

ESTUDO DA EFICIÊNCIA DE CISTERNAS EM DIFERENTES REGIMES PLUVIOMÉTRICOS: análise através de adimensionais

Giovana de Oliveira Alves¹; Luã Sarmanho Lima¹; Vânia Heloíse de Oliveira¹; Leonardo Rosa Andrade²; Adelená Gonçalves Maia^{3}*

Resumo – O regime pluviométrico de uma região é considerado um fator chave no desempenho do sistema de aproveitamento doméstico de água de chuva. Sendo assim, este trabalho objetivou analisar a influência da variabilidade temporal da precipitação de doze localidades do estado do Rio Grande do Norte na eficiência do sistema. Através dos resultados se observou que regiões com maior precipitação média anual e melhor distribuição temporal da precipitação obtiveram maior eficiência e maior ganho de eficiência com o aumento da relação adimensional “C/(P.A)”, do que regiões com menor precipitação anual e maior concentração da precipitação ao longo do ano. Sendo assim, a variabilidade temporal da precipitação é um fator relevante a ser considerado na análise do comportamento de uma cisterna frente ao atendimento das suas demandas. Esta relevância foi mais significativa para baixos valores da relação entre capacidade da cisterna e volume precipitado captável (“C/P.A”).

Palavras-Chave – água de chuva, Rio Grande do Norte.

STUDY ON THE EFFICIENCY OF RAINWATER TANKS IN DIFFERENTS PRECIPITATION PATTERNS: analysis by dimensionless

Abstract – The rainfall regime of a region is considered a key factor in the performance of the rainwater system to domestic utilization. Thus, this work had as objective to analyze the influence of rainfall temporal variability of twelve localities of Rio Grande do Norte state, in the efficiency of the system. Through of results, was observed that regions with bigger medium annual precipitation and better temporal distribution obtained bigger efficiency and bigger gain of efficiency with the increase of dimensionless relation “S/(P.A)”, than regions with less precipitation and bigger precipitation concentration throughout the year. Thus, the temporal precipitation variability is a relevant factor to be considered in the analysis of the behavior of a rainwater tank. This relevance was more significant for low values of the relation between tank capacity and the available water precipitated (“S/P.A”).

Keywords – rainwater, Rio Grande do Norte State.

¹ Graduandos em Bacharelado em Ciências e Tecnologia com ênfase em Tecnologia Ambiental da Universidade Federal do Rio Grande do Norte (UFRN); UFRN/ECT, Cx. Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP: 59072-970; giovanaoalves@gmail.com; 8sarmanho8@gmail.com; vania_helo@hotmail.com

² Mestrando em Engenharia Sanitária da UFRN. UFRN/CT/LARHISA, Cx. Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP: 59072-970; leo.r.andrade@gmail.com

³ Professora Adjunta do Curso de Engenharia Ambiental da UFRN. UFRN/CT/LARHISA, Cx. Postal 1524, Campus Universitário Lagoa Nova, CEP: 59072-970, Natal – RN; adelenam@gmail.com

* Autora Correspondente

INTRODUÇÃO

A água se constitui num fator limitante para o desenvolvimento urbano, industrial e agrícola (ANA, 2005). Logo, promover o equilíbrio entre a demanda e a oferta utilizando fontes alternativas de água é importante para a gestão dos recursos hídricos, sendo o aproveitamento de água de chuva uma das medidas adotadas para conservação deste recurso, não só para o uso doméstico, mas também para o uso industrial.

Dos componentes do sistema de aproveitamento de águas pluviais, o reservatório de armazenamento é geralmente o mais dispendioso (ANA, 2005), e por conta disso, deve ser dimensionado de forma otimizada, não somente por fatores econômicos, mas também por fatores operacionais, pois o dimensionamento ótimo pode evitar custos desnecessários (superdimensionamento) e a baixa eficiência (subdimensionamento) (GHISI, 2010). O volume do reservatório é definido de acordo com a análise de parâmetros específicos, e as variações destes parâmetros de dimensionamento são definidos em função dos objetivos do sistema e principalmente em função da variação pluviométrica (AMORIM e PEREIRA, 2008).

