

## APROVEITAMENTO DE ÁGUA PLUVIAL EM EDIFÍCIOS COM COBERTURAS VERDES: PARÂMETROS DE QUALIDADE DA ÁGUA

**Paula de Castro Teixeira<sup>(1)</sup>; Marina S. de Oliveira Ilha<sup>(2)</sup>**

(1) Mestranda do Programa em Pós-graduação em Engenharia Civil, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, e-mail: paulacteixeira@gmail.com

(2) Livre-docente do Departamento de Arquitetura e Construção, Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, e-mail: milha@fec.unicamp.br

### **Resumo**

*Este trabalho objetiva avaliar a qualidade da água drenada por dois tipos de coberturas verdes e uma convencional (telhas cerâmicas) instaladas em células-teste construídas em uma área experimental da Faculdade de Engenharia Civil Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, Campinas – SP. As duas coberturas possuem substrato de um mesmo fornecedor e são classificadas como extensivas (espessura do substrato de 10 cm). A cobertura 1 tem uma espécie de planta apenas: Zozya Japonica (grama esmeralda) e a 2 possui um conjunto de plantas: Aptenia Cordifolia (rosinha do sol), Portulaca Granifolia (onze horas), Echeveria Elegans (suculenta) e Lampranthus Productus (cacto margarida). Para a análise da qualidade da água drenada foram coletadas amostras em 7 diferentes eventos de chuva e diretamente da atmosfera em um deles. Foram realizados ensaios para caracterização dos parâmetros físicos, químicos e biológicos da água drenada. Os dados das duas coberturas verdes foram significativamente diferentes para a condutividade, sólidos totais fixos e voláteis. Quando comparada a cobertura 1 com a convencional, todos os parâmetros investigados, com exceção da turbidez, NTK e pH foram significativamente diferentes. No caso da cobertura 2, todos os parâmetros, com exceção da turbidez e do pH foram significativamente diferentes da convencional. Os resultados indicam ainda a necessidade de tratamento para atender os valores-limite mínimos constantes na norma brasileira de aproveitamento de água pluvial.*

**Palavras-chave:** aproveitamento de água pluvial, cobertura verde, qualidade de água.

### **Abstract**

*This paper aims to evaluate the quality of rainwater harvested from of two types of green roofs and a conventional type, composed by ceramic tiles. These roofs are installed in test cells located in the experimental area of the School of Civil Engineering and Urban Design, University of Campinas, Sao Paulo. Both green roofs have the same substrate and are classified as extensives (substrate thickness of 9 cm). Roof 1 received Zozya Japonica and roof 2 contains Aptenia Cordifolia, Portulaca Granifolia, Echeveria Elegans e Lampranthus Productus. Rainwater samples harvested from three roofs were collect in 6 rain events. Rainwater ambient sample was collect in the second rain event. Samples were analyzed for chemical, physical and microbiological parameters in the laboratory. Data from two green roofs were significantly different only for conductivity and total solids (fixed and volatile). Green roof 1 had the same behavior than ceramic tile roof only for turbidity, TKN and pH. For green roof 2, only turbidity and pH were similar. Results also indicate the necessity of treatment for reusing, considering the Brazilian Standard for rainwater harvesting systems.*

**Keywords:** Rainwater harvesting, green roof, water quality.

## 1. INTRODUÇÃO

Além de melhorar o desempenho térmico e acústico das edificações, as coberturas verdes podem contribuir para a gestão da água, aproveitando-se a água drenada para fins não potáveis ou apenas para infiltração, amenizando os impactos da impermeabilização do solo urbano. Em ambos os casos, a água coletada deve ser isenta de contaminantes que possam causar riscos à saúde dos usuários ou a contaminação do solo e da água subterrânea.

A qualidade da água coletada de coberturas convencionais tem sido investigada por diferentes pesquisadores no país, sendo necessário desenvolver estudos similares para coberturas verdes, contemplando diferentes tipos de sistemas, de modo a definir parâmetros de qualidade da água drenada. Ressalta-se que a NBR 15227 (ABNT, 2007) não considera as especificidades das coberturas verdes.

