

## A INFLUÊNCIA DA POLUIÇÃO ATMOSFÉRICA NA QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS PARA CAPTAÇÃO DIRETA, DESCARTE INICIAL E RESERVAÇÃO

Alfredo Akira Ohnuma Jr<sup>1</sup>, Rodolpho Piccoli<sup>2</sup>, Wagner Accioly<sup>3</sup>,  
Marcia Marques<sup>4</sup> & Luciene Pimentel da Silva<sup>5</sup>

**Resumo** – O estudo de análise da qualidade das águas pluviais requer cuidados quanto à sua forma de captação e armazenamento, além das influências regionais quanto aos fatores geográficos, condições meteorológicas, carga poluidora presente na atmosfera e presença de vegetação nos arredores. Este artigo visa apresentar os principais resultados da análise da qualidade das águas pluviais em sistemas de captação e armazenamento segundo fatores ambientais diversos. Para as análises, são considerados diferentes estudos de nível internacional que avaliam simultaneamente 03 sistemas de armazenamento e coleta: *first flush* (FF), precipitação pura (PP) e reservação (RR). Estas fases são fundamentais para compatibilizar o uso da água segundo a classificação de atividades e fatores ambientais (Prosab, 2009). Os parâmetros de análise consistem em: pH, turbidez, condutividade, sólidos totais suspensos, sólidos totais dissolvidos, DBO, DQO, cloretos, nitratos, coliformes fecais e totais. Os resultados apresentam comportamento da qualidade da água de acordo com a influência da poluição atmosférica e da superfície de captação. Determinados parâmetros avaliam que, mesmo regiões não poluídas caracterizam qualidade das chuvas que variam em função das condições geográficas remetentes ao ciclo de enxofre e nitrogênio, bem como das emissões naturais de ácidos orgânicos (Fornaro, 2006). Estas análises recomendam maiores estudos acerca da qualidade das águas pluviais devido às diferentes condições regionais e diversidade de atividades industriais e de transporte em áreas urbanas.

**Palavras-Chave** – qualidade das águas pluviais, descarte inicial, reservação.

### THE INFLUENCE OF AIR POLLUTION IN THE QUALITY OF RAINWATER FOR PURE PRECIPITATION, FIRST FLUSH AND RESERVATION WATER

**Abstract** – *The study analyzes the quality of stormwater requires care in form of capture and storage, as well as to the regional influences of geographical factors, weather, pollution load in the atmosphere and the presence of vegetation around. This article presents the main results of the analysis of the quality of rainwater harvesting systems and in second storage various environmental factors. For the analyzes, are considered different international studies which assess both 03 storage systems and collection: first flush (FF), pure precipitation (PP) and reservation (RR). These phases are essential to harmonize the use of water according to the classification of activities and environmental factors (Prosab, 2009). The analysis parameters are: pH, turbidity, conductivity, total suspended solids, total dissolved solids, BOD, COD, chlorides, nitrates, fecal coliforms. The results show behavior of water quality according to the influence of atmospheric pollution and the catchment surface. Certain parameters that assess, even unpolluted regions characterize quality of the rains which vary according to geographical conditions senders cycle of sulfur and nitrogen, as well as natural emissions of organic acids (Fornaro, 2006). These analyzes recommend further studies on the quality of rainwater due to different regional conditions and diversity of industrial activities and transport in urban areas.*

**Keywords** – rainwater quality, first flush, reservation.

<sup>1</sup> Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Faculdade de Engenharia, Depto de Eng. Sanitária e Meio Ambiente. akira@uerj.br

<sup>2</sup> rodolphopiccoli@yahoo.com.br

<sup>3</sup> wagneraccioly@gmail.com

<sup>4</sup> marciam@uerj.br

<sup>5</sup> luciene.pimenteldasilva@gmail.com

## INTRODUÇÃO

Grande parte do volume de água consumido pelas atividades humanas requer alto padrão de qualidade exigidos pelas diferentes classificações e normas. A qualidade do consumo depende das atividades em que a água se enquadra segundo determinadas categorias. Uma residência unifamiliar pode destinar 70% de todo seu consumo diário, para fins que necessitam de água enquadrada nos padrões de potabilidade vigentes no Brasil (Rocha e Barreto, 1999).