O regime de precipitação é considerado como o fator chave no desempenho do sistema de aproveitamento doméstico de água de chuva, e a maioria dos estudos se concentram na análise de situações específicas, considerando o regime de precipitação local, com a variação dos dados de demanda de água e área do telhado (PALLA et al., 2012). Muitos trabalhos (KHASTAGIR e JAYASURIYA, 2010; GHISI et al. 2007; RAHMAN et al. 2012) buscaram correlacionar a precipitação média anual com a confiabilidade do sistema, desprezando no entanto a informação da distribuição temporal da precipitação.

Uma vez que no processo de dimensionamento o volume do reservatório varia conforme varia o padrão de distribuição das chuvas nas diferentes localidades, entende-se que é necessário estabelecer uma relação entre a eficiência do sistema e a variabilidade temporal da precipitação. Logo, o objetivo deste trabalho é analisar a influência da variabilidade temporal da precipitação na eficiência de atendimento das demandas pelos reservatórios de aproveitamento de águas de chuva.

METODOLOGIA

Área de estudo

Na pesquisa foram analisados 12 municípios distribuídos no estado do Rio Grande do Norte (Brasil), de modo que fosse possível examinar como os diferentes regimes pluviométricos e os coeficientes PCD de cada município interferem no dimensionamento das cisternas e na eficiência do sistema. Os municípios selecionados foram: Baía Formosa, Natal, Passa e Fica, Taipu, Tibau do Sul, Touros e Vila Flor, localizadas na mesorregião do leste potiguar, Portalegre, Upanema e Venha-Ver, pertencentes à mesorregião do oeste potiguar e por fim, Currais Novos e Fernando Pedroza, municípios da mesorregião central.

Os dados de precipitação utilizados neste trabalho foram cedidos pela Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte (EMPARN) e também disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA, 2010), com série de 48 anos de dados, de 1963 a 2010. A localização das

estações pluviométricas utilizadas e a distribuição espacial das precipitações médias anuais no estado podem ser visualizadas através da figura 1.

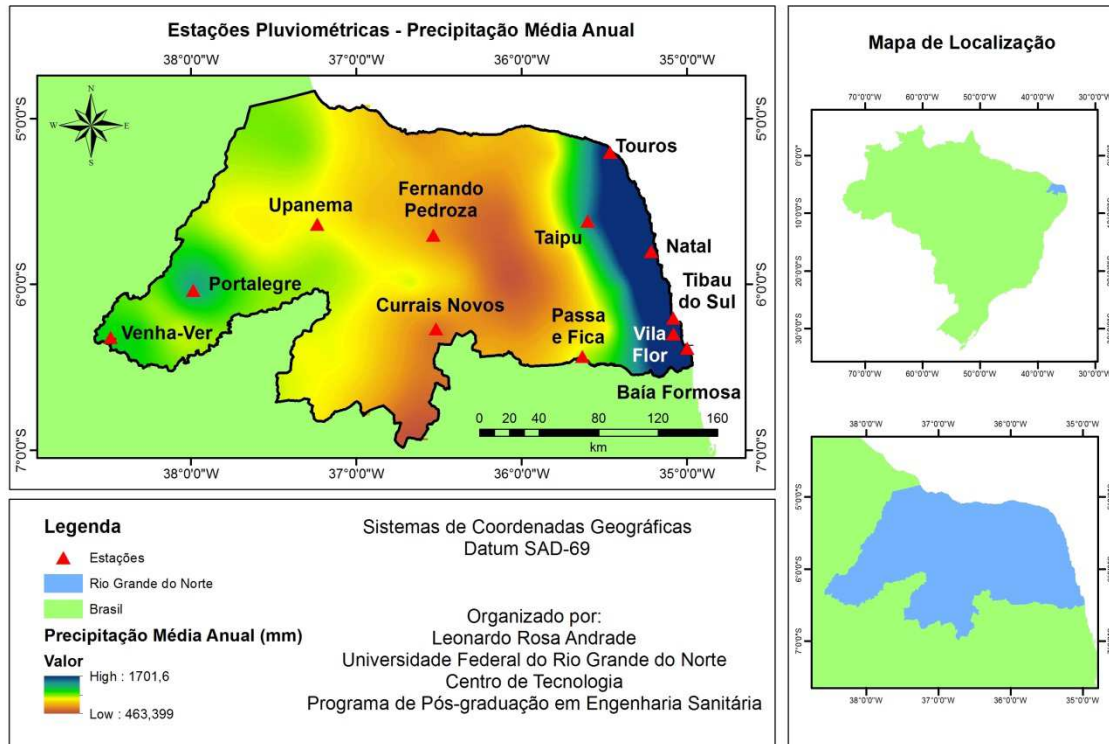


Figura 1. Distribuição das estações pluviométricas e precipitação média anual do Rio Grande do Norte

