

I-242 – AVALIAÇÃO DO APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM AEROPORTOS

Ronan Fernandes Moreira Neto⁽¹⁾

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Saneamento Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa.

Isabella de Castro Carvalho

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa.

Maria Lúcia Calijuri

Engenheira Civil pela Universidade de São Paulo. Mestre em Engenharia Civil pela Universidade de São Paulo. Doutora em Geotecnia pela Universidade de São Paulo.

Aníbal da Fonseca Santiago

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestre em Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo.

Evertton de Oliveira Rocha

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa.

Endereço⁽¹⁾: Departamento de Engenharia Civil, sala 320 – Av. P. H. Rolfs, s/n – Campus UFV – Viçosa – MG – CEP: 36570-000 – Brasil – Tel: (31) 3899-3098 – E-mail: r9neto@yahoo.com.br

RESUMO

A escassez de água é uma realidade presente no mundo todo. Regiões com índices pluviométricos mais elevados podem utilizar deste potencial para atender parte de suas demandas e aliviar a pressão sobre os recursos hídricos. Instalações aeroportuárias são grandes consumidores de água, principalmente para fins não potáveis. Dada a existência de grandes áreas de telhado, constituem-se em locais potenciais e facilitadores à instalação de sistemas de aproveitamento de água pluvial. Este estudo avaliou o potencial quali-quantitativo de aproveitamento de água pluvial, e a viabilidade técnico-econômica de uma unidade piloto de tratamento, constituída por processos de filtração lenta seguida de cloração em aeroporto de médio porte. O sistema proposto forneceu água de qualidade física, química e microbiológica compatível com requisitos de reúso e valor do metro cúbico tratado 60% menor em relação ao atual pago a companhia de abastecimento.

PALAVRAS-CHAVE: Aproveitamento de água pluvial, reúso, aeroportos, uso racional de água, filtração lenta.

INTRODUÇÃO

A escassez de água é uma das principais preocupações atuais discutidas em todo o mundo. A maioria dos países têm visto um aumento na demanda de água e os problemas relacionados à sua disponibilidade estão se tornando cada vez mais complexos. Em decorrência disso, práticas relacionadas ao aproveitamento de água pluvial tornam-se um instrumento importante para redução da captação de águas superficiais e subterrâneas, possibilitando o aumento da disponibilidade de água para usos mais exigentes como o abastecimento público (BASINGER, 2010).

Os ambientes aeroportuários caracterizam-se como grandes consumidores de água, utilizando quantidades significativas deste recurso em sua infraestrutura e operação, o que pode exercer forte pressão sobre sua disponibilidade (ACI, 2010).

O Aeroporto Internacional Tancredo Neves, AINT, localizado na região metropolitana de Belo Horizonte, apresentou, em 2010, movimento de 7.261.000 passageiros e o consumo de água atingiu 217.460 m³. A capacidade do aeroporto (cinco milhões de passageiros/ano) foi superada em 2008. Dentre os aeroportos nacionais, ocupa o sétimo lugar em movimento de passageiros e o quinto em consumo de água, o qual aumentou 18% de 2009 para 2010 (INFRAERO, 2009). Obras de ampliação e modernização do aeroporto serão iniciadas em janeiro de 2012 para, dentre outros fins, atender a demanda gerada pela Copa do Mundo de futebol em 2014 e as Olimpíadas de 2016. Esta ampliação pretende aumentar em 2,4 vezes o fluxo anual de passageiros resultando, mais uma vez, no aumento do consumo de água (COSCH, 2009). Uma vez que a maior

parte do consumo nestes locais atende à demanda para usos não potáveis como os sistemas de resfriamento de água, irrigação, lavagem de pistas e aeronaves, teste de bombeiros, descargas em sanitários e reserva para combate a incêndios, os aeroportos constituem-se em ambientes potenciais à implementação de medidas, processos e tecnologias que visem à conservação da água.

Os sistemas de aproveitamento de água pluvial, bem como sua viabilidade, têm sido pesquisados em muitos países nas últimas décadas. Os estudos indicam que a qualidade da água pluvial depende das características atmosféricas da região onde o sistema está instalado tais como o regime de chuvas e a presença de árvores e pássaros, além da superfície de captação, como é o caso de telhados metálicos que podem contribuir para a presença de metais pesados na água (TOMAZ, 2009). De maneira geral a água pluvial requer tratamento para que sejam utilizadas, uma vez que podem ser contaminadas por microrganismos e substâncias químicas. O nível de tratamento a ser empregado depende principalmente do uso pretendido (potável ou não potável), e da qualidade da água bruta captada (HELMREICH e HORN, 2009). Tecnologias como a filtração lenta e a cloração são métodos de baixo custo para melhoria da qualidade bacteriológica da água (FEWSTER et al., 2004; PALMATEER et al., 1999). Bauer (2011) apresenta faixas de remoção de *E. coli* entre 2,25 e 3,92 unidades logarítmicas para filtros lentos. Além da elevada eficiência de remoção de patógenos, os filtros lentos são de grande facilidade operacional, mostrando-se como uma alternativa adequada ao tratamento de água em países emergentes. Heller (2006) encontrou, na operação de filtros lentos com água sintética enriquecida com oocistos de *Cryptosporidium*, remoções da ordem de 99,99%. Keraita (2008) operou filtros lentos para o tratamento de águas residuárias e encontrou remoção de 2,0 unidades logarítmicas para coliformes termotolerantes, redução de 2,3 a 3,7 unidades logarítmicas para *E. coli* e 2,6 unidades para *Enterococos* dependendo da qualidade da água bruta e da taxa de aplicação utilizada. Karon (2010) apresenta a introdução de contaminação microbiológica advinda da areia de procedência duvidosa presente na composição de filtros lentos responsáveis pelo tratamento de água na Califórnia, Estados Unidos. Tal introdução foi comprovadamente responsável por um surto de Giardíase evidenciando que, apesar de ser uma tecnologia consagrada no tratamento de água, a filtração lenta exige cuidados em sua implantação. Além da elevada eficiência na remoção de patógenos, os filtros lentos são de grande facilidade operacional, mostrando-se como uma alternativa adequada ao tratamento de água.

