

Análise comparativa da qualidade da água da chuva precipitada e coletada em coberturas em dois locais no Brasil e em Portugal

Alexandre Silveira^{1,†}

*Instituto de Ciência e Tecnologia, Universidade Federal de Alfenas UNIFAL-MG,
Poços de Caldas, Minas Gerais, Brasil*

João L. M. P. de Lima², M. Isabel P. de Lima³

Departamento de Engenharia Civil, Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra, Coimbra, Portugal; MARE – Centro de Ciências do Mar e do Ambiente, Portugal

Gabrielly C. Oliveira e Silva,⁴ Bianca Ferrazzo Naspolini⁴

Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, Mato Grosso, Brasil

RESUMO

O aproveitamento da água da chuva, nomeadamente para fins não potáveis, sendo uma forma milenar de utilização de água pelo homem, é atualmente uma importante alternativa para reduzir o consumo de água de abastecimento público. O uso de água da chuva para fins não potáveis torna-se viável na medida em que a qualidade da água requerida não necessita de atender a padrões de potabilidade. Neste artigo avaliou-se a qualidade da água da chuva proveniente diretamente da atmosfera e após ter escoado sobre diferentes coberturas. O estudo refere-se a dois locais: Coimbra, em Portugal, e Cuiabá, no Brasil. São apresentados resultados obtidos em campanhas realizadas entre 2010 e 2015 que mostram que a turvação e a condutividade elétrica das águas de chuva sofrem um decaimento a partir do início da precipitação. Também se observou um aumento da condutividade e da turvação da água de chuva após a passagem pelas coberturas estudadas.

¹ Autor para correspondência (alexandre.silveira@unifal-mg.edu.br)

[†] Professor Associado

² Professor Catedrático

³ Professora Auxiliar

⁴ Aluna de Pós-Graduação

1. INTRODUÇÃO

O aproveitamento da água de chuva pode ser considerado uma importante fonte alternativa e/ou complementar aos sistemas públicos de abastecimento de água, nomeadamente para fins não potáveis. Através da utilização de água de chuva pode-se reduzir o suprimento de água potável e, desta maneira, contribui-se para a preservação e conservação dos recursos hídricos. Visa-se, deste modo, o uso racional dos recursos hídricos, com a preocupação de alocar água com qualidade compatível com a sua utilização.

Em Portugal e no Brasil existem alguns instrumentos legais para regular o uso dos recursos hídricos e, especificamente, o aproveitamento de águas pluviais. Para Portugal destacam-se a Diretiva Quadro da Água, o Programa Nacional para o Uso Eficiente da Água APA@ (2014), a Resolução de Conselho de Ministros nº 113/2005. Em 2009, a Associação Nacional para a Qualidade das Instalações Prediais desenvolveu especificações, o que representou uma evolução em Portugal ao nível do enquadramento e normalização técnica em matéria de aproveitamento da água pluvial, ETA 0701 (2012) e ETA 0702 (2012). A DGC – Direção-Geral do Consumidor também contribuiu propondo a implementação de sistemas independentes de distribuição (potável e não potável) e a criação de normas obrigatórias para a recolha e armazenamento de águas pluviais em edifícios e urbanizações. A lei brasileira mais importante relacionada com os Recursos Hídricos é a Política Nacional de Recursos Hídricos (BRASIL, 1997). Em algumas localidades há legislação específica como, por exemplo, em municípios dos Estados do Paraná, São Paulo e Rio de Janeiro. No município de Curitiba foi criado o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE - que tem como objetivo instituir medidas visando induzir à conservação, uso racional e utilização de fontes alternativas para captação de água nas novas edificações (CURITIBA, 2003). Na maior cidade da América Latina, São Paulo, a lei Nº. 13.276 de 04/01/02 torna obrigatória a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m². A lei estabelece que a água captada deve preferencialmente ser infiltrada no solo, podendo ser direcionada para a rede de drenagem após uma hora do término da chuva ou ainda ser utilizada para fins não potáveis (SÃO PAULO, 2002). No Estado do Rio de Janeiro as empresas projetistas e de construção civil estão obrigadas a prover os imóveis residenciais e comerciais de dispositivos para captação de águas da chuva (RIO DE JANEIRO, 2004). Sem poder legislativo e sim como indicação normativa, a referência nacional brasileira é a NBR 15527/2007, uma norma técnica que fornece os requisitos qualitativos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas, para fins não potáveis (ABNT, 2007).