Estudo do comportamento da cisterna

A análise do comportamento dos reservatórios foi realizada em um programa desenvolvido no Visual Basic aplicado aos objetos do Excel®, a partir do Método da Simulação que é apresentado na NBR 15.527/2007 (ABNT, 2007). Este método consiste na simulação da operação dos reservatórios com o uso de dados diários, através do balanço de massa do reservatório (equações 1 e 2).

$$S_t = S_{t-1} + Q_t - D_t \quad 0 \leq S_t \leq S \quad (1)$$

$$Q_t = C \times P \times A \quad (2)$$

Onde: S_t é o volume armazenado no final do tempo t ; S_{t-1} é o volume armazenado, no final do tempo $t-1$; Q_t é a água escoada a partir do telhado para o reservatório no intervalo de tempo entre “ $t-1$ ” e “ t ” (Δt); D_t , a demanda total de água para o atendimento das demandas no Δt ; S é a capacidade do reservatório; C é o coeficiente de escoamento superficial; P é a precipitação no Δt ; e A é a área do telhado.

As simulações foram realizadas considerando um intervalo de tempo (Δt) de um dia, foi adotada uma área de telhado com superfície de 100 m² e uma demanda de 0,8 m³/dia. O coeficiente de escoamento superficial (C) adotado neste estudo foi de 0,8. O *first-flush*, que é a água precipitada que é descartada para a limpeza do telhado, foi considerada igual a 1 mm.

Os resultados foram analisados através do uso do adimensional “C/(P.A)” (fração de armazenamento), que foi utilizado por Fewkes (1999) para avaliar o sistema de aproveitamento de água de chuva, onde C é a capacidade de armazenamento do sistema, A é a área de telhado e P a precipitação média anual. Este adimensional representa a relação entre o volume da cisterna e o volume precipitado captável. Também foi utilizado o índice *Precipitation Concentration Degree* (PCD). O PCD foi utilizado por Li et al. (2011), e representa o grau em que a precipitação total anual é distribuída ao longo dos doze meses. O intervalo do PCD anual varia de 0 a 1, sendo o valor máximo obtido quando a precipitação total anual concentra-se em um mês específico, e o valor mínimo atingido quando a precipitação é distribuída uniformemente ao longo dos meses, durante o ano. O PCD é calculado a partir das Equações 3, 4, 5 e 6 (LI et al., 2011).

$$R_i = \sum r_{ij} \quad (3)$$

$$Rx_i = \sum r_{ij} \cdot \text{sen}\theta_j \quad (4)$$

$$Ry_i = \sum r_{ij} \cdot \text{cos}\theta_j \quad (5)$$

$$PCD_i = \frac{\sqrt{Rx_i^2 + Ry_i^2}}{R_i} \quad (6)$$

Onde i é o ano; j representa o mês (j = 1, 2, ..., 12) em um ano; r_{ij} representa a precipitação total mensal no mês j, e ano i; θ_j é o azimute do mês j; PCD_i representa o grau em que a precipitação total do ano i está concentrada nos 12 meses. Foi calculado apenas um PCD para cada localidade, considerando as precipitações médias mensais. Os valores de PCD utilizados estão de acordo com os apresentados em Maia e Araújo (2012).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A seguir (figura 2) são apresentados os resultados da eficiência dos reservatórios, de Passa e Fica e Upanema, em função do adimensional “C/(P.A)”. Na legenda da referida figura são apresentados os valores do PCD e da precipitação média mensal.