Esta pesquisa caracterizou a água pluvial em um complexo aeroportuário, estudou o desempenho da filtração lenta seguida de cloração no tratamento da água pluvial e analisou a viabilidade econômica da utilização do tratamento proposto podendo ser replicada em outros complexos aeroportuários.

MATERIAIS E MÉTODOS

Para avaliar o potencial de aproveitamento de água pluvial no AITN realizou-se a caracterização e tratamento da água de chuva através da instalação de unidades piloto de dois tipos: unidades piloto de caracterização (UPC) e unidade piloto de tratamento (UPT).

O experimento foi realizado no Aeroporto Internacional Tancredo Neves (AITN), localizado entre os paralelos 19°39' – 19°36' de latitude sul e 43°59' – 43°55' de longitude oeste, no município de Confins, a 40 km de Belo Horizonte, conforme apresentado na Figura 1.

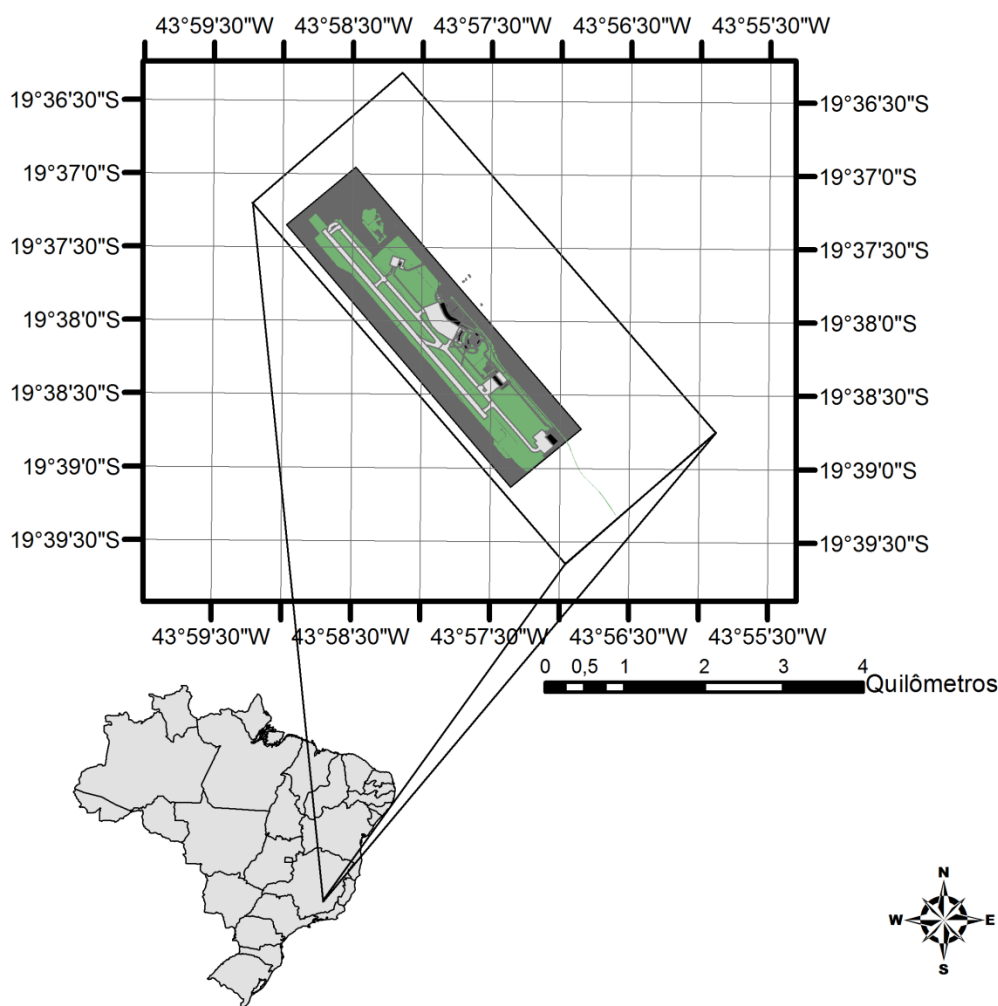


Figura 1. Localização da área de estudo.

O complexo aeroportuário possui área de telhados de aproximadamente 85.000 m². Possui também características favoráveis ao aproveitamento de água pluvial tais como o controle de pássaros, a ausência de árvores de grande porte e elevado índice pluviométrico. A água pluvial pode então ser coletada nos telhados para substituir a atual fonte de abastecimento (poços artesianos) em parte das demandas não potáveis, preservando os recursos hídricos da região.

O AITN situa-se em uma região cárstica em área de proteção ambiental denominada APA Carste Lagoa Santa. Pela legislação brasileira, as APAs são definidas como “uma área em geral extensa, com certo grau de ocupação humana, dotada de atributos abióticos, bióticos, estéticos ou culturais especialmente importantes para a qualidade de vida e o bem-estar das populações humanas, e tem como objetivos básicos proteger a diversidade biológica, disciplinar o processo de ocupação e assegurar a sustentabilidade do uso dos recursos naturais”. Desta forma, os interesses em relação à proteção dos recursos hídricos neste tipo de ambiente são ainda maiores.

PRIMEIRA ETAPA: AVALIAÇÃO DA QUALIDADE DA ÁGUA PLUVIAL - UPC

A UPC constituiu-se de um reservatório de descarte (500 L), responsável pelo descarte das primeiras águas (águas sujas) interligado a um reservatório de armazenamento (500 L), para amostragem. A caracterização ocorreu durante um ano hidrológico, a fim de contemplar as variações sazonais presentes. No total, realizaram-se nove amostragens, cinco no período chuvoso (dezembro de 2007, janeiro, fevereiro, novembro e dezembro de 2008) e quatro no período de estiagem (abril, maio e duas em setembro de 2008).

Os parâmetros avaliados foram: pH, condutividade elétrica, demanda química de oxigênio (DQO), dureza total, alcalinidade, sólidos dissolvidos totais (SDT), sólidos em suspensão totais (SST), óleos e graxas, BTEX (tolueno, etil-benzeno e xilenos), metais pesados (As, Cd, Cr, Cu, Hg, Mn, Ni, Sn e Zn) e os compostos Al, Fe, e Mg. Os parâmetros pH e condutividade foram analisados in loco, utilizando o pHmetro MARCONI, modelo PA-200P) e o condutivímetro MARCONI, modelo CA-150P, respectivamente. Os demais parâmetros foram analisados de acordo com a metodologia descrita no “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater” (APHA, 2007).

