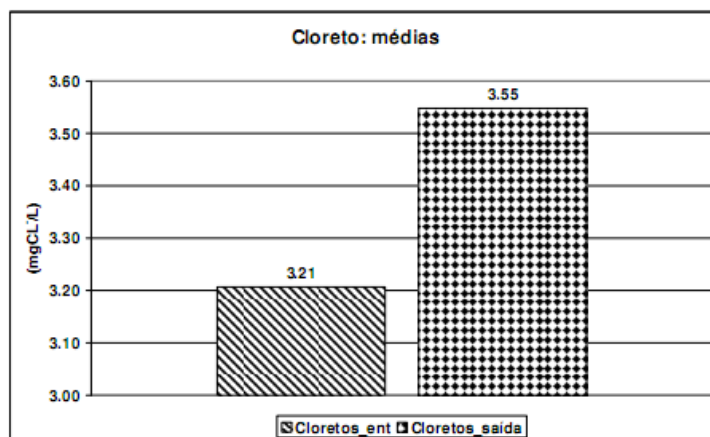


FIGURA 12: Médias dos cloretos.



- Sólidos dissolvidos totais

O resultado do monitoramento dos sólidos dissolvidos totais na filtração lenta encontra-se na figura 13. Verifica-se que, em geral, houve um aumento da concentração de sólidos dissolvidos totais na água filtrada, comparando-se com a água de entrada. Na figura 14, são apresentadas as médias de entrada e saída, da concentração de sólidos dissolvidos totais, observa-se que houve um aumento considerável, cerca de 40%, nos níveis de SDT no efluente do filtro. Apesar disso, não foi ultrapassado o limite estabelecido pela portaria nº 518/2004 MS, que estabelece o valor de 1000 mg/L como máximo permitido para este parâmetro.

FIGURA 13: Variação temporal dos sólidos dissolvidos totais na filtração lenta.

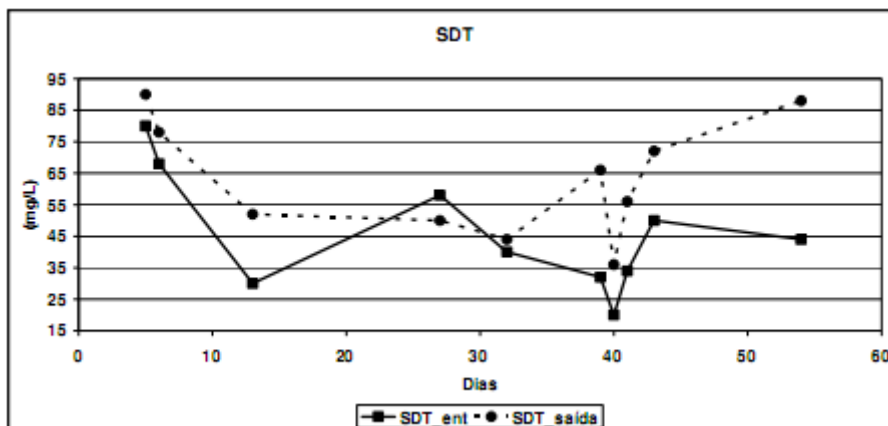
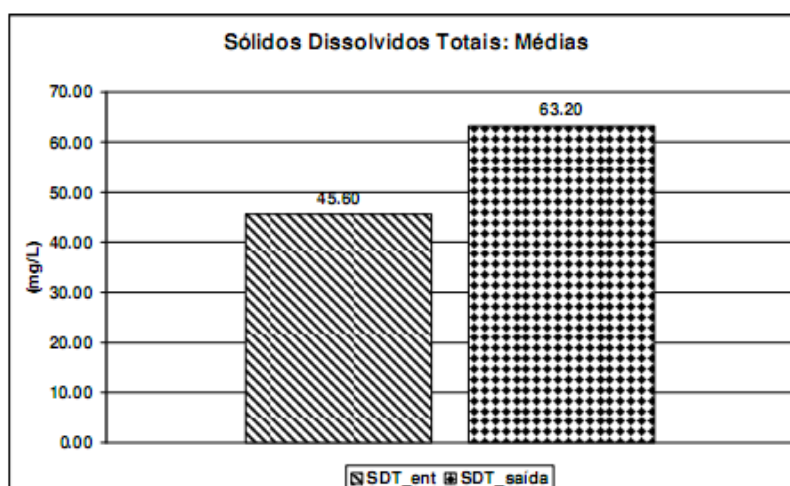


FIGURA 14: Médias dos sólidos dissolvidos totais.