Apesar de décadas de pesquisa, a natureza da crise global de água doce ainda é mal-definida e caracterizada, e torna-se difícil priorizar e conceber soluções úteis para enfrentá-la (Srinivasan *et al.*, 2012). Em alguns países o desenvolvimento de medidas para utilizar água da chuva tornou-se urgente, porque a disponibilidade de água será significativamente reduzida no curto ou médio prazo (Silva-Afonso & Pimentel-Rodrigues, 2011).

Apesar das várias referências legislativas citadas anteriormente, são poucos os estudos e dados recolhidos para caracterizar, *in situ*, a qualidade da água de chuva para fins não potáveis, tanto no Brasil como em Portugal (e.g. Vieira-Filho *et al.* 2015, Hoinaski *et al.* 2014, Santos *et al.* 2011). Por isso, o objetivo deste trabalho foi investigar a qualidade da água através de resultados quantitativos de campanha de medições de curta duração, dando ênfase ao efeito da variação da qualidade da água de chuva no início e no final da precipitação e nas instalações utilizadas nos dois locais. Fez-se uma análise comparativa de estudos efetuados em dois locais, um no Brasil e outro em Portugal, claramente distintos em termos climáticos e socioeconómicos. O objetivo último é incentivar a utilização de água de chuva para fins não potáveis.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1. Localização das experiências de campo

As experiências foram realizadas nas cidades de Coimbra (40°11'08.1"N; 8°24'56.0"W) e Cuiabá (15°36'33.1"S; 56°03'42.9"W), uma localizada no hemisfério norte, outra no hemisfério sul. A Figura 1 apresenta um mapa com a localização destas cidades em Portugal e no Brasil.



Figura 1 – Locais de amostragem em Portugal e no Brasil (sem escala)

A cidade de Coimbra está localizada na região Centro de Portugal; apresenta um clima mediterrânico com verões secos e quentes (*e.g.*, de Lima *et al.*, 2010a, 2010b e 2013). A precipitação média anual durante o período de amostragem foi de 959.5 mm (Sousa, 2015). Cuiabá localiza-se no Estado de Mato Grosso, região Centro-Oeste do Brasil. Possui clima tropical e húmido com temperatura média anual de 26°C. A precipitação média anual durante o período de amostragem foi de 1570.8 mm (Silva, 2010a). A distribuição da precipitação média mensal nos dois locais, embora difiram nos totais, é semelhante e concentrada nos meses entre novembro e fevereiro (inverno no hemisfério norte e verão no hemisfério sul), conforme mostra a Figura 2.

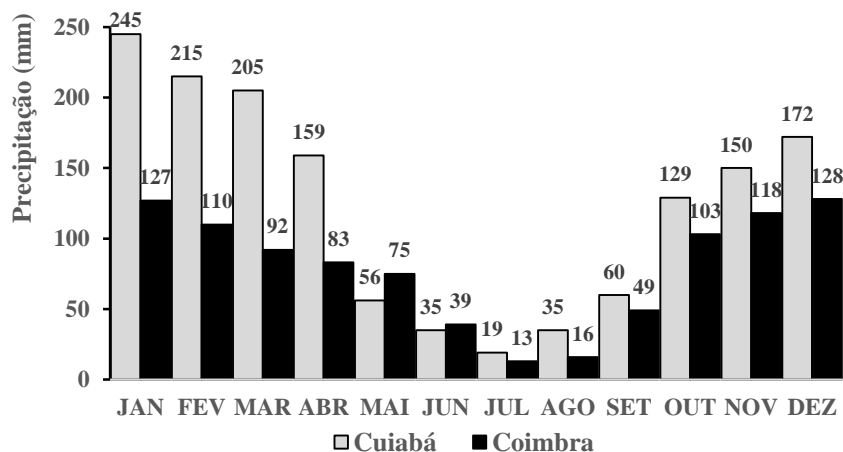


Figura 2 – Precipitação média mensal em Coimbra (1941-2012) e em Cuiabá (1989 – 2008)

2.2. Amostradores da água da chuva

Os amostradores usados nos dois locais permitem amostrar sequencialmente a água da chuva para análise de eventuais variações temporais na composição da água, ao longo do evento pluvioso. Foram coletadas amostras nos 10 mm iniciais de cada evento de precipitação. Para o caso de Coimbra, a recolha de amostras foi efetuada através da utilização de um amostrador sequencial de água da chuva, com área de 0.1 m^2 , em que os dois primeiros frascos de 50 mL de amostra permitem a recolha do primeiro milímetro de chuva (0.5 mm cada) e os seguintes 9 frascos, com capacidade de 100 mL, permitem a recolha de 1 mm cada. O amostrador de Cuiabá é composto por bacias plásticas com área de captação de 0.17 m^2 , de onde a água captada é conduzida por mangueiras em direção ao 1º frasco de amostra no qual são coletados os 5 mm iniciais da chuva. Depois de atingido esse volume, uma bóia fecha a entrada neste frasco, e a água é encaminhada a um 2º frasco para a amostra dos 5 mm de chuva subsequentes. A Figura 3 apresenta o esquema experimental e as fotografias dos amostradores.