RESULTADOS DA PRIMEIRA ETAPA

Na análise da média das nove operações a água pluvial bruta apresentou baixa turbidez, alcalinidade e dureza, 2,25 UNT, 9,0 mgCaCO₃L⁻¹ e 11,0 mgCaCO₃L⁻¹, respectivamente. Apresentou ainda baixos teores de sólidos dissolvidos totais (45,2 mgL⁻¹), sólidos suspensos (32,6 mgL⁻¹), matéria orgânica (DQO 10 mgO₂L⁻¹) e materiais fecais (Escherichia coli ausente em sete das nove coletas e média de 89 NMP/100 mgL⁻¹ nas outras duas onde foi encontrada) certamente em virtude da política de controle de aves e da baixa contribuição de partículas sólidas do ambiente.

Em todas as amostragens realizadas a concentração de óleos e graxas, BTEX e metais pesados (exceção de zinco) estiveram abaixo do limite de detecção do método. Os limites para BTEX são: benzeno < 1 µgL⁻¹; tolueno < 1 µgL⁻¹; etilbenzeno < 1 µgL⁻¹; xileno (m, p-xileno) < 2 µgL⁻¹; e xileno (o-xileno) < 1 µgL⁻¹. Para metais pesados têm-se os seguintes limites: As e Cd < 0,01 mgL⁻¹; Pb, Cr, Mn, Cu, Ni e Ag < 0,05 mgL⁻¹; Sn e Ba < 0,5 mgL⁻¹; e Hg < 0,001 mgL⁻¹. Para zinco encontrou-se o valor médio de 1,16 mgL⁻¹.

A presença de zinco é justificada, possivelmente, pela composição da liga metálica das telhas e calhas que compõem o telhado. As análises de BTEX foram realizadas devido à presença destes compostos na constituição do petróleo e seus derivados, como gasolina, querosene de aviação e borracha, podendo haver residuais nos telhados proveniente do fluxo das aeronaves.

Os resultados, apresentados na Tabela 1, foram comparados com padrões de reúso.

Tabela 1. Concentração de referência para variáveis físicas, químicas e microbiológicas visando aproveitamento pluvial.

Parâmetros	Unidade	Torres de Resfriamento	Lavagem de pisos e áreas de irrigação verdes	Descarga Sanitária	UPC
pH	-	6 – 9 ⁽¹⁾	6 – 9 ⁽¹⁾	6 – 9 ⁽¹⁾	7,2
Turbidez	UNT	3 ⁽¹⁾	2 ⁽¹⁾	5 ⁽¹⁾	2,3
Dureza	mgCaCO ₃ L ⁻¹	50 – 180 ⁽¹⁾	500 ⁽⁴⁾	500 ⁽⁴⁾	11
SST	mgL ⁻¹	30 ⁽¹⁾	-	-	33
SDT	mgL ⁻¹	500 ⁽²⁾	1000 ⁽⁴⁾	1000 ⁽⁴⁾	45
DQO	mgL ⁻¹	75 ⁽¹⁾	-	-	10
DBO ₅	mgL ⁻¹	30 ⁽¹⁾	10 ⁽¹⁾	30 ⁽³⁾	-
Coliformes Termotolerantes	NMP100mL ⁻¹	200 ⁽¹⁾	Ausentes ⁽¹⁾	1000 ⁽³⁾	-
Condutividade Elétrica	µScm ⁻¹	800 – 1200 ⁽¹⁾	-	-	41

⁽¹⁾US EPA (2004). ⁽²⁾Metcalf & Eddy (2003). ⁽³⁾FINEP/PROSAB (2006). ⁽⁴⁾MS nº 518 (2004).

Constatou-se boa qualidade da água pluvial coletada do telhado. A qualidade da água bruta (AB) está de acordo com as recomendações de reúso para todas as atividades listadas na Tabela 2 em termos das variáveis pH, sólidos dissolvidos, condutividade elétrica e dureza. A concentração de sólidos suspensos em duas

amostragens foi superior à concentração limite recomendada para uso em torres de resfriamento. A DQO foi inferior a 30 mgL^{-1} em todas as campanhas de amostragem. Verificou-se que os valores de DQO foram inferiores inclusive ao limite de DBO_5 exigido para torres de resfriamento e descarga sanitária em todas as campanhas. No entanto, os resultados de duas campanhas não se adequaram ao limite para lavagem de pisos e irrigação de áreas verdes. Em termos microbiológicos verificou-se a presença de *E. coli* em duas amostras. Relacionando este resultado com os valores recomendados em termos de coliformes termotolerantes observa-se que a concentração de *E. coli* atendeu ao limite requerido para uso de água em torres de resfriamento e descarga sanitária.

SEGUNDA ETAPA: SISTEMA DE TRATAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL - UPT

Após a caracterização instalou-se a UPT em um telhado de 150 m^2 . A UPT é composta por dois reservatórios de armazenamento (R1 e R2), dois filtros lentos em paralelo (F1 e F2), uma unidade de desinfecção (clorador de pastilhas - CL), um reservatório de bombeamento (R3) e dois reservatórios de distribuição (R4 e R5).

Os filtros lentos, F1 e F2, foram confeccionados em fibra de vidro, com altura de 1,4 m e diâmetros de 0,45 e 0,62 m, respectivamente. Os demais reservatórios são caixas d'água comuns fabricadas em fibra de vidro.

A UPT foi operada em nove datas diferentes, e em cada operação foi aplicada uma taxa de filtração distinta nos filtros. Nessas operações, avaliaram-se em intervalos de uma hora os parâmetros pH, turbidez, vazão de entrada nos filtros, lâmina de água sobre o leito de areia, cloro residual total (CRT), cloro residual livre (CRL), vazão de saída do clorador e temperatura. Esses parâmetros foram avaliados em cinco pontos de amostragem: água bruta (AB), saídas dos filtros F1 e F2 e água tratada na saída do clorador (AT) e em R3. A Figura 2 apresenta o fluxograma de funcionamento da UPT.