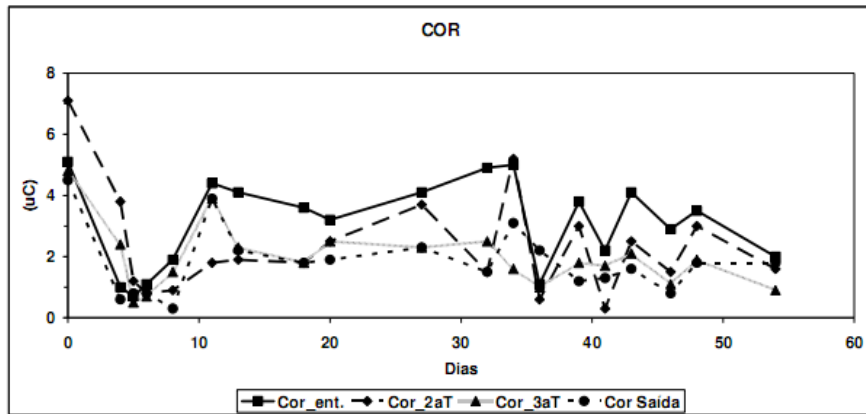


- Cor

A variação temporal da cor na filtração lenta é apresentada na figura 15, neste mesmo gráfico, estão também apresentados os valores de cor obtidos da amostragem nas torneiras intermediárias (2aT) e (3aT) localizadas ao longo do leito filtrante a 16 e a 45 cm, do topo do leito, respectivamente. Observa-se na figura 16, que apesar da areia empregada na confecção do filtro lento apresentar finos aderidos ao grão, esses finos, não foram capazes de aumentar a cor final da água filtrada, considerando a média final da cor do efluente do filtro. Apesar desse bom desempenho geral, percebe-se, que em 10,5% dos dias de amostragem houve um aumento na cor do efluente na saída do filtro.

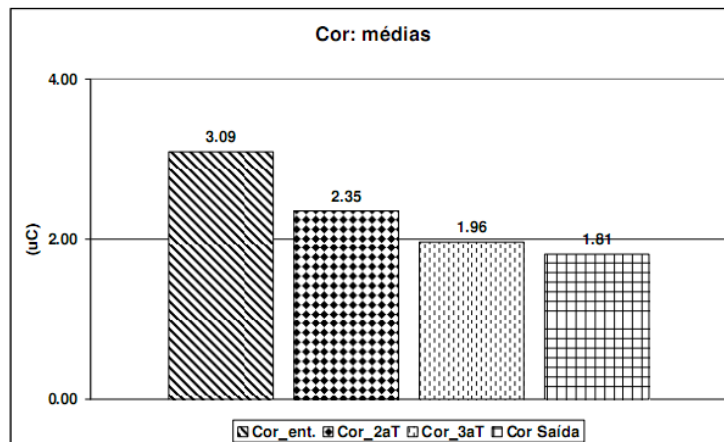
Nos pontos intermediários de coleta no filtro, percebe-se uma influência negativa da areia nos valores de cor da água. Apesar disso, a partir do dia 36 de operação observou-se uma redução da cor no efluente de saída do filtro. As principais elevações da cor nos pontos intermediários ao longo do leito filtrante se situam na segunda torneira, ou seja, logo nos primeiros dezesseis centímetros de areia, no sentido do fluxo da água.

FIGURA 15: Variação temporal da cor no filtro lento.



Na figura 16 são apresentadas as médias da cor nos quatro pontos de análise. Nessa figura, pode-se observar que apesar de em alguns dias de análise ter havido um aumento na cor da água ao longo do filtro, a média geral da concentração na saída foi de 1,81Uc, uma redução de aproximadamente 70% do valor da cor na entrada do filtro.