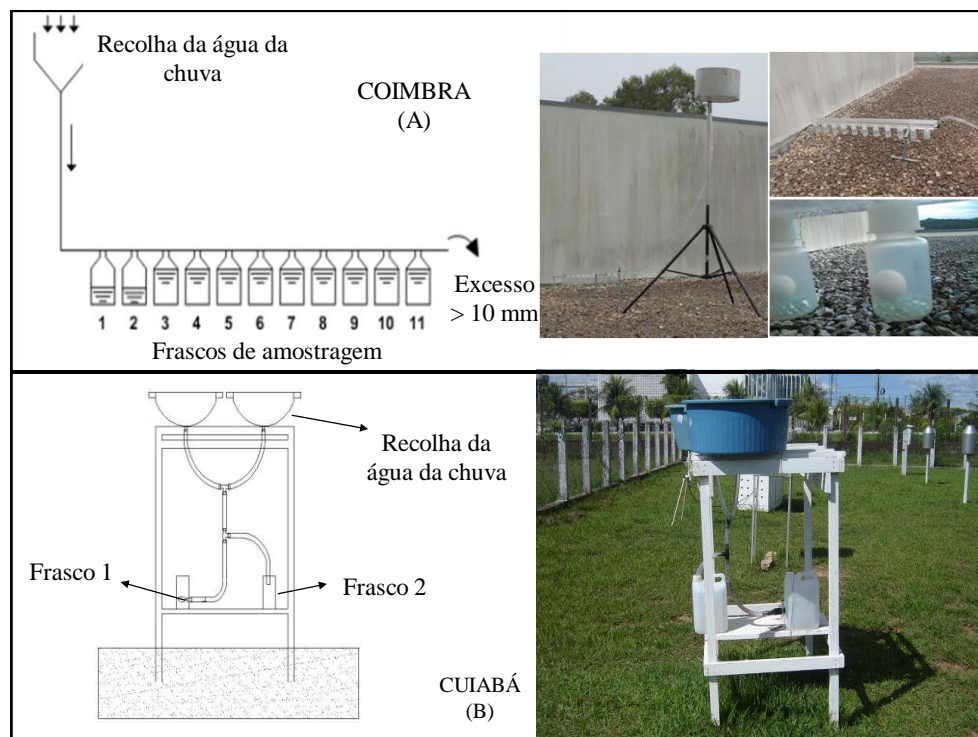


Figura 3 – Amostradores de água de chuva em (A) Coimbra (Carvalho *et al.* 2014) e em (B) Cuiabá (Silva, 2010a, e Silva, 2010b)

2.3. Coleta de água das coberturas

Com vista à recolha da água escoada pelas superfícies de captação, procedeu-se à conceção e colocação das instalações experimentais para caracterização da sua qualidade.

Na instalação de Coimbra, as águas de chuva foram coletadas após a passagem por parte da cobertura do Departamento de Engenharia Civil, plana, revestida por uma camada de gravilha colocada em cima de uma camada de geotêxtil agulhado, seguindo-se uma camada de *roofmate* (poliestireno extrudido) com espessura de 40 mm, uma segunda camada de geotêxtil e a tela impermeabilizante. A Figura 4 apresenta o esquema da coleta e uma fotografia da instalação experimental. A instalação consiste essencialmente num conjunto de três reservatórios, que recebem a água drenada da cobertura. A existência dos vários

reservatórios destina-se a fazer o estudo da qualidade da água drenada, nomeadamente numa primeira fase do escoamento, no sentido de avaliar a necessidade de rejeição das primeiras águas drenadas. A água escoada decorrente do evento de precipitação é recebida pelo reservatório retangular com ligação a um reservatório cilíndrico (reservatório 1) preparado para recolher e armazenar os primeiros 0.8 mm. O reservatório 1 contém um flutuador que veda a entrada de água neste reservatório, quando cheio, passando a recolha da água escoada a processar-se no reservatório retangular - reservatório 2 - com capacidade de armazenamento dos 3.3 mm seguintes. Foram analisadas as águas coletadas no reservatório 1 e no reservatório 2 (Figura 4).