A utilização de sistemas de aproveitamento de águas pluviais traz consigo facilidades na economia de água para usos não-potáveis. O Projeto em Rede de Manejo de Águas Pluviais em Meio Urbano (Finep, 2010) propõe desenvolver soluções de manejo de águas pluviais para redução do impacto no hidrograma de cheias, sobretudo na análise de qualidade de águas e controle de vetores. Embora muitos dos sistemas desconsideram a potabilidade do recurso, a qualidade da água na gestão desses sistemas alternativos de abastecimento devem ser considerados, uma vez que a negligência no uso dessas fontes podem colocar em risco a saúde do usuário e atividades afins.

Sendo a água um recurso renovável a partir de seu ciclo hidrológico, as lâminas de precipitação, evaporação, interceptação e escoamento superficial que ocorrem durante a fase terrestre podem auxiliar na decomposição de poluentes da atmosfera. Entretanto, gases e materiais particulados dissolvem-se nas gotas de precipitação e são depositados em depressões, reservatórios e reservas de fontes de abastecimento ou de água doce explorável (Conceição *et al.*, 2011). A elevada concentração de poluentes atmosféricos decorrente da intensificação das atividades humanas contribui para a poluição das águas urbanas, sobretudo os mananciais próximos às influências antrópicas.

O estudo da análise de águas pluviais, além das considerações que relacionam poluentes atmosféricos, inclui também o percurso da água em superfícies de captação, com elevada concentração de poluentes, devido à deposição seca em períodos de estiagem. Este artigo avalia o comportamento da qualidade das águas pluviais em diferentes estudos segundo determinadas fontes de captação, considerando: precipitação pura (PP), *first flush* (FF) e reservação (RR).

## POLUENTES E DEPOSIÇÃO ATMOSFÉRICA

Os efeitos da poluição atmosférica sobre a saúde humana e também sobre a qualidade das águas pluviais são diversos e variam conforme ao tempo de exposição aos riscos e à intensidade da concentração de poluentes. Diferentes fontes são responsáveis pelo aumento da carga de poluentes na atmosfera, tendo às emissões veiculares contribuído de forma mais significativa na análise da qualidade do ar e consequentemente na análise da qualidade das águas pluviais. Estudos (Cetesb, 2006) apontam quase 80% dos poluentes atmosféricos são provenientes de veículos que circulam em regiões metropolitanas.

Para uma avaliação consistente da qualidade de águas pluviais é de fundamental importância conhecer a composição química dos eventos de precipitação. A complexidade e dinamismo dos processos atmosféricos associado aos processos hidrológicos resultam numa variedade de transportes, diluições e reações, entre emissões e imissões de gases. Desta forma, determinados conceitos, como chuva ácida ocorrem em função de deposição úmida ou seca (Figura 1), sendo definida mais atualmente como deposição ácida (Fornaro, 2006).

A caracterização genérica da deposição úmida necessita da análise de parâmetros como: pH, condutividade,  $\text{SO}_4^{2-}$  e  $\text{NO}_3^-$ . Diferentes pesquisas consideram outros parâmetros para caracterização química das águas pluviais. Na RMSP, a dispersão de poluentes é sazonal, em função da instabilidade meteorológica caracterizada por frentes frias provenientes do sul que influenciam eventos de precipitação (Leal *et al.*, 2004).

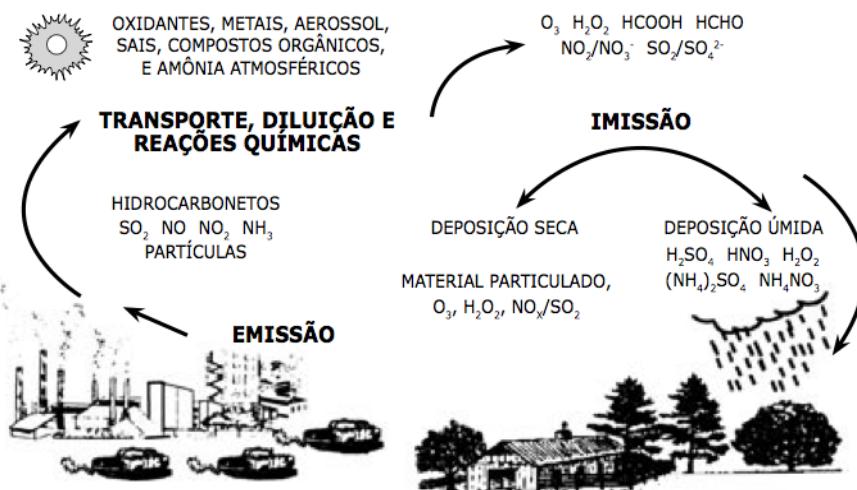


Figura 1 – Processos atmosféricos e compostos químicos com formação de poluentes (Fornaro, 2006).