Existem diversos fatores determinantes da qualidade da água drenada por coberturas verdes, merecendo destaque: composição e profundidade do substrato; espécies vegetais empregadas; tempo decorrente desde a sua instalação; fertilização e práticas de manutenção; intensidade e duração das chuvas; fontes locais de poluição que determinam a qualidade da água da chuva, entre outros (BERNDTSSON, EMILSSON e BENGTTSSON, 2006; BERNDTSSON, 2010; MENDEZ *et al*, 2011; ROWE, 2011; TEEMUSK e MANDER, 2007).

Tendo em vista fornecer subsídios para análise da qualidade da água drenada em coberturas verdes, este trabalho apresenta uma caracterização de parâmetros físicos, químicos e microbiológicos de duas coberturas verdes e de uma cobertura convencional, todas instaladas em células-teste. Os resultados obtidos foram analisados comparativamente e também confrontados com os valores limites estabelecidos na normalização brasileira.

Esse estudo foi desenvolvido utilizando o mesmo aparato experimental de uma pesquisa que teve como objetivo avaliar a contribuição de coberturas verdes no desempenho térmico e na retenção de água pluvial, a qual contempla mais 6 coberturas verdes (SILVA, V. G., 2012).

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

As três coberturas investigadas estão instaladas em células-teste construídas na área experimental da Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo da UNICAMP, em Campinas, São Paulo (Figura 1).

O regime pluviométrico do local em estudo é caracterizado por um período de chuvoso, que se estende de outubro a março, com precipitações médias que variam entre 102 e 267 mm/mês (médias calculadas para o período de 2000 a 2010, conforme Agriempo (2011).

Cada célula possui uma área de projeção horizontal de 7,61m<sup>2</sup> (2,76m x 2,76m) e 3,15m de altura. A área efetiva de cobertura verde é igual a 6,05m<sup>2</sup>. Tanto as coberturas verdes como a convencional foram instaladas sobre uma laje de concreto, com inclinação de 2%, impermeabilizada com pintura betuminosa.

As duas coberturas verdes investigadas possuem características similares: ambas são classificadas como extensivas; possuem substrato de um mesmo fornecedor e mesma espessura (10 cm), e contém duas camadas de manta geotextil. As espécies que constituem a cobertura vegetal são: *Zoysia Japonica* - “grama esmeralda” para a cobertura 1; e *Aptenia Cordifolia* - “rosinha do sol”; *Portulaca Grandifolia* - “onze horas”, *Echeveria Elegans* - “suculenta” e *Lampranthus Productus* - “cacto Margarida” para a cobertura 2.

Destaca-se que a irrigação foi realizada somente para a implantação inicial das coberturas verdes, a qual foi efetuada até outubro de 2010. Após esta data, nenhuma manutenção ou

irrigação foi realizada.

Cada cobertura contém um aparato para a realização da coleta das amostras de água, composto por um coletor vertical que capta a água da cobertura e 5 pontos de coleta (tubos de PVC com 2,6 L cada) controlados por registros de esfera, conforme ilustrado na Figura 2. Os resultados apresentados nesse trabalho se referem somente a amostras coletadas no ponto identificado como 1. A amostra de água de chuva coletada diretamente da atmosfera foi efetuada conforme ilustrado na Figura 2.



Figura 1 – Coberturas verdes (a) e convencional (b) instaladas nas células-teste.



Figura 2 – Pontos de coleta das amostras de água: (a) coberturas (b) diretamente da atmosfera.

As coletas das amostras da água drenada pelas coberturas foram realizadas em dois períodos: coletas 1 e 2 (C1 e C2) no mês de abril de 2011 e as demais (C3, C4, C5, C6 e C7) nos meses de janeiro e fevereiro de 2012. A amostra da água diretamente da atmosfera foi coletada somente na C2.

As amostras para a realização dos ensaios de caracterização física e química foram coletadas garrafas de polietileno *PET* de 1,5L e 2,0L. Para os ensaios de caracterização microbiológica foram utilizados frascos de vidro esterilizados em autoclave.

Os ensaios realizados foram: cor aparente, condutividade, sólidos totais fixos e voláteis, turbidez, pH, NTK, cádmio, cromo, cobre, ferro, manganês, zinco, coliformes totais e *E.coli*. Para todos os ensaios foram empregados os procedimentos constantes em APHA (2004).

As amostras foram transportadas para o laboratório para a realização dos ensaios logo após a coleta. As amostras não utilizadas imediatamente foram preservadas sob refrigeração para a realização dos ensaios *a posteriori*.