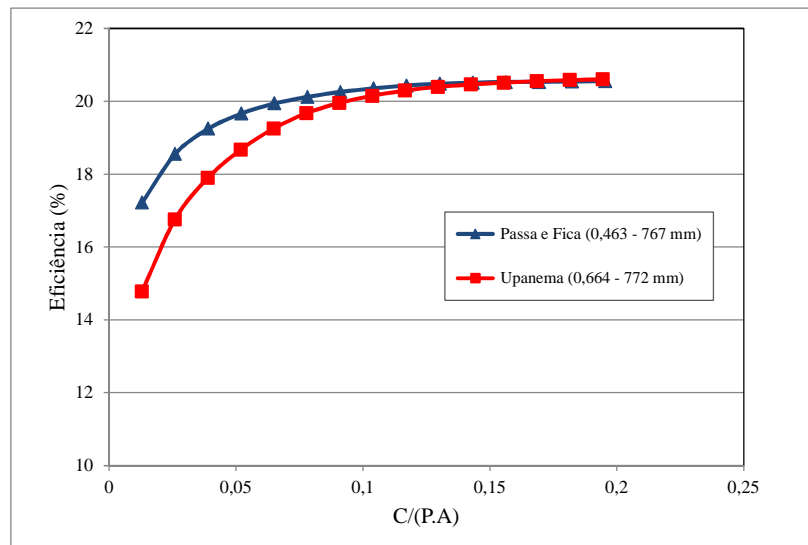


Figura 2. Relação entre eficiência e “C/PA” dos reservatórios para os municípios de Upanema e Passa e Fica.

Os municípios de Passa e Fica e Upanema apresentam valores de precipitação média anual de 767,3 mm e 771,8 mm, e valores de PCD de 0,463 e 0,664, respectivamente. Ou seja, apresentam valores próximos de precipitação anual, mas diferença na distribuição temporal desta precipitação ao longo do ano, em Upanema a precipitação ocorre de forma mais concentrada.

Na análise da figura 2 percebe-se que Passa e Fica possui uma eficiência substancialmente maior do que Upanema, quando a relação “C/(P.A)” é menor do que 0,10, revelando assim um melhor atendimento das demandas. Quando os valores de “C/(P.A)” são maiores que 0,10, Passa e Fica e Upanema apresentam comportamentos próximos.

Passa e Fica tem uma melhor distribuição de precipitação ao longo do ano (menor PCD) e esta melhor distribuição foi relevante na obtenção de maiores eficiências da cisterna, para valores de “C/(P.A)” reduzidos. Upanema apresenta menores valores de eficiência, para pequenas cisternas, devido à dificuldade que as cisternas pequenas têm de atender às demandas, haja vista a maior concentração de precipitação desta localidade. No entanto, o ganho percentual de eficiência com o aumento do tamanho da cisterna é maior para Upanema do que para Passa e Fica.

A figura 3 apresenta os resultados da eficiência dos reservatórios de Currais Novos e Portalegre, em função do adimensional “C/(P.A)”. Na legenda da referida figura são apresentados os valores do PCD e da precipitação média mensal.

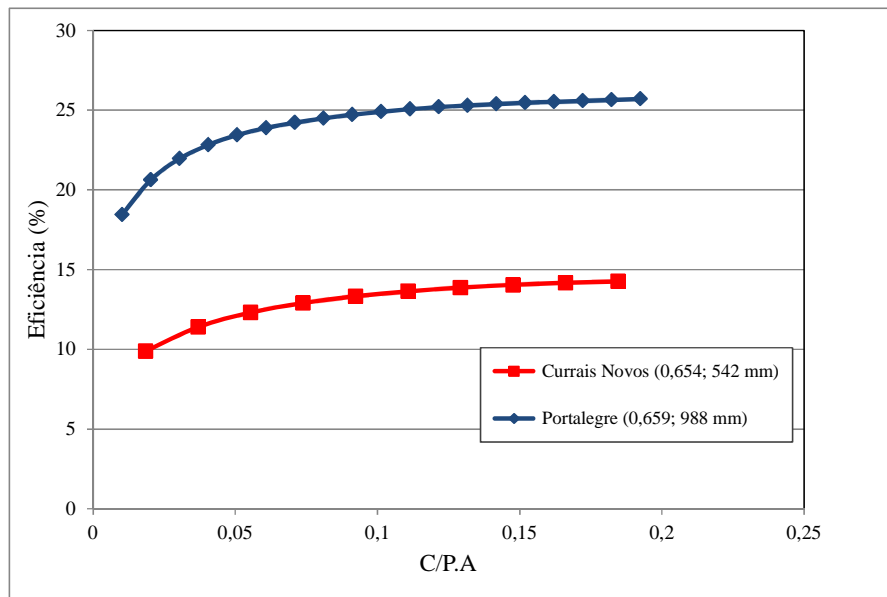


Figura 3. Eficiência dos reservatórios para os municípios de Currais Novos e Portalegre.