O processo de deposição atmosférica, seja seca ou úmida, constitui um fator de redistribuição e ciclagem dos elementos químicos junto à superfície terrestre, a partir da remoção de gases e partículas da atmosfera com chuva, neblina ou neve (úmida) ou na ausência de chuva (seca). A formação dessas partículas é, em geral, decorrente das atividades humanas voltadas à produção de energia e alimento (Rodrigues *et al.*, 2007).

## QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS DE PRECIPITAÇÃO PURA (PP)

As qualidades das precipitações atmosféricas avaliam às condições reais sem interferências de áreas de captação, embora haja vista às influências de deposições secas e úmidas presentes na atmosfera. Estas análises são fundamentais para compatibilizar a avaliação da qualidade das condições atmosféricas. Inúmeras pesquisas têm sido realizadas a partir de resultados da composição química da água da chuva em regiões distintas. Elevadas precipitações são considerados fatores climáticos de elevada contribuição para a transferência de poluentes da atmosfera para a superfície (Rodrigues *et al.*, 2007).

A localização regional também é fator natural de influência das características das águas pluviais. Regiões litorâneas apresentam maior concentração de sódio, potássio, magnésio e cloro na composição química da chuva, enquanto áreas rurais, com ruas não-pavimentadas, apresentam maior concentração de partículas de origem terrestre como: sílica, alumínio, ferro, nitrogênio, fósforo e enxofre (Philippi *et al.*, 2006).

Embora com exceções, a qualidade das águas pluviais nem sempre é afetada pelas atividades humanas. Mesmo em áreas pouco alteradas por ações antrópicas, parâmetros como pH encontram-se próximos de 5,0 devido a presença de  $CO_2$  e  $SO_4$ , que misturados com a chuva, dissolvem-se formando ácidos, que originam a formação de chuva ácida, caracterizada por  $pH < 5,6$  (Jacques, 2005).

## QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS DE PRIMEIRO DESCARTE OU FIRST FLUSH (FF)

Assim como na análise da qualidade da precipitação pura (PP), as condições climáticas da região, como a ocorrência de períodos secos ou úmidos, podem afetar às emissões de poluentes, cuja origem ocorre principalmente no primeiro volume de descarga ou *first flush* (FF) das águas pluviais urbanas (Lee *et al.*, 2004). Inúmeros pesquisadores têm investigado a influência do

fenômeno da primeira descarga ou *first flush* a fim de entender as características da descarga inicial do escoamento pluvial (Krajewski *et al.*, 1998; Deletic, 1998; Larsen *et al.*, 1998).

O mecanismo de separação do fluxo a partir dos volumes iniciais de descarte é dimensionado segundo características de captação e influência da intensidade pluviométrica da região. A Figura 2 apresenta modelo instalado em área de cobertura poliesportiva, a partir do Projeto Maplu com sistema *first flush* e elementos compostos para um sistema de captação de águas pluviais (FINEP, 2013).



Figura 2 – Reservatório de captação de águas pluviais com sistema separador de fluxo - first flush (Finep, 2013).

Este fenômeno ocorre pelo armazenamento inicial dos primeiros volumes de chuva precipitada em áreas de cobertura, a partir de separadores de fluxo automáticos ou semi-automáticos. O sistema *first flush* de captação de águas pluviais depende da área de cobertura, do coeficiente de runoff, da intensidade pluviométrica regional e das condições operacionais de separação do escoamento. O volume recomendado para descarte, segundo normas ambientais e diferentes estudos, variam entre 0,5 e 3,0mm (Hagemann, 2009 e Klumb *et al.*, 2009), o que representa um volume aproximado de 0,5 L até 2,0 L/m<sup>2</sup> de área de cobertura. A Figura 3 apresenta uma proposta de dimensionamento dos volumes de *first flush* em função do decaimento das concentrações de poluentes. Considera-se um fluxo significativo de *first flush*, quando pelo menos 80% da massa total de poluente é transportado no primeiros 30% do volume de descarte durante os eventos de precipitação (Krajewski *et al.*, 1998).

Durante eventos chuvosos, os primeiros milímetros são considerados os mais poluídos. A qualidade da água da chuva melhora ao longo do tempo, sendo que a remoção de poluentes depende do contato com a atmosfera e da superfície de captação (Anneccchini, 2005). Valores de parâmetros físico-químicos decaem de concentração no decorrer do tempo, com diferenças em relação à qualidade da água da atmosfera em relação a água coletada pelos telhados.