Tendo em vista o pequeno número de coletas e a não evidência de normalidade dos dados, foi utilizado um teste não paramétrico para a comparação dos resultados obtidos, conforme Brunchaft e Kellner (2001) e Volpato e Barreto (2011). Para tanto, foi selecionado o teste de

Mann-Whitney, com nível de significância igual a 0,05. Mendez et al (2011) utilizaram este teste em uma avaliação similar, ao analisar a qualidade da água coletada em coberturas compostas por diferentes materiais, incluindo uma cobertura verde.

Para a análise estatística, todos os resultados indicados em termos do limite mínimo detectável (LD) pelo equipamento empregado foram considerados iguais aos respectivos valores limite.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 1 apresenta os valores dos parâmetros de caracterização da chuva coletada diretamente da atmosfera. Em um estudo anterior foi encontrado um valor de pH igual a 6,4 para a água coletada diretamente da atmosfera (Corrêa, 2008).

Parâmetro	Amostra coletada direto da atmosfera
Cor aparente (uC)	4,0
Turbidez (NTU)	1,4
Sólidos totais (mg/L)	3,8
Sólidos totais fixos (mg/L)	6,4
pH	5,6
Condutividade ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ )	5,0
DQO	2,0
DOC (mg/L)	2,9

Tabela 1 – Parâmetros de caracterização físico-química da água coletada diretamente da atmosfera – coleta C2.

As Figuras 3 e 4 apresentam os resultados obtidos nos ensaios de caracterização físico-química da água drenada nas três coberturas investigadas e a Figura 5 apresenta os resultados obtidos para o teor de fósforo nas duas coberturas verdes. A Tabela 2 apresenta os resultados dos parâmetros microbiológicos.

Conforme destacado por diferentes autores, a água da chuva, ao passar pela cobertura, verde ou não, tem a sua qualidade alterada.

O pH da água de chuva aumentou ao passar pelas coberturas verdes, o que corrobora com os resultados obtidos em outros estudos (DE CUYPER, DINNE, K. e VAN DE VEL, L., 2004; MENDEZ *et al* (2001).

Quando comparados os resultados obtidos com as amostras das duas coberturas verdes, somente a condutividade, os sólidos totais fixos e os sólidos totais voláteis foram significativamente diferentes ( $p = 0,0012$ ,  $0,0061$  e  $0,0424$ , respectivamente).

A água drenada pela cobertura 2 apresentou mais sólidos totais fixos do que a da cobertura 1, o que implicou em uma condutividade significativamente maior, já que existe uma forte correlação entre estes dois parâmetros ( $R^2 = 0,93$  para os dados desse estudo).

A maior parte dos sólidos presentes é de origem orgânica (sólidos totais voláteis). Verificando-se os valores de DQO e de NTK, pode-se inferir que a maior parte da matéria orgânica presente é originária de moléculas orgânicas, sem a presença de compostos de nitrogênio. Tal fato pode corroborar para a ocorrência de compostos húmicos e fúlvicos nas amostras coletadas, compostos esses decorrentes da decomposição parcial de material orgânica existente e formada nas coberturas vegetadas, fato esse verificado pelo

comportamento pouco inalterado nos valores de cor verdadeira e aparente, e diminuição nos valores de turbidez.