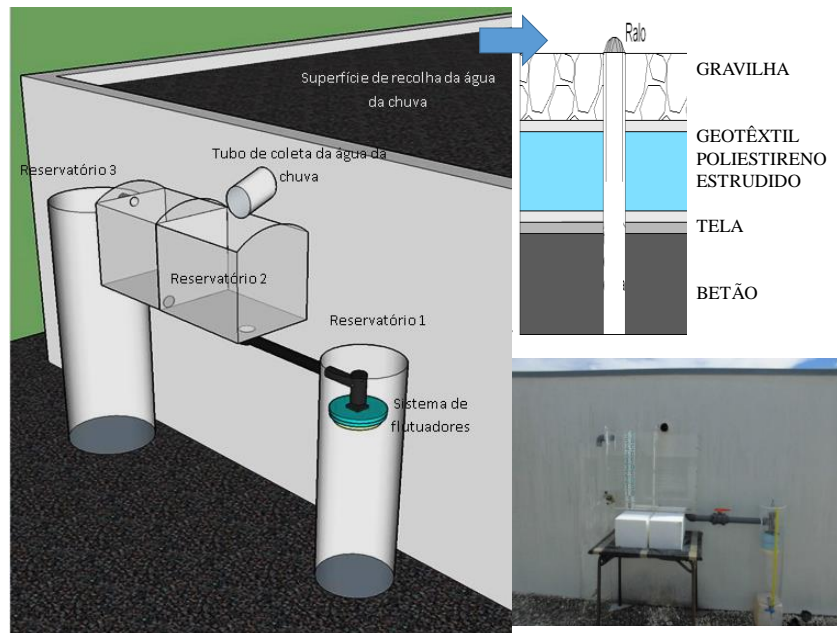


Figura 4 – Esquema e instalação experimental de Coimbra (Sousa, 2015)

Em Cuiabá o sistema é composto por três módulos independentes de coleta de materiais diferentes utilizados na cobertura, telhado metálico, telhado de fibrocimento e telhado cerâmico. A área de cada módulo é de 4 m². A Figura 5 apresenta a montagem experimental. O sistema é composto por calceiras e tubagens que tem por função conduzir a água, após passagem pela cobertura, até ao reservatório. A condução da água de chuva é realizada de maneira isolada para cada tipo de cobertura; os reservatórios são igualmente independentes. Para cada tipo de cobertura a água foi coletada em dois reservatórios, após a passagem pela cobertura: um reservatório referente aos 0.4 mm iniciais e no outro referente ao restante da precipitação.



Módulos experimentais



Detalhe da coleta após a passagem pelo telhado

Figura 5 – Cobertura metálica, de fibrocimento e cerâmica utilizada para coleta de água de chuva, em Cuiabá

2.4. Procedimento experimental

Os procedimentos experimentais, assim como os equipamentos de coleta, não foram delineados conjuntamente em ambos sítios e, portanto, possuem algumas diferenças entre si.

2.4.1. Em Coimbra

Para a coleta de amostras diretas da atmosfera, o equipamento foi lavado com água destilada e instalado no local de estudo (i.e., na cobertura plana) momentos antes do início do evento pluvioso. Procedeu-se à captação dos 10 primeiros milímetros de cinco eventos de precipitação ocorridos entre setembro de 2011 e outubro de 2014, totalizando 11 amostras de água da chuva, para cada evento. Para fins de comparação dos parâmetros de qualidade com o outro local de estudo, foram calculados os valores médios dos primeiros 5 mm e dos 5 mm subsequentes. Em todas as coletas houve um período mínimo de 4 dias sem chuva antecedente, conforme indica a ETA 0701.

Para a avaliação qualitativa da água escoada pela cobertura foram recolhidas e posteriormente selecionadas amostras respeitantes a 6 eventos de precipitação ocorridos entre julho e novembro de 2014 (Sousa, 2015). As amostras relativas aos primeiros milímetros de escoamento foram recolhidas através do esvaziamento do reservatório 1. Toda a água armazenada foi transferida para uma bacia de plástico (previamente limpa), onde se procedeu à homogeneização da água e posteriormente à recolha da amostra, obedecendo-se a todos os cuidados de assepsia e evitando-se contaminações pelo ar. As amostras relativas às restantes quantidades de escoamento foram recolhidas diretamente do reservatório 2, após homogeneização da água e a pelo menos 0.20 m abaixo da superfície da água. Entre cada evento, para impedir a influência de resíduos de anteriores chuvadas, procedeu-se à lavagem dos reservatórios com água destilada.

A medição dos parâmetros turvação, pH e condutividade elétrica foi realizada com os equipamentos portáteis, fabricados pela Hanna Instruments: medidor da turvação HI93125, medidor pH e temperatura HI8314 e medidor multi-gama de condutividade elétrica HI8033. Estes parâmetros foram medidos no local imediatamente após a recolha de amostras, após o fim do evento de precipitação.