FIGURA 16: Médias da cor ao longo do filtro.

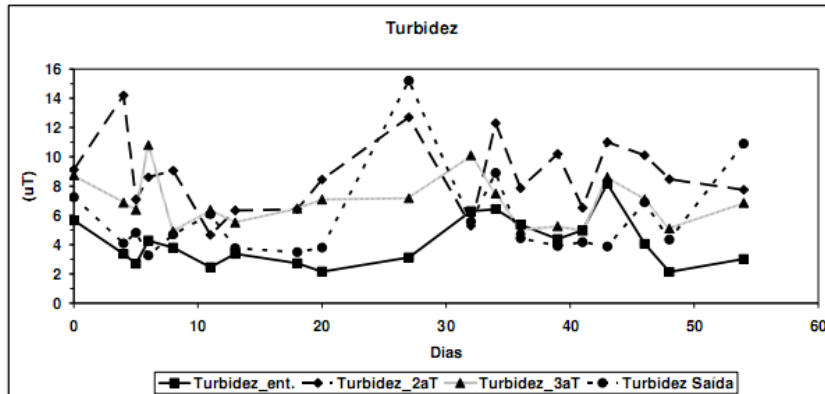


- Turbidez

Na figura 17 são apresentados os gráficos da variação temporal da turbidez na filtração lenta. Pode-se observar nessa figura a influência da areia no aumento da turbidez da água durante sua passagem pelo leito filtrante. O valor da turbidez da água de saída esteve em 68,4% dos dias amostrados, menor que o valor da turbidez da água de saída.

Através do monitoramento da turbidez em pontos intermediários no leito filtrante (2aT) e (3aT), pode-se constatar, que a areia foi a responsável pelo aumento da turbidez da água ao passar pelo leito filtrante, devido à presença de finos, de difícil remoção, aderidos ao grão.

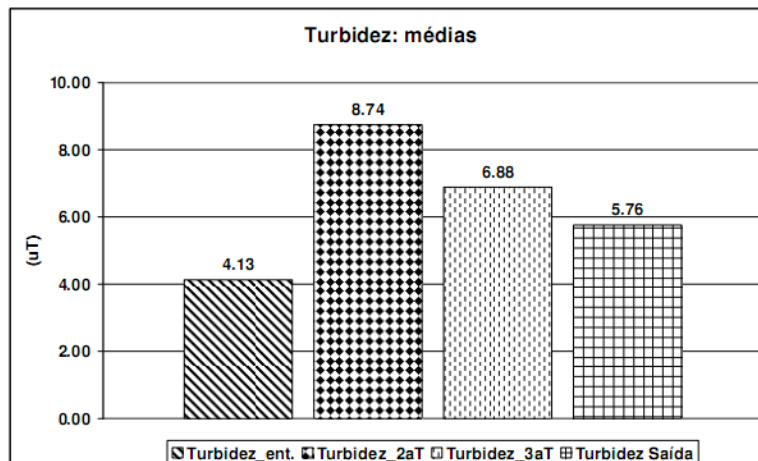
FIGURA 17: Gráficos da variação temporal da turbidez no filtro lento.



A média de cada ponto de análise da turbidez, ao longo do filtro, é apresentada na figura 18. Observa-se nessa figura um aumento de 39% na média da turbidez da água de saída do filtro, percebe-se ainda, que a maior contribuição para esse aumento, ocorreu nos primeiros dezesseis centímetros (2At) após o topo do leito, onde a média da turbidez foi maior que o dobro da concentração da água de chuva, a partir da terceira torneira (3At), situada a 45cm do topo do leito, nota-se que houve uma redução da turbidez média que foi de 5,76Ut na saída do filtro.

Observa-se pela figura 18, que houve um aumento na média da turbidez de saída do filtro lento, apesar, de ser observada uma melhora na remoção da turbidez, isto é, a turbidez do efluente em valores menores que a do afluente, a partir da 36º dia de operação.

