

Avaliação quantitativa e qualitativa do emprego de paredes como nova perspectiva para captação de água de chuva

Quantitative and qualitative evaluation of the use of walls as a new perspective of rainwater harvesting

Thais Tonelli Marangoni^{1*} , Jefferson Nascimento de Oliveira¹ , Marcelo Libânio² 

RESUMO

A poluição dos mananciais de abastecimento e a necessidade de se buscar água, cada vez mais distante, agregam à água tratada alto valor monetário, sendo a captação e a utilização da água de chuva uma forma de reduzir custos. Nos grandes centros urbanos, ocorre a formação de ilhas de calor, as quais favorecem a ocorrência de chuvas convectivas dotadas de ventos. Além disso, houve a verticalização das edificações, resultando em área lateral maior, se comparada com a do telhado, tornando a captação de água pluvial em paredes uma alternativa promissora. O objetivo deste trabalho foi verificar a quantidade e a qualidade da água captada em uma parede de vidro e outra de argamassa pintada na cidade de Ilha Solteira, São Paulo. A média de incidência da chuva foi de 48,7% na parede de vidro e 33,3% na de argamassa pintada, tendo cada anteparo uma eficiência de captação média de 16,21 e 8,27%, respectivamente. Os parâmetros de qualidade da água (pH, turbidez, condutividade elétrica e alcalinidade) apresentaram diminuição com o passar dos milímetros escoados. A água proveniente na parede de vidro não necessita de volume de descarte, de acordo com a Norma Brasileira (NBR) nº 15527/07. Não foi encontrada relação entre a intensidade da chuva e a qualidade da água, bem como com a eficiência de captação. Porém, quando ocorreram precipitações em dias consecutivos a qualidade da água foi superior, confrontada com a ocorrência de períodos secos.

Palavras-chave: água de chuva; captação de água de chuva em paredes; superfície de coleta; *first-flush*.

ABSTRACT

The pollution of water supply sources and the need to seek water, which is increasingly distant, adds to the treated water a high monetary value, so the capture and use of rainwater represents a way to reduce costs. In large urban centers, the formation of heat islands takes place, which favors the occurrence of convective rains with winds. Furthermore, the buildings were verticalized, resulting in a larger lateral area compared to that of the roof, making the rainwater-harvesting in walls a promising alternative. The aim of this work was to verify the quantity and quality of the water collected on a glass wall and another concrete wall in the city of Ilha Solteira, São Paulo, Brazil. The average rainfall incidence was of 48.7% in the glass wall and of 33.3% in the concrete wall, with each screen having an average pickup efficiency of 16.21 and 8.27%, respectively. The parameters of water quality (pH, turbidity, electrical conductivity and alkalinity) presented a decrease with the passing of millimeters drained. Water from the glass wall requires no volume of waste according to NBR 15.527/07. No relation was found between rainfall intensity and water quality, as well as catchment efficiency. However, when rainfall occurred on consecutive days, the water quality was higher when compared to its occurrence in dry periods.

Keywords: rainwater; rainwater collection on walls; collecting surface; first-flush.

INTRODUÇÃO E RELEVÂNCIA

A captação de água de chuva, como fonte alternativa de abastecimento em áreas urbanas, abrange aspectos sociais e econômicos relacionados à diminuição da demanda de água e do dispêndio de energia elétrica pelas concessionárias, à redução da afluência de águas pluviais ao sistema de drenagem e dos impactos da poluição difusa nos corpos hídricos.

A coleta e o armazenamento de água proveniente de telhados são uma técnica amplamente estudada. Várias metodologias e modelos foram desenvolvidos para quantificar o potencial de captação do telhado (ALADENOLA; ADEBOYE, 2010; ISHAKU; MAJID; JOHAR, 2012), os critérios de seleção, a relação custo/benefício (KHASTAGIR; JAYASURIYA, 2011), o dimensionamento de reservatórios (GHISI,

¹Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" - Ilha Solteira (SP), Brasil.

²Universidade Federal de Minas Gerais - Belo Horizonte (MG), Brasil.

*Autor correspondente: tha_marangoni@hotmail.com

Recebido: 03/08/2017 - Aceito: 08/05/2018 - Reg. ABES: 183007

2010; GHISI; SCHONDERMARK, 2013), os impactos na saúde dos consumidores (HEYWORTH *et al.*, 2006; MARCYNUK *et al.*, 2009; STEWART *et al.*, 2016) e o desempenho em geral (SINGH *et al.*, 2013).

Os estudos recentes indicam crescimento de tempestades de curta duração — menores que um dia —, as quais são as propulsoras do aumento, da frequência e da magnitude de inundações nas áreas urbanas em países como Reino Unido, Índia e Itália (WESTRA *et al.*, 2014; Jones *et al.*, 2013; VITTAL, KARMAKAR; GHOSH, 2013; PIERI; RONDINI; VENTURA, 2017).

No Brasil, Dias *et al.* (2013) concluíram, analisando os dados do posto pluviométrico operado pelo Instituto de Astronomia, Geofísica e Ciências Atmosféricas da Universidade de São Paulo (IAG/USP), entre os anos de 1932 e 2010, na cidade de São Paulo, que houve aumento da precipitação média anual e modificação no seu padrão. Os autores também verificaram crescimento no número de ocorrências de eventos de tempestade no inverno, no outono e na primavera — estações mais secas para a região. Tais tempestades são geralmente acompanhadas por rajadas de vento, que lançam quantidades significativas de água contra as paredes das edificações.