2.4.2. Em Cuiabá

Na coleta de amostras diretas da atmosfera, o equipamento coletor foi esvaziado de maneira manual, após cada evento de precipitação, para que não se tivessem interferências de resíduos nas amostras coletadas. Foram coletadas 36 amostras da atmosfera durante o período de outubro de 2008 a março de 2010 e 5 amostras após a passagem pela cobertura, entre janeiro e março de 2010. A medição dos parâmetros turvação, pH e condutividade elétrica foi realizada utilizando os seguintes equipamentos: Turbidímetro / Polilab / AP-1000 e o medidor multiparâmetro HQ 40 d – Hach.

3. RESULTADOS

3.1. Águas da chuva

Os amostradores sequenciais utilizados nos dois locais permitiram obter amostras de água da chuva proveniente da atmosfera ao longo do tempo, durante eventos pluviosos.

A Figura 6 apresenta a comparação dos resultados obtidos em Coimbra e Cuiabá para

os parâmetros pH, condutividade elétrica e turvação medidos nos 5 mm iniciais dos eventos pluviosos amostrados e nos segundos 5 mm desses eventos. A reta com declive de 1:1 permite perceber melhor a evolução verificada durante os eventos.

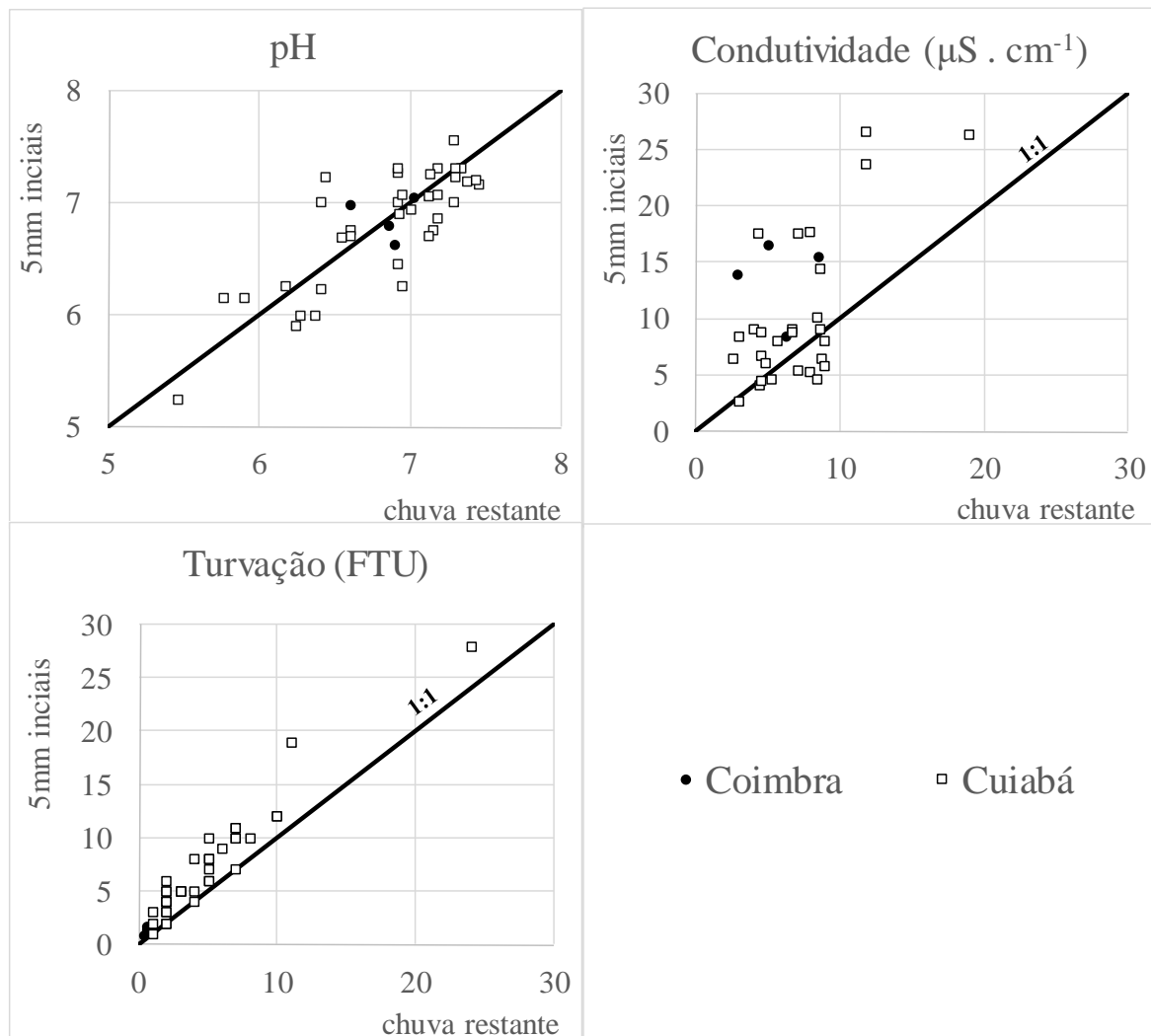


Figura 7 – Comparação da qualidade da água da chuva no início (5mm iniciais) e no final (chuva restante) do evento pluvioso: pH, condutividade elétrica e turvação