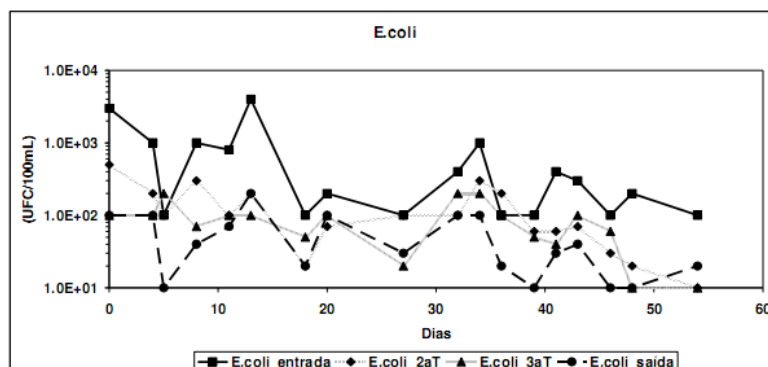
FIGURA 18: Médias da turbidez ao longo do filtro.



- *Escherichia Coli*

Na figura 19 são mostrados os gráficos da variação da concentração (UFC/100ML) de *E.coli* durante a fase de filtração lenta. Pode-se observar que, apesar de oscilações nos níveis de *E.coli* no efluente, o filtro conseguiu diminuir o número de colônias na água de saída, comparando-se com os valores apresentados pelo afluente.

FIGURA 19: Variação temporal do E.coli na filtração lenta.

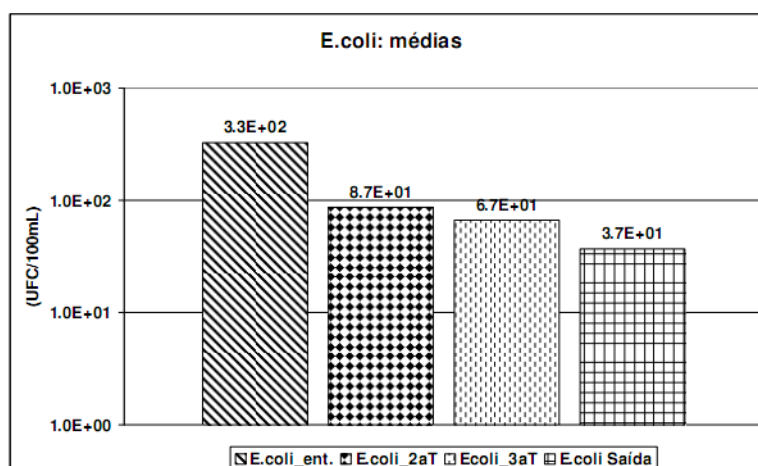


A média geométrica da concentração de E.coli para cada ponto de coleta é mostrada na figura 20. Nessa figura pode-se perceber melhor o desempenho geral do filtro na eliminação de E.coli. A eficiência média de remoção foi de 88,7% ou $0,95 \log_{10}$.

Analisando-se ponto a ponto, em cada estrato do filtro, nota-se que houve uma maior eliminação de organismos de E.coli na passagem da água pelos primeiros dezesseis centímetros de areia, entre a entrada e a segunda torneira de coleta do filtro (2aT), justamente na porção superior do leito filtrante, que inclui a schmutzdecke, camada de maior atividade de remoção bacteriana (LONGSDON, 2008). Proporcionalmente houve uma redução média de 74% dos níveis de E.coli entre as amostras da entrada e da (2aT) no filtro lento.