Os municípios de Currais Novos e Portalegre apresentam precipitações médias anuais que diferem em aproximadamente 446 mm, Currais Novos com 541,7 mm e Portalegre com 987,5 mm, no entanto os valores de PCD dos dois municípios possuem uma pequena diferença, Currais Novos com PCD igual a 0,654 e Portalegre com PCD igual a 0,659. Isso significa que nos dois municípios a distribuição da precipitação ao longo do ano ocorre de forma “igualmente” distribuída, no entanto a precipitação média anual é substancialmente diferente.

Como a altura precipitada de Portalegre é maior que a de Currais Novos, apesar de apresentarem valores de PCD próximos entre si, as eficiências dos reservatórios do primeiro município são superiores. A partir desta análise observa-se que a diferença das eficiências entre os dois municípios é ainda mais significativa para valores de “C/(P.A)” mais elevados. Para Currais Novos a precipitação além de ser irregular é de apenas 542 mm anuais, com isto, o ganho percentual de eficiência com o aumento do tamanho da cisterna é um pouco superior para Portalegre.

A seguir são apresentados, na figura 4, os resultados da eficiência das simulações realizadas em todas as localidades estudadas. Na legenda são apresentados os valores do PCD e da precipitação média anual das localidades.

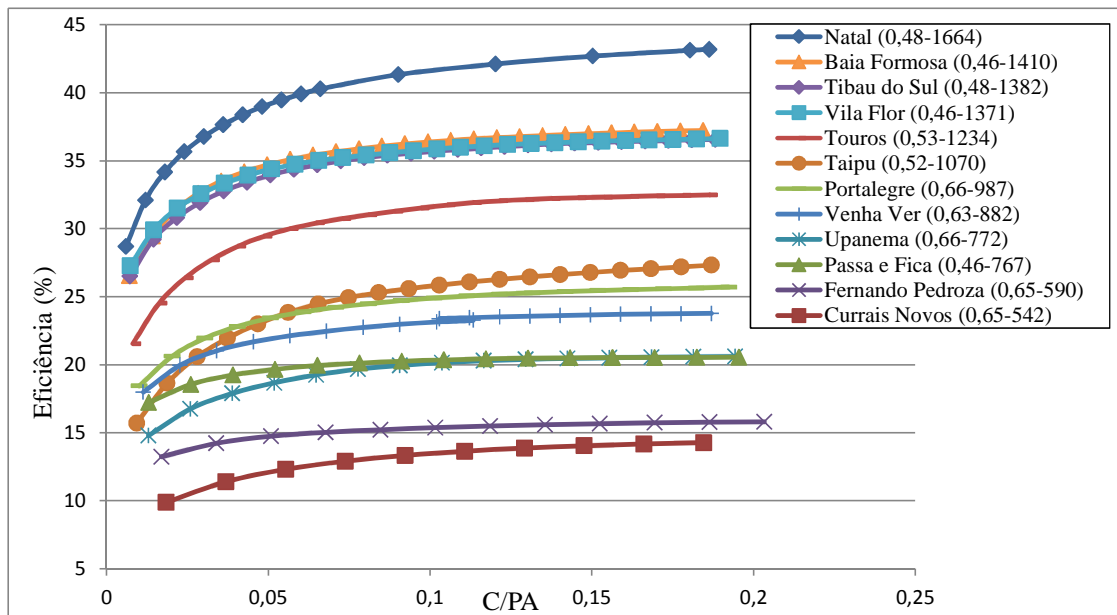


Figura 4. Eficiência x "C/PA" das localidades estudadas, com seus valores de PCD e precipitação anual

Através da análise de alguns resultados percebe-se que existe um padrão geral de comportamento das cisternas a depender do regime pluviométrico, por exemplo, as localidades que apresentam maior precipitação e melhor distribuição da precipitação (menor PCD), como Natal, apresentam maiores valores de eficiência e maiores ganhos de eficiência com o aumento da relação "C/(P.A)"; no entanto localidades com maior concentração da precipitação (maior PCD) e menores precipitações anuais, como Currais Novos, apresentam menores eficiências e menores ganhos desta eficiência com o aumento da relação "C/PA".