Além disso, ao final de cada operação, coletava-se uma amostra para avaliação de parâmetros físico-químicos (dureza, DBO, DQO e sólidos) e microbiológicos (*E. coli* e oocistos de *Cryptosporidium*). Estes parâmetros são indicadores da eficiência do sistema e possibilitaram encontrar pontos ótimos de operação.

Outro passo importante foi verificar se o tratamento proposto atendeu aos padrões exigidos para o reúso da água pluvial e, na falta de recomendações para essas atividades passíveis de reúso, aos critérios de potabilidade estabelecidos pelo governo brasileiro.

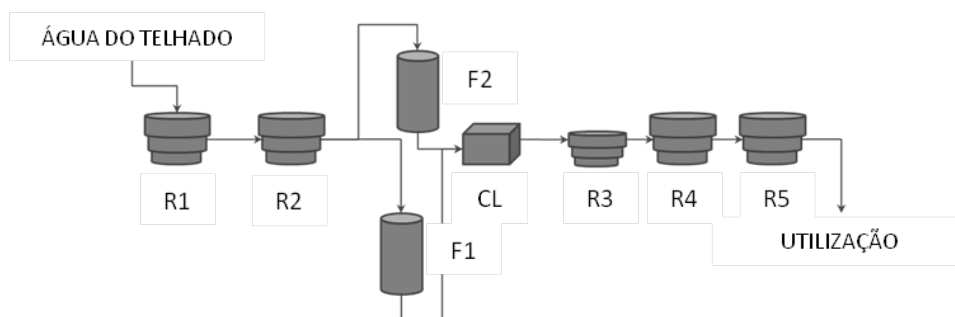


Figura 2. Fluxograma de funcionamento da UPT.

RESULTADOS DA SEGUNDA ETAPA

A utilização de filtros lentos é recomendada para o tratamento de águas superficiais com turbidez até 10 UNT. A água pluvial caracterizada na UPC apresentou valores bem abaixo deste limite (2,3 UNT em média) e a água bruta na entrada da UPT valores ainda menores (0,79 UNT em média).

Helmreich e Horn (2009) afirmam que a eficiência dos filtros lentos é voltada preferencialmente para a remoção microbiológica, como de fato evidenciou-se neste estudo, deixando a desejar na remoção de turbidez. No presente caso houve aumento de turbidez com a passagem da água bruta pelos filtros, porém, com melhoria da qualidade microbiológica. A água bruta recolhida do telhado apresentou, na maioria das observações, valores

menores que 1,0 UNT (média = 0,79; desvio padrão = 0,23; variância = 0,05), fato que influenciou diretamente o funcionamento dos filtros lentos, que acabaram por incrementar turbidez às amostras, como apresentado na Figura 5. Este incremento de turbidez pode ser atribuído às impurezas dos grãos de areia que compõem o leito filtrante.

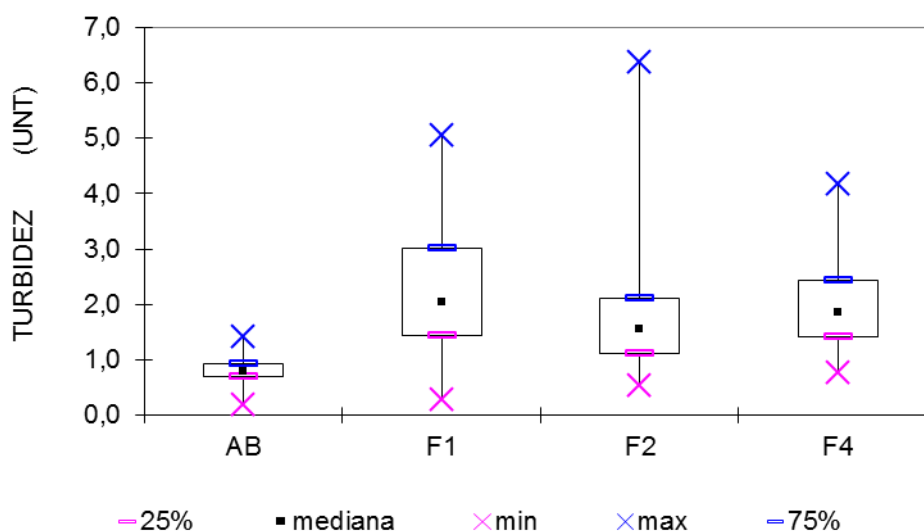


Figura 1. Variação da turbidez na UPT.

Estatisticamente, ao nível de 5% de significância para o teste Tukey (após proceder-se a ANOVA), houve diferença significativa apenas entre a turbidez da água bruta e a turbidez na saída do filtro 1, sendo maior o valor no filtro. Os demais pontos não apresentaram diferença estatística significativa entre si, inclusive na comparação entre água bruta e tratada.

As Figuras 6 (a) e (b) apresentam a variação da turbidez em função da taxa de aplicação para os filtros 1 e 2, respectivamente, nos quais não foi possível identificar uma taxa de filtração ótima que resultasse em valores menores de turbidez na água filtrada. As duas figuras apresentam ainda, para a turbidez, os valores de referência para reúso em irrigação, lavagem de pisos, torres de resfriamento e descarga em sanitários, conforme a Tabela 3.