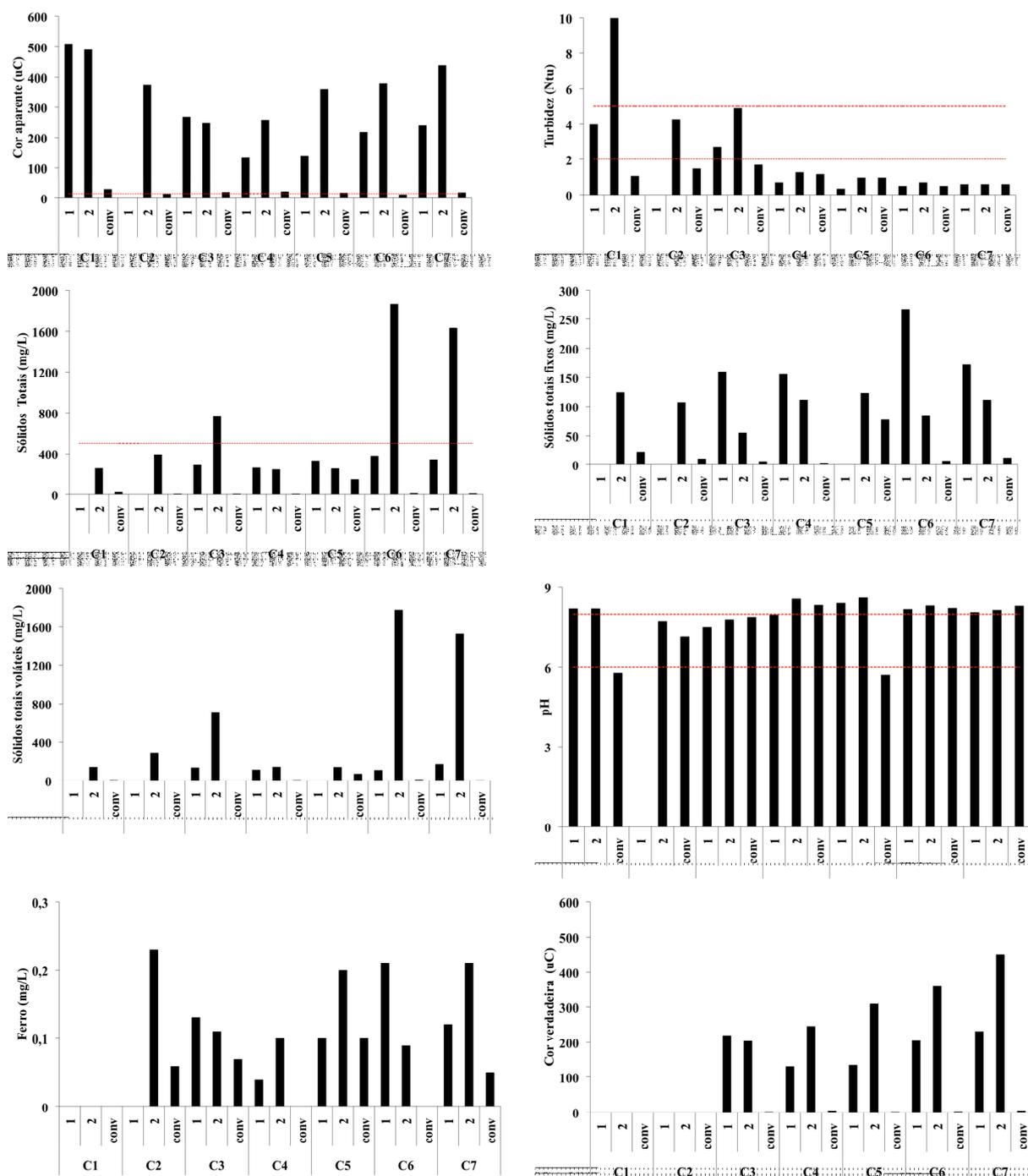


Figura 3 – Parâmetros de caracterização físico-química da água drenada pelas coberturas verdes (1 e 2) e convencional (conv) nas coletas C1 a C7. Linhas tracejadas indicam os valores limite da NBR 15527 (ABNT, 2007). Valores nulos indicam que o ensaio não foi realizado porque o volume coletado foi insuficiente; exceção para o ensaio de cor verdadeira, o qual foi realizado a partir da C3. Resultados abaixo do LD (limite detectável) foram considerados iguais ao limite correspondente.