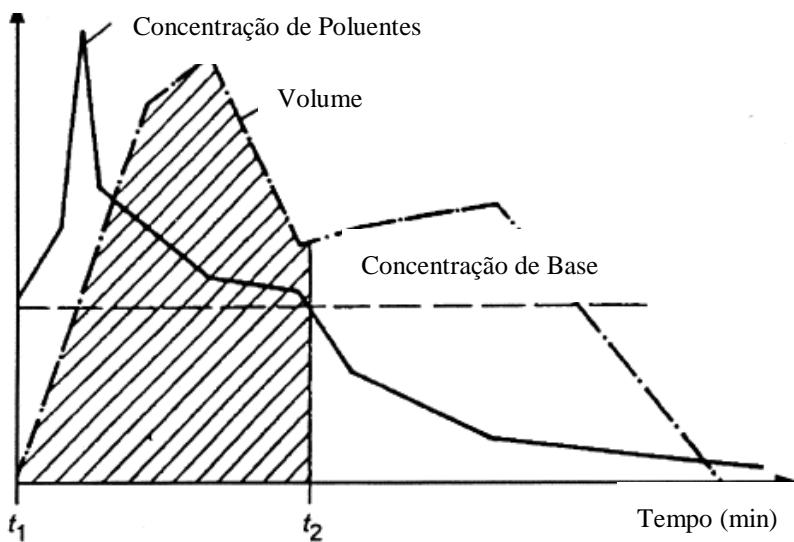


Figura 3 – Determinação do volume de *first flush* x concentração de poluentes (Krajewski, 1998).

## QUALIDADE DAS ÁGUAS PLUVIAIS DE RESERVAÇÃO (RR)

Após percorrer áreas de captação e volumes de *first flush* ou de descarte, as águas pluviais são reservadas em cisternas ou tanques de armazenamento para coleta e análise. Os volumes são dimensionados conforme área de captação, intensidade pluviométrica regional ou histórico de precipitações e coeficiente de *runoff* da cobertura.

O volume de reservação analisado deve considerar o tempo de exposição da amostra reservada, uma vez que variações de temperatura influenciada pelo ritmo circadiano altera significativamente o conteúdo amostral.

As Tabelas 1, 2 e 3 apresentam os resultados consolidados quanto aos principais parâmetros de análise de qualidade das águas pluviais segundo critérios de armazenamento e captação, sobretudo nos volumes iniciais de precipitação. Os valores apresentados nas diferentes publicações não consideram métodos de análise e formas de monitoramento, o que pode causar diferenças substanciais entre os resultados. Diferentes superfícies de captação, bem como o tempo de exposição das amostras nos reservatórios também devem ser considerados como critérios de avaliação dos estudos de análise de águas pluviais. Outro fator de fundamental importância são os diferentes períodos de coleta e análise durante a sazonalidade das estações do ano. A Tabela 4 apresenta os limites para viabilidade de uso das águas pluviais estabelecidos pela Portaria n. 518/2004 e Resolução Conama 357/2005.

A partir dos resultados apresentados, constata-se que, à medida que o tempo de precipitação armazenada aumenta, reduz-se a variabilidade da carga de sólidos, condutividade, cloreto e turbidez, o que indica redução da carga de poluição no decorrer do aumento do tempo e dos volumes de armazenamento (FF e RR).

Os valores de pH encontram-se entre 5,0 e 8,3 o que denota variações consideráveis devido às características regionais quanto à localização em áreas urbanas e à emissão de poluentes por deposição seca ou úmida. A presença de coliformes fecais analisada é considerada elevada pelos padrões permitidos, principalmente para os volumes iniciais armazenados.