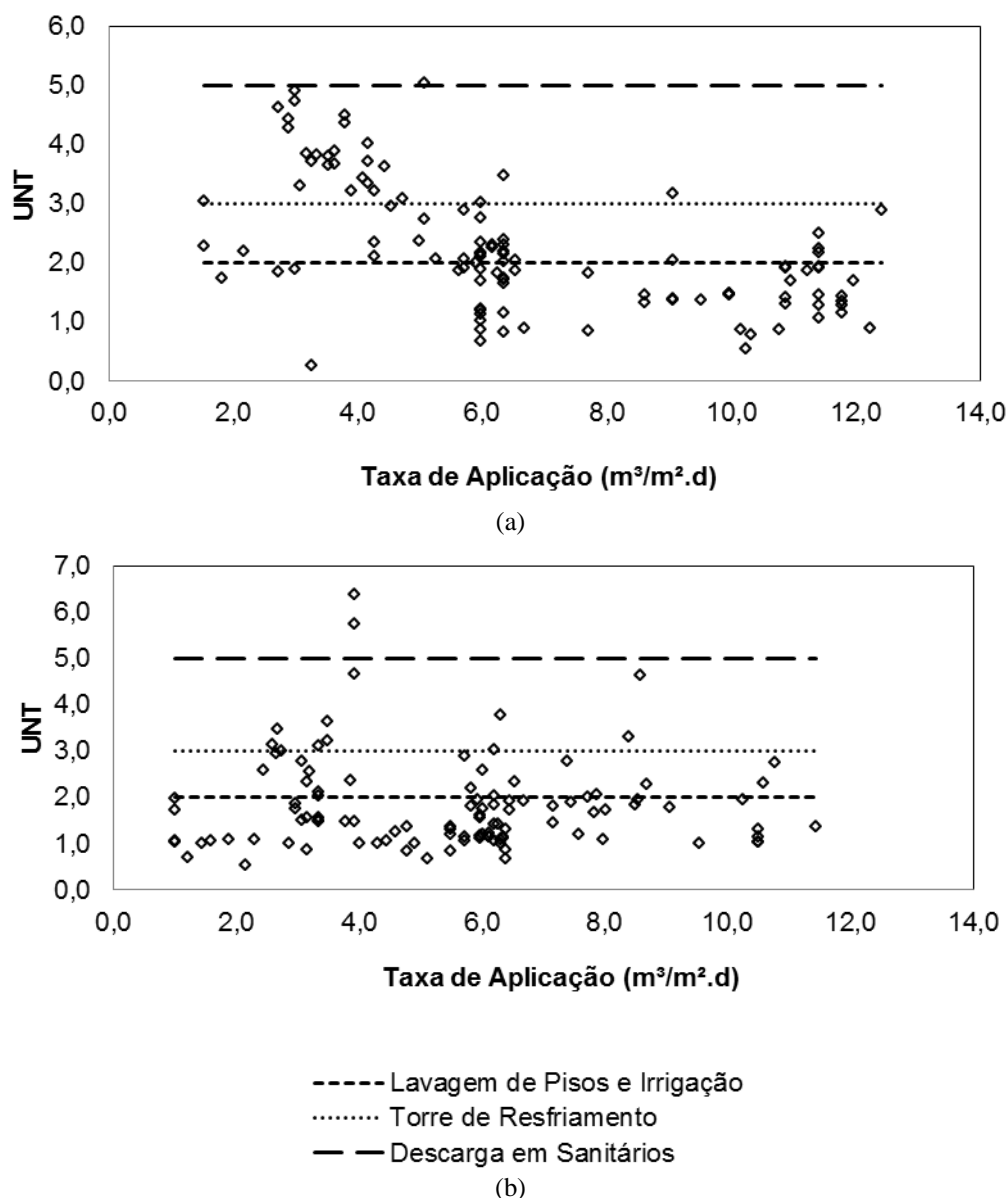


Figura 2. (a) Variação da turbidez em função da taxa de aplicação para F1. (b) Variação da turbidez em função da taxa de aplicação para F2.

Para aproveitamento, a água pluvial tratada apresentou-se de excelente qualidade conforme apresentado na Tabela 3, em termos de pH, turbidez, dureza, SST, DQO e coliformes. Em relação à turbidez, parâmetro que remete à qualidade microbiológica da água, 48% das amostras observadas estiveram dentro do limite de referência para reúso em irrigação e lavagem de pisos, 75% estiveram dentro do limite para reúso em torres de resfriamento e 99% dentro do limite para utilização em descarga de sanitários.

Em termos microbiológicos, a utilização dos filtros mostrou-se como uma boa alternativa, tendo alcançado eficiência de remoção máxima de quatro casas logarítmicas para coliformes totais e três casas logarítmicas para *E. coli*, conforme apresentado nas Figuras 7 (a) e (b). Não foram encontrados oocistos de *Cryptosporidium* em nenhuma das amostras analisadas.

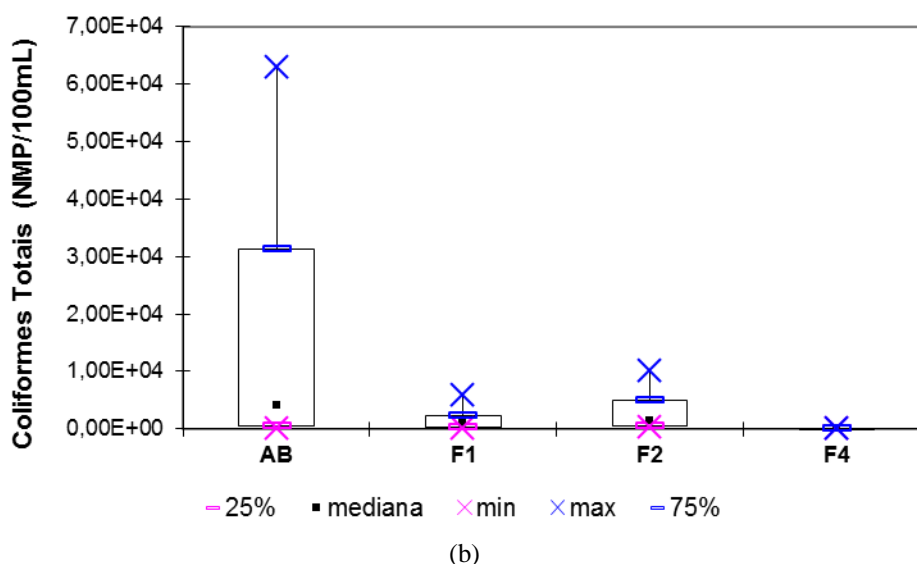
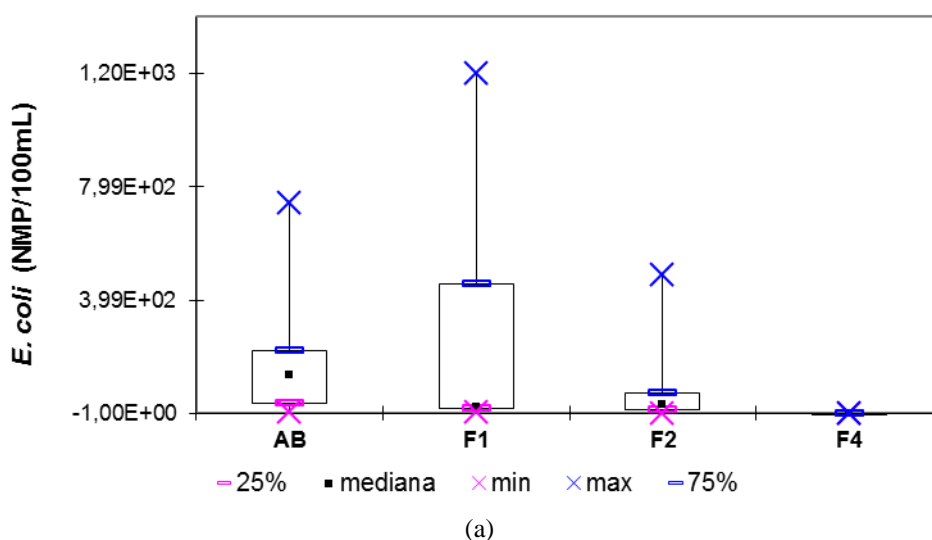