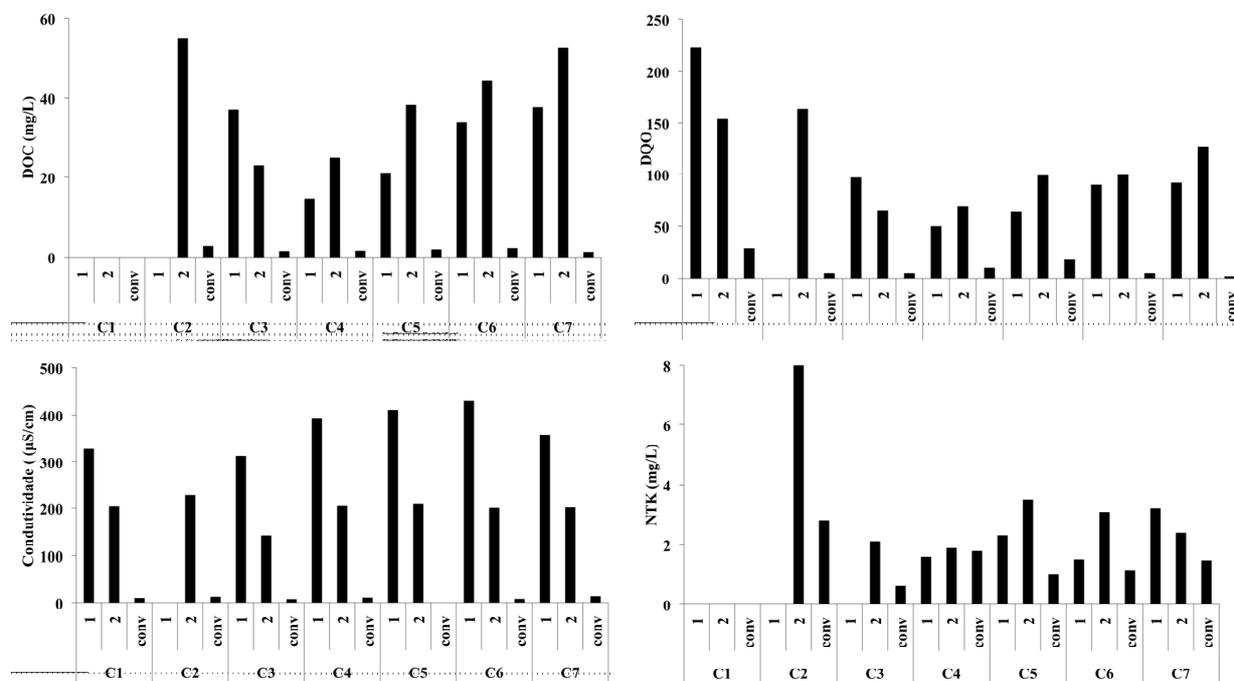


Figura 4 – Parâmetros de caracterização físico-química da água drenada pelas coberturas verdes (1 e 2) e convencional (conv) nas coletas C1 a C7. Valores nulos indicam que o ensaio não foi realizado porque o volume coletado foi insuficiente. Resultados abaixo do LD (limite detectável) foram considerados iguais ao limite correspondente.

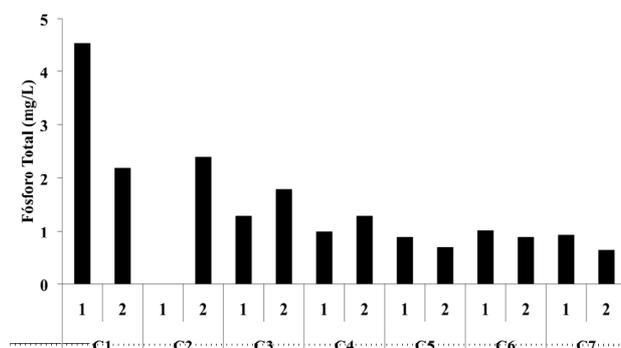


Figura 5 – Concentração de fósforo na água drenada das coberturas verdes (1 e 2) nas coletas C1 a C7. Valor nulo indica que o ensaio não foi realizado porque o volume coletado foi insuficiente.

As concentrações de metais (Cu, Zn, Cd, Cr, Ni e Pb) resultaram abaixo do limite de detecção nas amostras das coberturas verdes. O mesmo comportamento se verificou no caso da cobertura convencional, com exceção do Zinco, muito provavelmente em função do revestimento das bordas das coberturas (verdes e convencional), que é de chapa galvanizada. Além disso, a calha existente na cobertura convencional também é desse material.

Os altos valores da condutividade na cobertura 1 indicam a ocorrência de dissolução mineral à medida que a água passa pelo substrato. Isto também foi verificado no estudo desenvolvido por Mendez et al (2011).

Os valores de cor verdadeira das coberturas verdes não apresentaram correlação com os teores de ferro, o que indica a possibilidade da existência de ácidos húmicos nos substratos.

Os resultados dos parâmetros da cobertura 1, com exceção da turbidez, do ferro, do NTK e do pH, foram significativamente diferentes dos obtidos para a cobertura convencional. De sua vez, os valores dos parâmetros da água drenada pela cobertura 2, com exceção da turbidez e do pH, foram significativamente diferentes dos dados obtidos para a cobertura convencional.