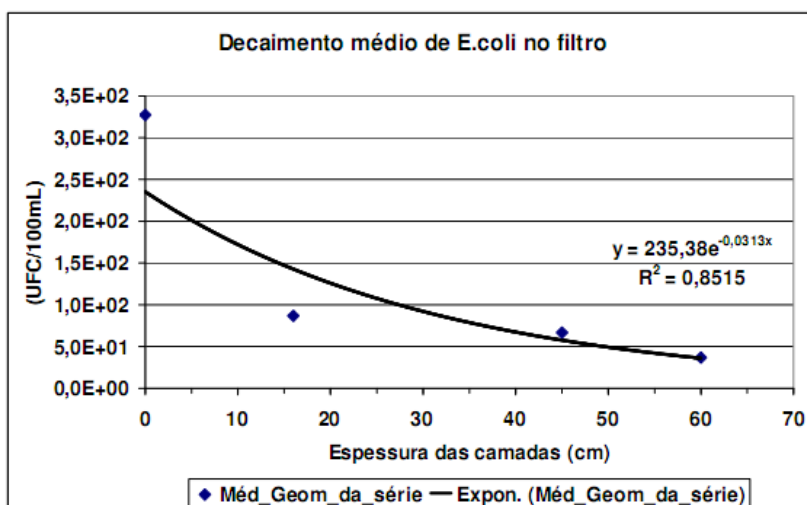
Com os dados de remoção média em cada ponto de amostra ao longo do leito filtrante, pode-se conhecer o decaimento bacteriano no interior do filtro em função da profundidade do leito filtrante.

FIGURA 20: Médias do E.coli.



Através dos dados da concentração (UFC/100mL) de E.coli ao longo do leito filtrante, foi possível o ajuste de uma curva exponencial que descreve o decaimento bacteriano médio ocorrido no filtro em função da profundidade (figura 21).

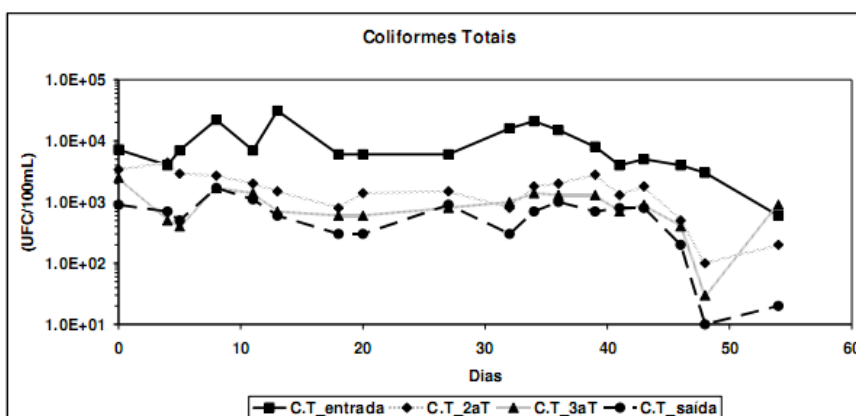
FIGURA 21: Curva de decaimento médio de E.coli ao longo do filtro.



- Coliformes totais

A figura 22 mostra a variação temporal da concentração de coliformes totais (UFC/100mL) para cada ponto de coleta na fase de filtração lenta. Pode-se observar que durante toda a etapa da avaliação do desempenho do filtro, o sistema conseguiu reduzir o número de colônias de coliforme totais na água de saída, comparando-se com os valores apresentados pelo afluyente, água de chuva.

FIGURA 22: Variação temporal dos coliformes totais na filtração lenta.



A média geométrica da concentração de coliformes totais para cada ponto de coleta é mostrada na figura 23. Nessa figura pode-se perceber melhor o desempenho geral do filtro remoção deste indicador microbiológico. A eficiência média de eliminação de C.T foi de 94% ou 1,22log10.

Assim como na observação do E.coli, a análise ponto a ponto, da figura 23, permite perceber que houve uma maior eliminação de organismos (CT) na passagem da água pelos primeiros dezesseis centímetros de areia, entre a entrada e a segunda torneira de coleta do filtro (2aT), justamente na porção superior do leito filtrante, que inclui a schmutzdecke, camada de maior atividade de remoção bacteriana (LONGSDON, 2008). Proporcionalmente houve uma redução média de 81% dos níveis de C.T entre as amostras da entrada e da (2aT) no filtro lento.

A curva de decaimento bacteriano também foi construída para os dados de CT. Através dos dados da concentração (UFC/100mL) do indicador C.T ao longo do leito filtrante, foi possível o ajuste de uma curva exponencial que descreve o decaimento bacteriano médio ocorrido no filtro em função da profundidade do leito de areia (figura 24).

FIGURA 23: Médias dos coliformes totais.