Tabela 1 – Parâmetros analisados para análise da precipitação pura (PP):

Ano da Publicação - Autor / Parâmetro	pH	Turbidez (NTU)	Condutividade (mS/cm)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	STS (mg/L)	STD (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Colif. Fecais (NMP/100ml)
(2009) Hagemann	5,9	7,6	24,6	5,8	15,8	-	-	0,58	3,6	-
(2005) Jacques	5,5	4,3	16,6	3,4	49,7	-	-	-	9,1	$6,7 \times 10^1$

Tabela 2 – Parâmetros analisados para análise da qualidade da água first flush (FF):

Ano da Publicação - Autor / Parâmetro	pH	Turbidez (UNT)	Condutividade (mS/cm)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	STS (mg/L)	STD (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Colif. Fecais (NMP/100ml)
(2012) Peixe	5,0	82,0	0,1	-	-	-	95,6	-	-	$4780 \times 10^1$
(2009) Hagemann	7,3	35,0	115,0	4,1	46,1	56,3	79,9	0,80	7,4	$5,6 \times 10^1$
(2009) Klumb <i>et al.</i>	7,3	28,7	182,0	-	-	810,0	90,8	-	38,3	-
(2007) Sazakli <i>et al.</i>	8,3	-	103,0	-	-	-	-	7,04	-	$12,5 \times 10^1$
(2006) Peters	7,5	4,6	-	9,8	-	2,9	88,4	0,44	5,3	$1,5 \times 10^1$
(2005) Jacques	7,3	-	41,7	2,5	35,9	-	-	-	11,9	$45000 \times 10^1$
(2005) Annechini	6,5	37,0	56,3	4,1	46,1	185,0	49,5	0,45	8,0	-
(1989) Yaziz <i>et al.</i>	6,7	28,0	0,1	-	-	17,0	7,0	-	-	0,0

Tabela 3 – Parâmetros analisados para análise da qualidade da água de reservação (RR):

Ano da Publicação - Autor / Parâmetro	pH	Turbidez (UNT)	Condutividade (mS/cm)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	STS (mg/L)	STD (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Colif. Fecais (NMP/100ml)
(2012) Gikas e Tsihrintzis	6,7	-	64,7	-	-	2,6	-	-	-	-
(2009) Klumb <i>et al.</i>	6,8	0,8	67,3	-	-	180,0	33,8	-	7,81	-
(2009) Ribeiro <i>et al.</i>	7,4	1,9	-	10,0	-	7,0	4,0	0,25	-	$4,7 \times 10^1$
(2005) Jacques	5,1	-	32,3	1,0	12,4	-	-	-	13,9	$1,3 \times 10^1$

Tabela 4 – Parâmetros com referências de normas para análise da qualidade da água:

Norma / Ano	pH	Turbidez (UNT)	Condutividade (mS/cm)	DBO (mg/L)	DQO (mg/L)	STS (mg/L)	STD (mg/L)	Nitrato (mg/L)	Cloreto (mg/L)	Colif. Fecais (NMP/100ml)
Conama 357/2005 - Cl. 2	6-9	< 100	-	< 5	-	-	-	< 10	< 250	$< 100 \times 10^1$
Portaria 518/2004	6-9,5	< 5	-	-	-	-	-	< 10	< 250	Ausência

## CONCLUSÕES

Embora com poucas análises apresentadas, os resultados observados neste trabalho para precipitação pura (PP) sugerem melhor qualidade que as águas coletadas para *first flush* (FF) e águas de reservação (RR). Reservas iniciais apresentam maiores concentrações de poluentes devido ao acúmulo de matéria orgânica, detritos e bactérias no início das precipitações, o que necessita de maiores informações quanto ao dimensionamento dos volumes iniciais de descarte.

Apesar de não haver recomendação para consumo humano, os valores apresentados encontram-se dentro dos limites estabelecidos para padrões de potabilidade pela Resolução Conama 357/2005 e Portaria n. 518/2004.

Recomendam-se mais pesquisas no sentido de avaliar os resultados que se apresentam fora dos limites exigidos por norma, como coliformes fecais, turbidez e pH, bem como a complementação de outros parâmetros como íons majoritários, análises em diferentes períodos sazonais e diferentes superfícies de captação.