A turbidez foi baixa para as coberturas 1 e 2, o que sugere uma retenção das partículas de argila e de silte existentes nos substratos das duas coberturas. Análise das amostras de solo coletadas das coberturas resultou em porcentagens de 14,8% e 10,9% , respectivamente para a coberturas 1 e para a 2.

Vários parâmetros demonstram a presença de matéria orgânica no substrato das coberturas verdes, destacando-se:

- aumento dos valores da DQO e diminuição das concentrações de fósforo na água com o passar dos meses, o que indica consumo de fósforo pelas plantas, necessário para o seu desenvolvimento e
- aumento dos valores da DQO na mesma proporção que o aumento dos valores de DOC.

As análises de caracterização dos substratos indicaram valores de 4,6 e 3,4% de matéria orgânica no solo, respectivamente, para a cobertura 1 e para a 2.

Coleta - data	Cobertura	<i>E.coli</i> (NMP/100mL)	Coliformes Totais (NMP/100mL)
C2 - 28/04/2011	1	< 1,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>
	2	< 2,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>
C3 - 10/01/2012	1	< 1,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>
	2	< 1,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>
	conv	< 1,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>
C4 - 17/01/2012	1	< 1,0	1,4x10 <sup>3</sup>
	2	2,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>
	conv	<1,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>
C5 - 26/01/2012	1	<1,0	1,3x10 <sup>2</sup>
	2	< 1,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>
	conv	2,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>
C6 - 13/02/2012	1	<1,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>
	2	2,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>
	conv	3,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>
C7 - 27/02/2012	1	< 1,0	5,5x10 <sup>2</sup>
	2	< 1,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>
	conv	< 1,0	> 2,4x10 <sup>3</sup>

Tabela 2 – Parâmetros de caracterização microbiológica da água para as coberturas verdes (1 e 2) e convencional (conv) nas coletas C1 a C7.

Conforme Mendez et al (2011), embora não existam valores limites para a DOC, valores elevados desse parâmetro, quando associados a um sistema de desinfecção por cloro, podem gerar subprodutos da família dos trihalometanos e ácidos haloacéticos. Assim, águas com alto valor de DOC (> 8 mg/L) devem reduzir este valor em 30-50%, segundo a USEPA (2009). Mesmo quando considerados usos não potáveis, existem riscos e esta exigência deve ser

atendida, pois os usuários podem entrar em contato com estes produtos por inalação.

A concentração de coliformes totais foi elevada nas duas coberturas verdes, o que pode explicar os valores de DOC encontrados, uma vez que este parâmetro tem relação com a colonização de bactérias no solo (Mendez et al, 2011). A presença de coliformes totais na cobertura convencional se deve à deposição de partículas na cobertura.

A concentração de *E.coli* sofreu alterações entre as coletas, o que pode ser devido a presença e lixiviação de fezes de animais de sangue quente ou ainda, decorrente de contaminação na coleta. Ressalta-se que as coberturas verdes representam um ecossistema com presença de animais, insetos, solo e vegetação e, a princípio, as variações nos resultados da análise microbiológica se justificam pelos ciclos de desenvolvimento natural desses agentes.

Contudo, essas alterações podem ser consideradas pequenas do ponto de vista ambiental, pois não ultrapassaram 1 Log. Como a quantidade de *E. coli* foi muito pequena, a contribuição de animais, que por ventura passaram pela cobertura vegetal, também pode ser considerada pequena.

Não existem parâmetros de qualidade para a água drenada por coberturas verdes no país. Assim, foram considerados os limites dos quatro parâmetros constantes na NBR 15527 (ABNT, 2007):

- o valor da cor aparente somente foi atendido pela cobertura convencional, e em apenas 2 coletas;
- a faixa de valores para a turbidez foi atendida por todas as coberturas a partir da coleta 4; nas coletas anteriores, a cobertura 2 apresentou valores muito superiores a esses limites;
- a faixa de valores estipulada para o pH foi atendida por todas as coberturas. Apenas nas coletas 1 e 5 o pH da amostra da cobertura convencional resultou um pouco abaixo desse limite;
- o limite indicado para coliformes totais não foi atendido por nenhuma das coberturas em todas as coletas efetuadas; destaca-se que a presença de coliformes se deve quase que exclusivamente à influência do solo, tendo em vista os valores obtidos de *E.Coli*.