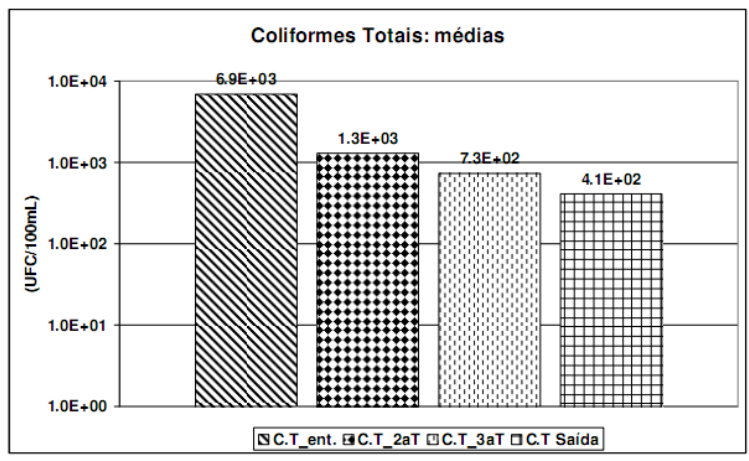
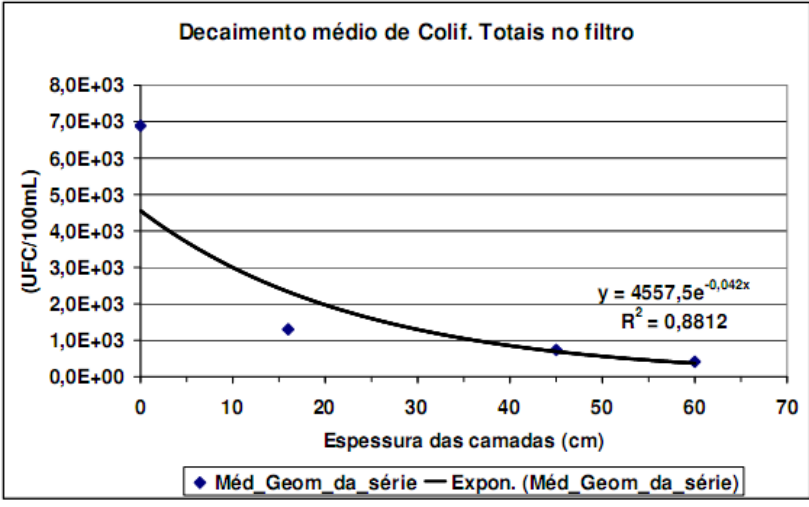


FIGURA 24: Decaimento médio dos Coliformes totais ao longo do filtro.



- Bactérias Heterotróficas

O resultado do monitoramento temporal, em cada ponto de amostragem ao longo do filtro, da concentração de bactérias heterotróficas (UFC/100mL) no filtro lento é apresentado na figura 25. Pode-se observar que apesar da variabilidade de concentrações no efluente, o filtro conseguiu reduzir o número de colônias na água de saída, comparando-se com os valores apresentados pelo afluente.

FIGURA 25: Variação temporal das bactérias heterotróficas na filtração lenta.