As águas de chuva de Coimbra apresentam valores médios de pH de 6.86 e 6.85 para a chuva inicial e final, respectivamente, enquanto os valores médios de pH encontrados para Cuiabá, foram 6.78 (inicial) e 6.82 (final). Santos *et al.*, 2011 obteve valores de pH entre 4.48 e 6.88, em amostras de água de chuva em Aveiro. Não se observa uma variação evidente significativa de pH entre amostras do início e do restante da precipitação. A condutividade elétrica média observada nos dois sítios é bastante próxima e parte das amostras evidencia uma queda em relação aos 5 mm iniciais. A condutividade encontrada neste trabalho, para ambos os sítios, é menor que as observadas por Santos *et al.*, 2011 (valores entre 13.2 e 24.6 $\mu\text{S} \cdot \text{cm}^{-1}$). A turvação média das amostras do início da precipitação de Coimbra, 1.27 FTU, é muito inferior aos valores médios de Cuiabá, 7.22 FTU. O material particulado presente na atmosfera de Cuiabá, oriundo de inúmeros incêndios florestais inclusive da Floresta Amazônica, pode ser a causa desta diferença. Observa-se o decaimento da turvação, em ambos os locais, em média, de 50.0% para Coimbra e de 31.5% para Cuiabá.

3.2. Águas coletadas das coberturas

As águas de chuva coletadas após a passagem pelas superfícies foram analisadas comparando-se os valores de três parâmetros (pH, condutividade elétrica e turvação) para o escoamento inicial e final pelas coberturas, para Coimbra e Cuiabá. A Figura 8 apresenta os resultados. A reta com declive 1:1 permite a comparação entre as características da água de escoamento inicial (0.8 mm para Coimbra e 0.4 mm para Cuiabá) e o restante do escoamento, para cada parâmetro.