#### 4. CONCLUSÕES

Este trabalho apresentou dados de qualidade da água drenada por uma cobertura de telhas cerâmicas e por duas coberturas verdes instaladas em células-teste. Nas três coberturas analisadas verificou-se um enriquecimento da maioria dos parâmetros investigados, ou seja, decréscimo da qualidade da água a partir da passagem pelas mesmas.

As duas coberturas verdes tiveram um comportamento similar em praticamente todos os parâmetros investigados, diferindo apenas na condutividade e nos sólidos totais fixos e voláteis. Quando confrontados com os parâmetros da cobertura convencional, apenas a turbidez e o pH não foram significativamente diferentes para a cobertura 2. Para a cobertura 1, além desses, dois outros parâmetros não foram significativamente diferentes: ferro e NTK.

A análise comparativa dos parâmetros de qualidade constantes na normalização indica necessidade de tratamento para o aproveitamento na edificação. Mesmo quando considerados usos não potáveis, existem riscos com o uso da água sem o devido tratamento, como é o caso de altos valores de elevados de DOC que, quando associados a um sistema de desinfecção por cloro, muito comum no país, podem gerar subprodutos que os usuários podem entrar em contato por inalação.

Destaca-se que, em geral, houve melhoria de alguns parâmetros quando comparadas as

coletas 1 e 2 e as demais, que ocorreram cerca de 9 meses depois, o que indica uma estabilização a partir da fase inicial de instalação das coberturas, conforme destacado na literatura consultada.

## REFERÊNCIAS

**AGRITEMPO** – Sistema de monitoramento agrometeorológico. Disponível em: < <http://www.agritempo.gov.br>> Acesso em: abril de 2011.

American Public Health Association - APHA. **Standard methos for the examination of water and wastewater**. 21a. edição. Washington D.C. USA, 2004.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos**. Rio de Janeiro, set. 2007.

BERNDTSSON, J. C.; EMILSSON, T.; BENTSSON, L. The influence of extensive vegetated roofs on runoff water quality. **Science of the Total Environment**. V 355, p.48-63, 2006.

BERNDTSSON, J. C. Green roof performance towards management of runoff water quantity and quality: a review. **Ecological Engineering**. V. 36, p.351-360, 2010.

BUNCHAFT, G.; KELLNER, L. H. M. H. **Estatística sem mistérios**. 2ª. Ed. Vozes. Petrópolis. 2001.

CORRÊA, S. L. M. **Análise da influência do descarte inicial na qualidade da água pluvial para aproveitamento em usos não potáveis**. Relatório de Iniciação Científica. 2008. (acesso restrito).

DE CUYPER, K.; DINNE, K., VAN DE VEL, L. Rainwater Discharge from Green Roofs. In: CIB W062 International Symposium on Water Supply and Drainage in Building. 2004, Paris. **Proceedings**. p. 1-12.

MENDEZ, C. B. et al. The effect of roofing material on the quality of harvested Rainwater. **Water Research**. v 45, p. 2049-2059, 2011.

ROWE, D. B. Green roof as means of pollution abatement. **Environmental Pollution**, v. 159, p. 2100-2110. 2011.

SILVA, V.G. Avaliação da contribuição de coberturas verdes no desempenho térmico e controle de escoamento superficial de água pluvial. Relatório final de auxílio a pesquisa regular. Processo # 2008/01818-9. Abril 2012. (circulação restrita).

TEEMUSK, A.; MANDER, U. Rainwater runoff quantity and quality performance from a green roof: the effect of short-term events. **Ecological Engineering**, v. 30, p. 271-277, 2007.

USEPA. **Guidelines for water reuse**. Washington, D. C. EPA/625/R-04/108. 2009.

VOLPATO, G; BARRETO, R. **Estatística sem dor!!! Best Writing**, Botucatu. 2011. 64p.

## AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem à CAPES e a à FAPESP pela viabilização da pesquisa; e aos técnicos do Laboratório de Saneamento da FEC-UNICAMP e ao prof. Dr. Edson A. Nour pelo auxílio na realização dos ensaios e análise dos resultados obtidos.