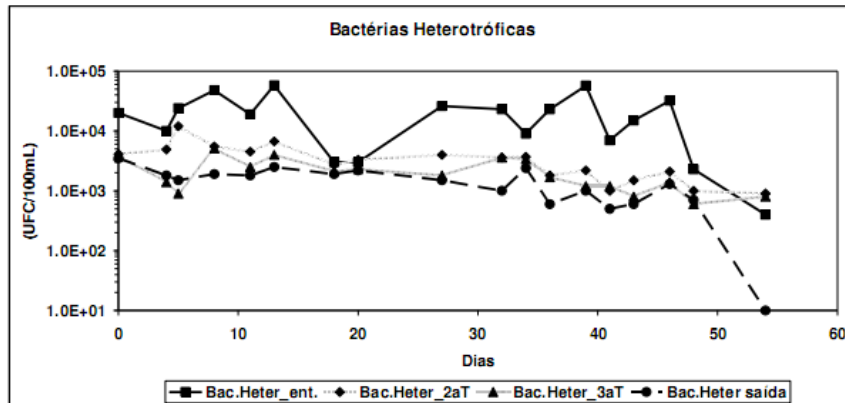
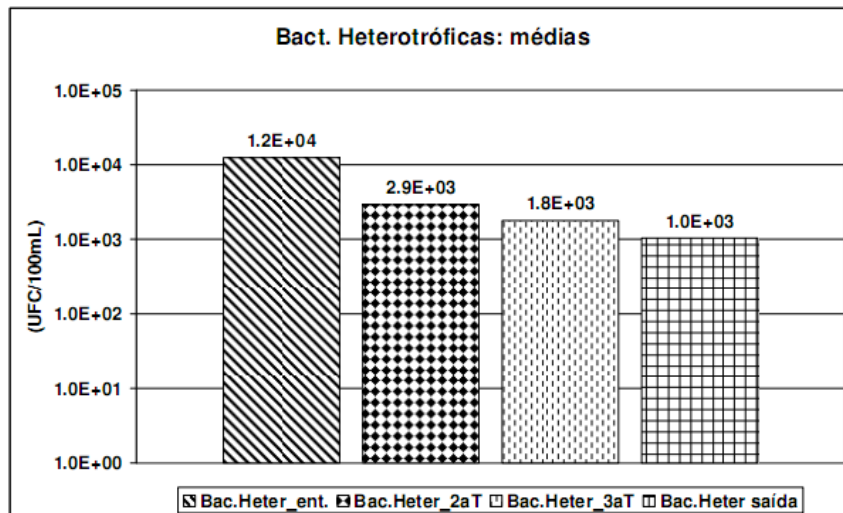


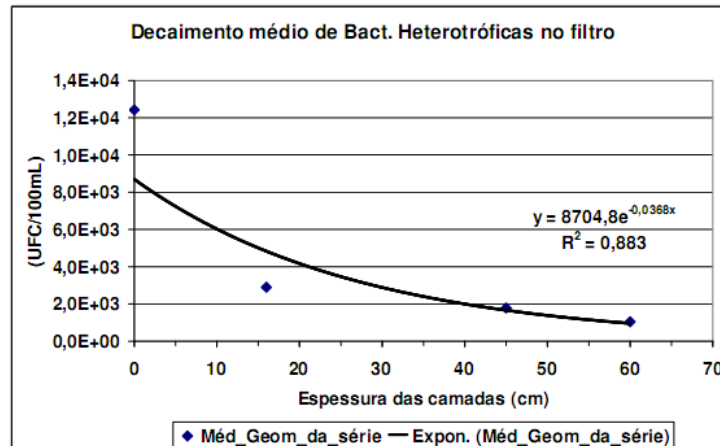
FIGURA 26: Médias das bactérias heterotróficas.



A média geométrica da concentração de bactérias heterotróficas para cada ponto de coleta é mostrada na figura 26. Nessa figura pode-se perceber melhor o desempenho geral do filtro remoção deste indicador microbiológico. A eficiência média de eliminação de B.H foi de 91,6% ou 1,08log10.

Analisando a média obtida em cada ponto de coleta, na figura 26 e figura 27, percebe-se que houve uma maior eliminação de bactérias heterotróficas na passagem da água pelos primeiros dezesseis centímetros de areia, entre a entrada e a segunda torneira de coleta do filtro (2aT), justamente na porção superior do leito filtrante, que inclui a schmutzdecke, camada de maior atividade de remoção bacteriana (LONGSDON, 2008). Proporcionalmente houve uma redução média de 77% dos níveis de B.H entre as amostras da entrada e da (2aT) no filtro lento.

FIGURA 27: Decaimento médio das bactérias heterotróficas ao longo do filtro.



A curva de decaimento bacteriano também foi construída para os dados obtidos de bactérias heterotróficas. Através dos dados da concentração (UFC/100mL) do indicador B.H ao longo do leito filtrante, foi possível o ajuste de uma curva exponencial que descreve o decaimento bacteriano médio ocorrido no filtro em função da profundidade.