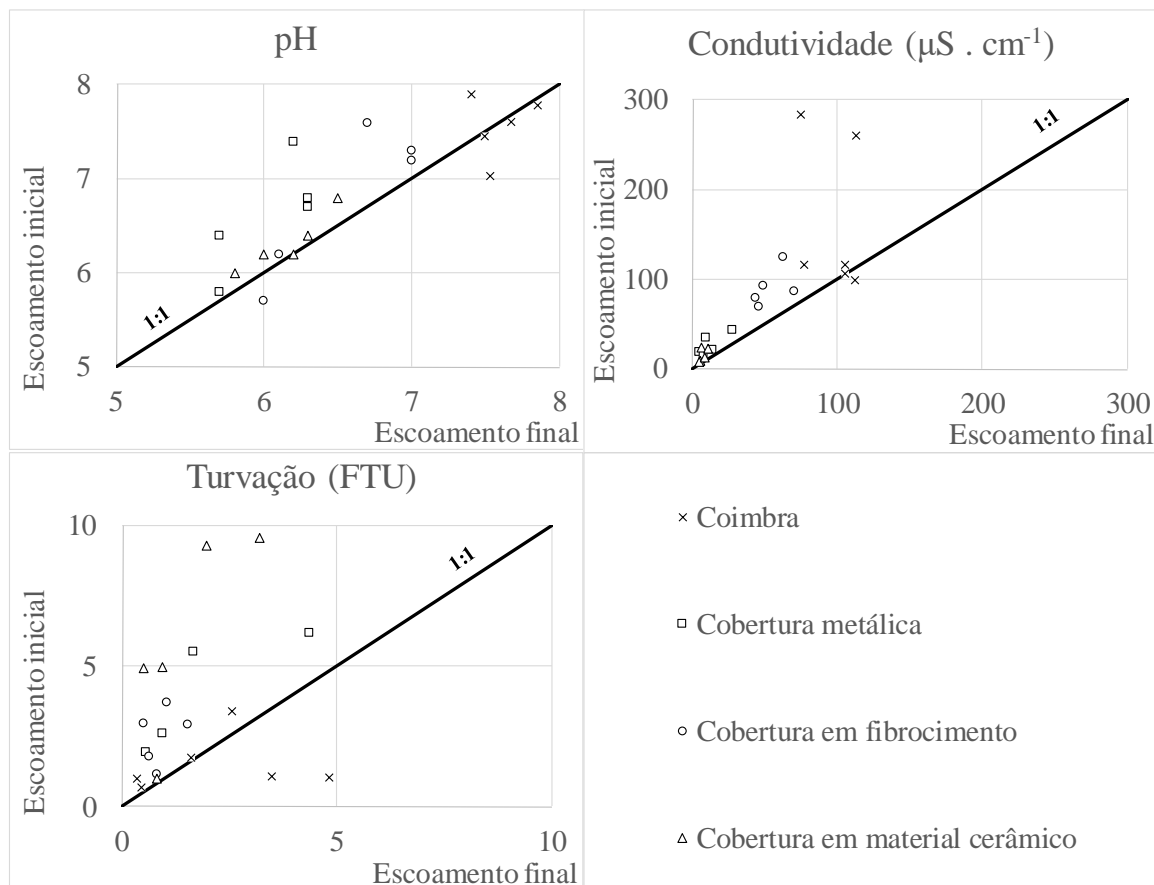


Figura 8 – Comparação da qualidade do escoamento da água da chuva no início e no final do evento pluvioso após a passagem pelas coberturas: pH, condutividade elétrica e turvação

Pode ser observado que o pH da água da chuva final sofreu leve aumento, se comparado com o pH da chuva inicial, após a passagem pelas coberturas, em especial para a cobertura metálica. Observa-se que as águas coletadas pelas coberturas são tipicamente alcalinas em Coimbra e ácidas em Cuiabá.

A condutividade elétrica da água coletada pelas coberturas aumenta em ambos os locais, comparando-se os valores absolutos das Figuras 7 e 8. A condutividade das águas de chuva de Coimbra apresentou valores absolutos bem superiores aos valores de Cuiabá. Ainda pode ser destacado o facto da redução de até 73% da condutividade da água da chuva final em Coimbra, se comparada com a condutividade da chuva inicial, após a passagem pela cobertura.

A turvação da água de chuva após a passagem pelas coberturas não foi alterada quando comparada com a turvação da água de chuva direta da atmosfera. Após a passagem pelas coberturas, nos dois locais de estudo, a turvação observada foi menor para a chuva final com exceção de 2 amostras de Coimbra.

4. CONCLUSÕES

Estudou-se a qualidade da água da chuva precipitada e coletada em coberturas, em dois locais, no Brasil e em Portugal, em campanhas curtas, com amostras de somente três parâmetros de qualidade, no início e no final da precipitação. O decaimento observado dos parâmetros condutividade e turvação, para ambos os locais, em relação aos primeiros milímetros de chuva, tanto para água proveniente diretamente da atmosfera como para a água coletada pelas diferentes coberturas, evidenciam a alteração qualitativa da água da chuva no decorrer do tempo. A amostragem temporal é necessária nos estudos de qualidade de água de chuva para quantificar o volume inicial de água da chuva que não deve ser utilizado, por razões de segurança.

A passagem da água de chuva pelas coberturas provoca um aumento da condutividade e da turvação da chuva e indica o potencial de contaminação das coberturas.

Características específicas de cada local, associados aos regimes pluviométricos, aos focos de poluição existentes e aos diferentes tipos de materiais utilizados nas coberturas localmente obrigam a estudos específicos da qualidade da água coletada com vista à sua possível utilização para fins não potáveis.

5. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi apoiado pelo projeto PTDC/ECM-HID/4259/2014 da Fundação para a Ciência e a Tecnologia (FCT), Lisboa, Portugal e pelo projeto 484294/2007-5 do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) do Brasil.

A preparação da instalação laboratorial para estudo do aproveitamento da água da chuva, em Coimbra, e respetiva recolha de dados, foi realizada por Susana Sousa no Laboratório de Hidráulica, Recursos Hídricos e Ambiente do Departamento de Engenharia Civil da Faculdade de Ciências e Tecnologia da Universidade de Coimbra (Portugal), no âmbito da realização da sua dissertação de mestrado. O amostrador de água da chuva foi desenvolvido no âmbito dos trabalhos de doutoramento de Sílvia Carvalho, no mesmo Laboratório.

REFERÊNCIAS

ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – *NBR 15.527. Água de chuva - Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos*. Rio de Janeiro, Brasil (2007).

APA@. <http://www.apambiente.pt/>. *Agência Portuguesa do Ambiente (APA)* (página de internet oficial). Portugal (2014).