Figura 3. (a) Variação de *E. coli* na UPT. (b) Variação de Coliformes Totais na UPT.

O nível de cloro residual livre (CRL), apresentado na Figura 8, variou em função da vazão na saída do clorador e 81,25% dos valores registrados estiveram entre 0 e 2,0 mgCl.L⁻¹. Destes valores, 23% estiveram abaixo de 0,5 mgCl.L⁻¹, valor residual recomendado pela legislação de potabilidade brasileira (BRASIL, 2005). Os valores de cloro residual foram comparados com os limites da legislação de potabilidade pela ausência de valores de referência para reúso.

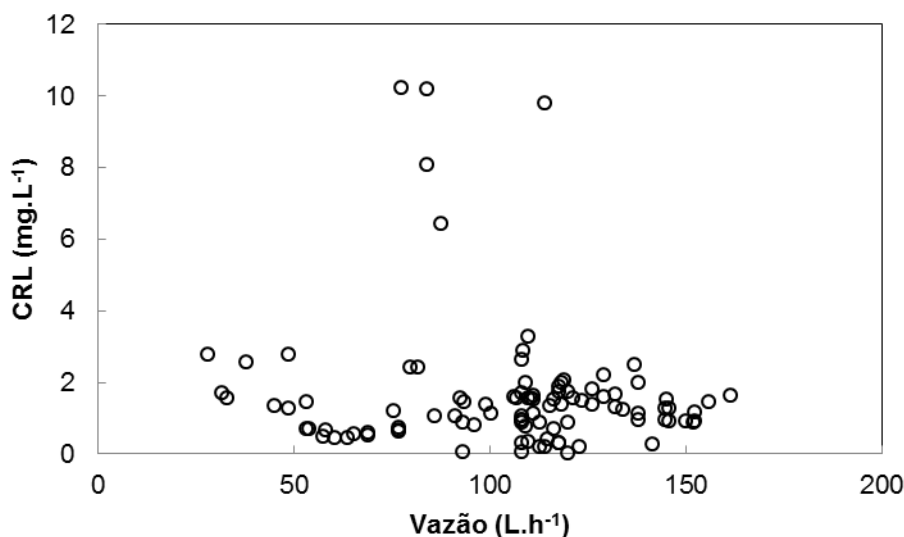


Figura 4. Distribuição do CRL em função da vazão durante as horas de monitoramento.

TERCEIRA ETAPA: POTENCIAL DE APROVEITAMENTO E CUSTOS ASSOCIADOS AO TRATAMENTO

O potencial de aproveitamento da água pluvial do AITN foi analisado considerando três aspectos: (i) o volume potencial de água pluvial coletável no aeroporto; (ii) o consumo de água no complexo aeroportuário, evidenciando o consumo para fins não potáveis; (iii) os custos envolvidos no tratamento da água pluvial.

A estimativa do volume de água pluvial coletável teve por base a área total de telhados existente no AITN e os índices pluviométricos da região, fornecidos pela estação meteorológica da INFRAERO, Empresa Brasileira de Infraestrutura Aeroportuária, sob responsabilidade do Comando da Aeronáutica do Brasil. As áreas de telhado foram estimadas a partir de imagens georreferenciadas utilizando os softwares ArcGis 9.3 © (2008). O volume coletável foi calculado, usando o coeficiente C igual a 0,8 (valor adotado em função da área de cobertura do telhado), de acordo com a expressão:

$$V_c = \frac{P \times A_c \times C}{1000} \quad (1)$$

Em que:

V_c = Volume diário coletável (m^3);

P = Precipitação;

A_c = Área de coleta;

C = Coeficiente de aproveitamento da água interceptada.

O consumo total de água no aeroporto foi estimado com base em dados de consumo fornecidos pela INFRAERO, referentes ao período de janeiro a dezembro de 2009. Para manter a distribuição de água pluvial durante todo o ano é necessário a construção de reservatórios de armazenamento. Procedeu-se então um estudo a respeito da porcentagem de atendimento à demanda pela água de chuva. Este estudo mostra, mês a mês, a capacidade da água pluvial atender a demanda existente, nos meses onde toda a demanda for suprida e houver excesso de água há possibilidade de armazenamento.

Os custos associados ao tratamento da água pluvial, no sistema adotado, dividem-se em dois segmentos: custos de implantação e custos de operação. Nos custos de implantação foram contemplados os custos com a construção do reservatório de armazenamento e do sistema de distribuição: materiais, instalação e mão de obra. Já os custos associados à operação compreendem, em primeira instância, a aquisição e manutenção das pastilhas de cloro e os gastos com o consumo de energia elétrica do sistema de bombeamento.

Para estimativa do custo atribuído à troca das pastilhas de cloro realizou-se um ensaio para medir o desgaste da pastilha com o passar do tempo em função da vazão de tratamento a qual ela é submetida. O clorador foi retirado da unidade piloto e levado para o laboratório da Universidade Federal de Viçosa, onde metade de uma pastilha foi submetida a uma vazão semelhante à vazão aplicada na UPT. Regulada a vazão, mediu-se o peso da pastilha 4 vezes ao dia durante 5 dias.

RESULTADOS DA TERCEIRA ETAPA

O estudo do potencial de atendimento à demanda pela água de chuva mostrou que nos meses de janeiro, fevereiro, março, novembro e dezembro, correspondentes ao período de chuvas na região onde está o AITN, a porcentagem de atendimento à demanda excedeu 100%, ou seja, nesses meses há possibilidade de reservar água para suprir parte da demanda dos meses seguintes. Em janeiro, por exemplo, o atendimento à demanda atingiu 186%.