CONCLUSÕES

De acordo com o presente estudo, o consumo direto de água de chuva foi classificado como impróprio, pois, além da contaminação microbiológica, parâmetros como pH e turbidez apresentaram valores acima do permitido pela Portaria MS 518/2004.

Com relação à filtração lenta pode-se concluir que:

- O filtro lento apresentou eficiência significativa na remoção de cor, a eficiência média foi de 70%.
- A remoção da turbidez foi influenciada negativamente pelo leito filtrante (rico em partículas finas), apesar da melhora em seu desempenho geral, observada a partir da 36ª semana.
- Com relação aos microrganismos presentes na água de chuva, o filtro lento apresenta-se como uma boa alternativa para a potabilização da água de chuva. A média de remoção de E.coli, Coliformes Totais e Bactérias Heterotróficas foi de, respectivamente, 88,7%, 94% e 91,6%.

Para o uso potável da água de chuva, será necessária uma maior eficiência do tratamento, visto que alguns parâmetros apresentaram desconformidades com o estabelecido pela Portaria MS 518/2004, como o PH, a turbidez e os parâmetros microbiológicos.

Considerando a influência negativa do leito filtrante na eficiência da remoção da turbidez, recomenda-se estudar o uso de outros tipos de areia para a composição do filtro lento para avaliar o desempenho geral da filtração.

Recomenda-se a investigação do desempenho do filtro construído, com um aumento na espessura da camada do leito filtrante, visando reduzir a concentração de microrganismos no efluente.

Pode-se ainda utilizar alguma técnica de desinfecção simples visando eliminar os organismos patogênicos da água a ser consumida.

REFERÊNCIAS

APHA, AWWA & WEF - *Standard methods for the examination of water and wastewater*, 20th Edition, Washington DC, 1999.

BASTOS, F. P. (2007). Tratamento de água de chuva através de filtração lenta e desinfecção UV. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, Centro Tecnológico.

BRASIL, 2004. *Portaria do Ministério da Saúde Nº 518*. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências.

BRODER, M. V.; BYRON, C. J. Slow sand and diatomaceous earth filtration. In: Baruth, E. E. (Ed.) *Water treatment plant design*. 4th Ed. ASCE and AWWA. McGraw-Hill. Nova Iorque. EUA. 2005.

CIPRIANO, R. F. P. (2004). Tratamento das águas de chuva escoadas sobre telhado e avaliação do seu uso. Dissertação de mestrado em Engenharia Ambiental. Universidade Regional de Blumenau, 89 p.

CLEASBY, J. L.; LOGSDON, G. S. L. Granular bed and precoat filtration. In: Letterman, R. D. (Ed.) *Water Quality and Treatment*. 5th Ed. AWWA. McGraw-Hill. Nova Iorque. EUA. 1999.

HUISMAN, L.; WOOD, W.E. Slow sand filtration. Geneva. World Health DD Organization. 1974.

Jornal de Ciência, Tecnologia e Empreendedorismo (2010). UNESCO reconhece água potável como direito humano. *CiênciaHoje*®. Jul/2010. Disponível em < www.cienciahoje.pt/index.php?oid=44283&op=all>. Acesso em 20.Abr.2011.

LONGSDON, G. S. *Water filtration practices: including slow sand filters and precoat filtration*. AWWA. 2008.

ONU, Organização das Nações Unidas (2011). Ban diz que escassez de água é causada por 'políticas fracas'. Disponível em <<http://www.unmultimedia.org/radio/portuguese/detail/193608.html>>, Acesso em 20.Abr.2011.

REBOUÇAS, A. C. (2004) *Uso Inteligente da Água*. São Paulo: Escrituras, 1ª ed..

RIGHETTO, A. M. (2009) *Manejo de Aguas Pluviais Urbanas (Projeto PROSAB)*. Rio de Janeiro: ABES, 1ª ed.

SAWYER, C. N.; MCCARTY, P. L.; PARKIN, G. F. Chemistry for Environmental Engineering and Science. 5th ed. New York: McGraw-Hill. 2003.

WHO (World Health Organization). Slow sand filtration. Disponível em < <http://www.who.int/> >, acesso em 27/11/2008.