BRASIL. Lei Federal nº 9.433 de 8 de janeiro de 1997. *Política Nacional de Recursos Hídricos*. Brasília, Brasil (1997).

Carvalho, S. C. P., de Lima, J. L. M. P. and de Lima M. I. P. Rainwater sequential sampler: assessing intra-event water composition variability. *Journal of Engineering Research and Technology*, 1(1), 1-7. <http://journal.iugaza.edu.ps/index.php/JERT/article/view/26/11> (2014).

CURITIBA. Lei Estadual nº 10.785 de 18 de setembro de 2003. *Cria no Município de Curitiba, o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações – PURAE*.

Curitiba, Brasil (2003).

de Lima, M. I. P., Carvalho, S. C. P., and de Lima, J. L. M. P. Investigating annual and monthly trends in precipitation structure: an overview across Portugal, *Natural Hazards and Earth System Sciences.*, 10, 2429-2440, doi:10.5194/nhess-10-2429 (2010a).

de Lima, M. I. P., Carvalho, S. C. P., de Lima, J. L. M. P. and Coelho, M. F. E. S. Trends in precipitation: analysis of long annual and monthly time series from mainland Portugal, *Advances in Geosciences.*, 25, 155-160, doi:10.5194/adgeo-25-155 (2010b).

de Lima, M. I. P., Santo, F. E., Ramos, A. M. and de Lima, J. L. M. P. Recent changes in daily precipitation and surface air temperature extremes in mainland Portugal, in the period 1941-2007. *Atmospheric Research*, 127, 195–209 (2013).

ETA 0701. Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP). *Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais em edifícios (SAAP). Especificação Técnica.* Portugal (2012).

ETA 0702. Associação Nacional para a Qualidade nas Instalações Prediais (ANQIP). *Certificação de Sistemas de Aproveitamento de Águas Pluviais. Especificação Técnica.* Portugal (2012).

Hoinaski, L., Franco, D., Hass, R., Martins, R. F., Lisboa, H. M. Investigation of rainwater contamination sources in the southern part of Brazil. *Environmental Technology*, 35(5-8), pp.868–81 (2016).

RIO DE JANEIRO. Lei Nº 4.39 de 16 de Setembro de 2004. *Dispõe sobre a obrigatoriedade das empresas projetistas e de construção civil a prover os imóveis residenciais e comerciais de dispositivo para captação de águas da chuva.* Rio de Janeiro, Brasil (2004).

Santos, P. S. M., Otero, M., Santos, E. B. H., Duarte, A. C. Chemical composition of rainwater at a coastal town on the southwest of Europe: What changes in 20 years? *Science of the Total Environment*, 409(18), pp.3548–3553 (2011).

SÃO PAULO. Lei municipal n.º 13.276, de 4 de janeiro de 2002. *Torna obrigatório a execução de reservatório para as águas coletadas por coberturas e pavimentos nos lotes, edificados ou não, que tenham área impermeabilizada superior a 500 m².* Diário Oficial do Município, São Paulo, Brasil (2002).

Silva, G. C. O., *Qualidade da água de chuva no município de Cuiabá e seu potencial para o aproveitamento em usos não potáveis nas edificações.* Dissertação de Mestrado em Recursos Hídricos, Universidade Federal de Mato Grosso, Brasil (2010a).

Silva, G. C. O., Naspolini, B. F. e Silveira, A. Comparação da qualidade da água de chuva no início e no final da precipitação, análise em Cuiabá, Mato Grosso, Brasil. In: *14º Simpósio Luso-Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, Porto, Portugal (2010b).

Silva-Afonso, A. e Pimentel-Rodrigues, C. *The importance of water efficiency in buildings in Mediterranean countries. The Portuguese experience.* International Journal of Systems Applications, Engineering & Development. Issue 1, Volume 5 (2011).

Sousa, S. B. D., *Aproveitamento da água da chuva para fins não potáveis em zonas urbanas: estudo exploratório no Pólo II da Universidade de Coimbra.* Dissertação Mestrado em Engenharia do Ambiente na Especialidade de Território e Gestão do Ambiente. Universidade de Coimbra, Portugal (2015).

Srinivasan, V., Lambin, E. F., Gorelick, S. M., Thompson, B. H. and Rozelle, S. The nature and causes of the global water crisis: Syndromes from a meta-analysis of coupled human-water studies, *Water Resources Research*, 48, W10516, doi:10.1029/2011WR011087 (2012).

Vieira-Filho, M.S., Lehmann, C. & Fornaro, A., Influence of local sources and topography on air quality and rainwater composition in Cubatão and São Paulo, Brazil. *Atmospheric Environment*, 101, pp.200–208 (2015).