Nos demais meses, período de estiagem, a porcentagem de atendimento não atinge 100% indicando que parte da demanda não será atendida apenas com a água precipitada no relativo mês. Ressalta-se que em julho o atendimento não atingiu nem 5% da demanda e em agosto menos de 10%.

A Figura 5 apresenta o volume mensal médio precipitado, a demanda mensal não potável e a porcentagem de atendimento mensal do AITN.

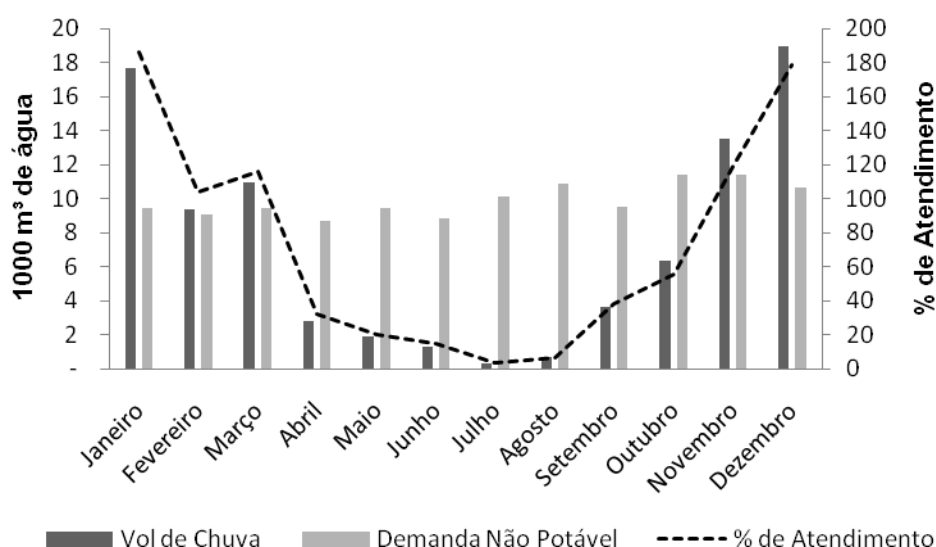


Figura 5. Volume precipitado, demanda não potável e porcentagem de atendimento mensal médio do AITN.

Neste trabalho não procederam-se os cálculos para dimensionamento dos reservatórios necessários, haja visto que esta deve ser uma solução que contempla pequenos reservatórios instalados prédio a prédio e a demanda mensal de cada edifício não é conhecida. Em termos econômicos a construção de pequenos reservatórios, que possam utilizar tecnologias mais simples, é mais vantajosa se comparada à construção de grandes reservatórios.

Para a análise econômica elaborou-se o seguinte cenário: a UPT possui capacidade instalada de fornecer 11.000 litros de água tratada/mês e ficará cheia durante todo o ano, ou seja, todo mês o sistema de bombeamento será responsável por recalcar 11 m³ de água (367 L/d). A bomba, trabalhando com vazão de 1100 L/h, funcionaria durante 20 minutos por dia (10 h/mês) para atingir os 11 m³ no fim do mês. A bomba possui potência de 380 W e, portanto, representará um consumo de 3,80 kWh a cada mês. A tarifa paga pelo aeroporto à concessionária é de U\$ 0,19/kWh, deste modo, cada bomba do sistema representa um adicional mensal de U\$ 0,73 na conta de energia.

Os resultados obtidos a partir do ensaio de desgaste da pastilha de cloro foram ajustados a uma equação polinomial de segundo grau através do software Microsoft Excel © e extrapolados até que o peso calculado da pastilha fosse igual a zero, como apresentado na Figura 4. A equação obtida apresentou coeficiente $R = 0,9908$ mostrando um bom ajuste. A metade da pastilha testada foi totalmente consumida na 21ª medição, ou seja, no quinto dia de ensaio. Nestas condições gasta-se uma pastilha a cada 10 dias, caso a unidade funcione de maneira ininterrupta, como é o caso do cenário proposto. Sabe-se que o preço de mercado está na faixa de US\$ 3,53 por pastilha. Deste modo seriam necessárias 3 pastilhas por mês, com um custo total de US\$10,58 por mês.

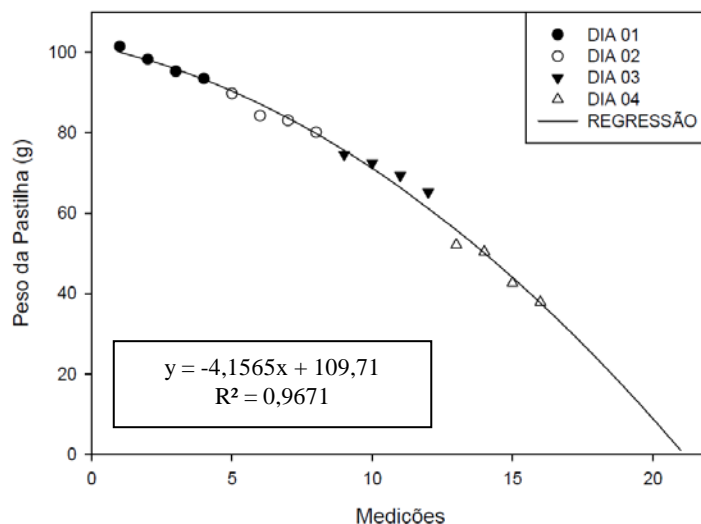


Figura 4. Desgaste da pastilha de cloro.

O custo operacional total da UPT é de aproximadamente R\$ 20,40 por mês, ou seja, R\$ 1,90 por m³ de água pluvial tratada, valor 60% menor que a atual tarifa paga à companhia de abastecimento. A economia mensal de água gerada pela unidade (R\$ 31,80) é maior que seu custo operacional tornando-a autossuficiente em termos econômicos.