## AGRADECIMENTOS

Ao CNPq e a FAPERJ, pelo apoio financeiro, processos nos. 500.129/2006-1 e 557.524/2009-1 e FAPERJ no. E-26/110.148/2009. À FINEP/CNPq pelo apoio concedido no contexto do Projeto em Rede, Manejo de Águas Pluviais (MAPLU), Chamada Pública MCT/FINEP/Ação Transversal - Saneamento Ambiental e Habitação - 7/2009. Às empresas Harvesting do Brasil e Nova Calha pelo apoio na aquisição de materiais e instalação do sistema de captação de águas pluviais.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ANNECCHINI, K.P.V. (2005). **Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis na cidade de Vitória (ES)**. 150f. Dissertação (Mestrado em Eng Ambiental) – Ufes, Vitória-ES.
- KRAJEWSKI, J. B., CHEBBO, G., SAGET, A. (1998). Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon. **Water Resources**, 32 (8), 2341–2356. 1998.
- CETESB. **Relatório de Qualidade do Ar no Estado de São Paulo**. São Paulo: Gráfica CETESB, 2006. 90p.
- CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE – CONAMA. Resolução n. 357, de 17/03/2005. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 18/03/2005. Seção 1, p. 58-63.
- CONCEIÇÃO, F. T. *et al.* (2011). Composição Química das águas pluviais e deposição atmosférica anual na bacia do Alto Sorocaba - SP. **Revista Quim. Nova**, Vol. 34, No. 4, 610-616, 2011.
- DELETIC, A. (1998). The first flush load of urban surface runoff. **Water Resources**, 32 (8), 2462–2470. 1998.
- FINEP (2013). **Manejo de Águas Pluviais em Meio Urbano - Maplu**. Chamada Pública Saneamento Ambiental e Habitação - 07/2009: Rede Cooperativa de Pesquisa Área 1 - Saneamento Ambiental, Tema Prioritário 1.4. Relatório Técnico Parcial. Mar 2013.
- FORNARO, A. (2006). Águas de chuva: conceitos e breve histórico. Há chuva ácida no Brasil? **Revista USP**, São Paulo, n.70, p. 78-87, 2006.

GIKAS, G.D.; TSIHRINTZIS, V. A. (2012). Assessment of water quality of first-flush roof runoff and harvested rainwater. **Journal of Hydrology** (impact factor: 2.66). 10/2012; 466–467:115-126.

JAQUES, R. C. (2005). **Qualidade da água de chuva no município de Florianópolis e sua potencialidade para aproveitamento em edificações**. 2005. 102f. Dissertação (Mestrado em Eng Ambiental) – UFSC, Florianópolis, 2005.

KLUMB, A. K. *et al.* (2009). **Aproveitamento de água de chuva na cidade de Pelotas-RS para uso não potável**. XVIII Congresso de Iniciação Científica. XI Encontro de Pós-Graduação. Universidade Federal de Pelotas. Out 2009.

KRAJEWSKI, J. L. B.; CHEBOB, G.; SAGETB, A. (1998). Distribution of pollutant mass vs volume in stormwater discharges and the first flush phenomenon. **Water Research** Vol 32, Issue 8, 1998, 2341–2356. 1998.

LARSEN, T., BROCH, K., ANDERSEN, M.R. (1998). First flush effects in an urban catchment area in Aalborg. **Water Science Technology** 37 (1), 251–257. 1998.

LEAL, T. F. M. *et al.* (2004). Composição iônica majoritária de águas de chuva no centro da cidade de São Paulo. **Revista Quim. Nova**, Vol. 27, No. 6, 855-861, 2004.

LEE, H.; LAU, S. L.; KAYHANIAN, M.; STENSTROM, M. K. (2004). Seasonal first flush phenomenon of urban stormwater discharges. **Water Research** 38, 4153–4163, 2004.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Normas e Padrão de Potabilidade de Águas Destinadas ao Consumo Humano** – PORTARIA No 518 de 25/03/2004, Brasil.

PEIXE, C. R. S. (2012). **Águas pluviais para usos não potáveis em escolas municipais: estudo de caso na região da baixada de Jacarepaguá, RJ**. 172f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Meio Ambiente) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

PETERS, M. R. (2006). **Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial**. 109f. Dissertação (Mestrado em Eng Ambiental) - UFSC, Florianópolis, 2006.

PHILIPPI, L.S. *et al.* (2006). Aproveitamento da água de chuva. In: GONÇALVES, R.F. (Org.). **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro: ABES - PROSAB, 2006. cap. 3, p. 73-152.

RIBEIRO, E. N. *et al.* (2009). **Caracterização da qualidade da água após passagem por telhado no aeroporto internacional de São Paulo (AISP)**. 25º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Recife-PE. Set 2009.

RODRIGUES, R. A. R. *et al.* (2007). Aporte atmosférico de amônio, nitrato e sulfato em área de Floresta Ombrófila Densa montana na Serra dos Órgãos, RJ. **Revista Quim. Nova**, Vol. 30, No. 8, 1842-1848, 2007.

SAZAKLI, E.; ALEXOPOULOS, A.; LEOT SINIDIS, M. (2007). Rainwater harvesting, quality and utilization in Kefalonia Island, Greece, **Water Research** 41:2039-2047, 2007.