No entanto, analisando os resultados de Fernando Pedroza e Currais Novos, observa-se que apesar de Fernando Pedroza apresentar uma precipitação anual um pouco superior, os ganhos de eficiência com o aumento da capacidade do reservatório são menores do que em Currais Novos, resultado diferente da análise feita entre Portalegre e Currais Novos (figura 3). Taipu é uma localidade que se comporta de maneira atípica às outras localidades com precipitação anual e PCD semelhantes. Ou seja, existe uma relação forte entre a eficiência da cisterna e a precipitação anual e o índice PCD. Sendo assim, para a caracterização do regime pluviométrico de uma determinada localidade, outros fatores devem ser considerados, como por exemplo, os períodos prolongados sem precipitação, o que não é diretamente considerado no cálculo do PCD.

CONCLUSÕES

Na área de estudo analisada, regiões com maior precipitação média anual e melhor distribuição temporal da precipitação obtiveram maior eficiência e maior ganho de eficiência com o aumento da relação adimensional "C/(P.A)", do que regiões com menor precipitação anual e maior concentração da precipitação ao longo do ano. A variabilidade temporal da precipitação é um fator relevante a ser considerado na análise do comportamento de uma cisterna frente ao atendimento das suas demandas, esta relevância foi mais significativa para baixos valores da relação entre capacidade da cisterna e volume precipitado captável (C/P.A).

São indicados estudos futuros com o emprego de outros adimensionais, além do "C/(P.A)",

capazes de explicar outras características do regime pluviométrico local, que venham a interferir na eficiência do sistema.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio do CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico - pela concessão da bolsa de Iniciação Científica à primeira autora e à CAPES – Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior - pela concessão da bolsa de Mestrado ao quarto autor.

REFERÊNCIAS

- AMORIM, S. V.; PEREIRA, D. J. A. Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial. *Ambiente Construído*, v.8, n.2, p.53-66, 2008
- ANA. Agência Nacional de Águas. *Conservação e reuso da água em edificações*. São Paulo: ANA, 2005
- ANA, Agência Nacional de Águas. (2010) *Hidroweb: Sistemas de Informações Hidrológicas*. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/>. Acesso em 1/5/2010
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. *NBR 15527: água de chuva: aproveitamento de coberturas para fins não potáveis em áreas urbanas – Diretrizes*. Rio de Janeiro, 2007. 7p.
- FEWKES, A. Modelling the performance of Rainwater collection systems: towards a generalised approach. *Urban Water*, v.1, p.323-333, 1999.
- GHISI, E.; BRESSAN, D. L.; MARTINI, M. Rainwater tank capacity and potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of southeastern Brazil. *Building and Environment*, v.42, p.1654–1666, 2007
- GHISI, E. Parameters influencing the sizing of Rainwater tanks for use in houses. *Water Resources Management*, v.24, n.10, p.2381-2403, 2010
- KHASTAGIR, A.; JAYASURIYA, N. Optimal sizing of rain water tanks for domestic water conservation. *Journal of Hydrology*, v.381, p.181-188, 2010
- LI, X; JIANG, F.; WANG, G.. Spatial and temporal variability of precipitation concentration index, concentration degree and concentration period in Xinjiang, China. *Int. J. Climatol*. 31: 1679-1693, 2011
- MAIA, A. G.; ARAÚJO, J. M. (2012). Estudo da interferência do regime pluviométrico no dimensionamento de cisterna de aproveitamento de água de chuva: com a análise dos índices PCP e PCD. In *Anais do XI Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste*, João Pessoa, Nov. 2012,1
- PALLA, A.; GNECCO, I.; LANZA, L. G.; BARBERA, P. L. Performance analysis of domestic rainwater harvesting systems under various European climate zones. *Resources, Conservation and Recycling*, v.62, p.71-80, 2012
- RAHMAN, A.; KEANE, J.; IMTEAZ, M. A. Rainwater harvesting in Greater Sydney: Water savings, reliability and economic benefits. *Resources, Conservation and Recycling*, v.61, p.16-21, 2012