De posse da demanda não potável anual do aeroporto estimou-se a economia de água obtida pela sua substituição por água pluvial tratada captada dos telhados. A demanda hídrica mensal média do AITN é de 15.200 m³, dos quais 9.880 m³ (65%) podem ser supridos com água pluvial. Estima-se que cerca de 87.000 m³ de água pluvial provenientes dos telhados podem ser aproveitadas anualmente, volume suficiente para atender 70% da demanda de água para fins não potáveis do aeroporto. Atualmente paga-se R\$ 4,70 por metro cúbico de água tratada, desta forma a utilização do potencial pluvial resultante do aproveitamento dos telhados do aeroporto geraria uma economia em torno de R\$ 240.000,00 por ano.

CONCLUSÕES

O AITN possui alto potencial de aproveitamento de água pluvial. A água captada do telhado apresentou qualidade satisfatória, requerendo tratamento simplificado (filtração lenta seguida por desinfecção com cloro) para utilização em fins não potáveis como o uso em torres de resfriamento, lavagens de pisos e equipamentos, teste de bombeiros e irrigação de áreas verdes. Em relação à remoção microbiológica, principalmente de *E. coli*, a utilização do sistema de filtração lenta foi eficiente e atrativa.

A avaliação completa do potencial de aproveitamento do aeroporto visando à instalação de unidades de aproveitamento de água pluvial deve ser feita individualmente considerando as edificações, através de uma análise das áreas de telhado disponíveis e da demanda existente em cada edifício. Esta é a melhor abordagem para o dimensionamento adequado dos reservatórios, bem como para a elaboração de soluções otimizadas de armazenamento.

A água utilizada no complexo aeroportuário é extraída de um poço tubular subterrâneo e possui um custo de US\$ 2,77/m³, já o tratamento da água pluvial através do tratamento proposto apresenta um custo de US\$ 1,17/m³. Desta forma, o investimento em um sistema de aproveitamento da água pluvial mostra-se viável economicamente, diminui o consumo de água potável, reduz custos associados ao abastecimento do aeroporto, além de contribuir para a preservação dos recursos hídricos da região.

Embora a prática da utilização do potencial pluvial seja comum, em nível mundial, em muitos países com altos índices pluviométricos e baixo custo da água iniciativas para o aproveitamento deste potencial ainda são incipientes e merecem maior atenção. A falta de interesse em instalar-se os sistemas de aproveitamento de água pluvial deriva, principalmente, de fatores econômicos onde o baixo custo da água potável prejudica a relação custo/benefício dos sistemas. Entretanto, o sistema aqui abordado mostrou-se economicamente viável, mesmo quando aplicado em um aeroporto onde o custo da água é relativamente baixo em comparação com outros aeroportos sob administração da INFRAERO.

AGRADECIMENTOS

Os autores gostariam de agradecer à FAPEMIG – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais, pelo apoio financeiro para a participação neste evento.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ACI, AIRPORT COUNCIL INTERNACIONAL. Disponível em: <http://www.aci.aero/cda/aci_common/display/main/aci_content07_banners.jsp?zn=aci&cp=1_725_2>. Acesso em: agosto de 2010.
2. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. São Paulo, 2007. 11 p.
3. BASINGER M., MONTALTO F., LALL U. A rainwater harvesting system reliability model based on nonparametric stochastic rainfall generator. *Journal of Hydrology*, vol 392, pp. 105-118. 2010.
4. BAUER R. Removal of bacterial fecal indicators, coliphages and enteric adenoviruses from waters with high fecal pollution by slow sand filtration. *Water Research*, vol 4, pp. 439-452. 2011.
5. BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. Coordenação-Geral de Vigilância em Saúde Ambiental. Portaria MS n.º 518/2004 / Ministério da Saúde, Secretaria de Vigilância em Saúde, Coordenação- Geral de Vigilância em Saúde Ambiental – Brasília: Editora do Ministério da Saúde, 2005.
6. FEWSTER, E., MOL, A. e WIESENT-BRANDSMA, C. The long term sustainability of household bio-sand filtration, in: *Proceedings of the 30th WEDC International Conference*, Vientiane, Laos PDR, 2004, pp. 1-3.
7. HELLER, L. MARTINS VIEIRA M. B. C., ALVES BRITO L.L. SALVADOR P.D. Desempenho da filtração lenta em areia submetida a cargas de pico de oocistos de *cryptosporidium* SP, bactérias e sólidos: uma avaliação em instalação piloto. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, vol 11, pp. 27 -38. 2006.
8. HELMREICH, B., HORN H. Opportunities in rainwater harvesting. *Desalination*, 245, pp. 118-124. 2009.
9. INFRAERO. Sinal verde para obras de reforma e adequação do Aeroporto de Confins. 26 mar. 2009. Disponível em: < <http://www.infraero.com.br> >. Acesso em: 12 de maio 2009.
10. KARON AE., HANNI KD., MOHLE-BOETANI J.C., BERETTI R.A., HILL V.R., ARROWOOD M., JOHNSTON S.P., XIAO L., VUGIA D.J. Giardiasis outbreak at a camp after installation of a slow-sand filtration water-treatment system. *Epidemiology and Infection*, vol 29, pp. 1-5. 2010.
11. KERAITA, B., DRECHSEL, P., KONRADSEN, F., VREUGDENHIL, R.C. Potential of simple filters to improve microbial quality of irrigation water used in urban vegetable farming in Ghana. *Journal of Environmental Science and Health Part A-Toxic/ Hazardous Substances Environmental Engineering*, vol 43, pp. 749–755.2008.
12. PALMATEER, G., MANZ, D., JURKOVIC, A., MCINNIS, R., UNGER, S., KWAN, K. K. e DUTKA, B. J. Toxicant and parasite challenge of Manz intermittent slow sand filter, *Environmental Toxicology*, vol 14, pp. 217-225. 1999.
13. PROSAB. Contribuição ao estudo da remoção de cianobactérias e microcontaminantes orgânicos por meio de técnicas de tratamento de água para consumo humano / Valter Lúcio de Pádua (coordenador). Rio de Janeiro: ABES - Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2006.

14. TOMAZ, P. Aproveitamento de água de chuva para áreas urbanas e fins não potáveis. São Paulo: Editora Navegar, 2009.
15. USEPA. U.S. Environmental Protection Agency. Guidelines for Water Reuse. 2004. Disponível em: www.epa.gov/nrmrl/pubs/625r04108/625r04108.pdf > acesso: 05/09/2010.