Chuva dirigida é definida como a chuva carregada pelo vento e que apresenta componente horizontal de velocidade. A magnitude do vetor da chuva dirigida é dada pela intensidade e a direção é a mesma do vento (BLOCKEN; DEROME; CARMELIET, 2013). Diversos estudos procuraram quantificar a chuva incidente em uma construção (GIONCO, 2014; POYASTRO, 2011; HÖGBERG; KRAGH; VAN MOOK, 1999; BLOCKEN; CARMELIET, 2000; LIMA; MORELLI, 2005; CHAND; BHARGAVA, 2002; VAN MOOK, 2002) utilizando métodos empíricos, semiempíricos e computacionais. Poyastro (2011) e Blocken, Derome e Carmeliet (2013) relataram que quanto maior o ângulo de queda da chuva dirigida, maior é a possibilidade da captação da água pela fachada da edificação.

Segundo Blocken, Derome e Carmeliet (2013), a incidência da chuva dirigida nas edificações é dada por diversos fatores: geometria urbana, dos edifícios e da fachada; posição da fachada do edifício; variáveis meteorológicas, como velocidade e direção do vento; intensidade e distribuição do tamanho da gota de chuva. A complexa interação desses parâmetros determina os diferentes padrões de chuva dirigida às fachadas das edificações.

Lima e Morelli (2005) construíram o primeiro mapa de chuva dirigida para o Brasil, utilizando o conceito índice de chuva dirigida, o qual relaciona os dados de vento e a precipitação acumulada, obtidos em estações meteorológicas convencionais. A maioria da área do país foi classificada com grau de exposição alto ou severo, limitando os locais protegidos em parte do Amazonas e do Mato Grosso.

A NBR nº 10844/89, aplicada em drenagem de águas pluviais de terraços, pátios, quintais e similares, recomenda que no cálculo da vazão para dimensionamento da drenagem pluvial seja considerada a água

da chuva interceptada pela parede, sugerindo, portanto, que a chuva não incide perpendicularmente ao chão (ABNT, 1989).

A relevância da perspectiva da captação de água de chuva, além dos aspectos sociais e econômicos mencionados, prende-se à significativa verticalização dos centros urbanos em muitas regiões do país, resultando em área lateral da edificação superior à própria área do telhado. Nesse contexto, o objetivo deste trabalho foi avaliar o potencial de captação de água pluvial nas paredes das edificações, de forma a verificar se há a possibilidade de ela ser utilizada para fins não potáveis.

MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi desenvolvido na cidade de Ilha Solteira, na região noroeste de São Paulo. O clima é classificado como tropical (Aw), de acordo com a classificação de Köppen (1948), com temperaturas elevadas. As precipitações ocorrem no período de outubro a março, respondendo, em média, por 70% do volume anual médio de 1.300 mm.

Para a captação da água da chuva em paredes foram utilizados revestimentos de vidro (P1) e de argamassa pintada (P2), em razão da predominância de uso nos prédios atuais, servindo como bons indicadores no nosso protótipo, tanto em relação à quantidade (coeficiente de escoamento superficial) quanto à qualidade (aderência de materiais que podem ser carreados).

A escolha da parede a ser utilizada no experimento deveria ter a maior incidência de ventos, para que um maior número de eventos pudesse ser coletado e analisado. Assim, a direção predominante do vento foi caracterizada para as estações de seca (abril a setembro) e chuvosa (outubro a março), por meio de análise de frequência das observações diárias da estação agrometeorológica automática, operada pela Área de Hidráulica e Irrigação da Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (Unesp)/Ilha Solteira, entre os anos de 2011 e 2015, utilizando-se a Equação 1.

$$f(x) = \frac{n \times 100}{N} \quad (1)$$

Em que:

$f(x)$ = a frequência de ocorrência do vento em uma determinada direção;

n = o número de ocorrências de uma determinada direção;

N = o número total de observações.

Os resultados apontaram que, para a estação chuvosa — de maior interesse no trabalho —, a direção Nordeste foi a predominante, com frequência média de 29,4%. Na estação seca, a direção predominante foi a Leste, com frequência média de 33,5%. A parede com direções mais próximas às desejadas no *campus* da Unesp foi a do Núcleo de Ensino e Pesquisa de Alvenaria Estrutural, sem obstáculo próximo (árvores e prédios), que possam interferir na incidência da chuva (Figura 1).

A parede de vidro teve de ser construída e, para isso, foi utilizada estrutura de alumínio de 1,20 m de base e 6,0 m de altura parafusada na parede, totalizando área de 7,20 m². Quatro vidros de 6 mm de espessura e dimensões 1,50 × 1,20 m foram colocados uns sobre os outros. Com a finalidade de facilitar a comparação entre os volumes captados nos dois revestimentos utilizados, foi considerada mesma área para a parede de argamassa pintada. Não foi feita delimitação lateral da área utilizada nesse revestimento. A coleta da água ocorria pela calha localizada na parte inferior da parede (mesmo comprimento da utilizada na parede de vidro) e, portanto, foi suposto que toda a água que incidisse na parede escorreria de forma vertical, sendo coletada. Foi considerada também a possibilidade de que ventos fortes poderiam fazer com que a água que escorria na parede saísse do limite que a calha pudesse coletar, mas a mesma quantidade de água seria empurrada para a área de coleta do outro lado.

Para a captação da água da parede foi instalada calha de 1,20 m de comprimento na parte inferior da parede, que direciona a água interceptada para o equipamento separador de *first-flush*. A calha foi construída com tubos de PVC, Φ 100 mm, cortados a aproximadamente 45°. Em uma das extremidades foi soldado um cap (Φ 100 mm) e na outra um joelho de 90° (Φ 100 mm). Para impedir que a água precipitada caísse diretamente sobre a calha, interferindo no resultado, foi colocada uma proteção sobre ela (Figura 2), evitando, também, entrada de sujeira.

O dispositivo separador construído para verificar o volume de limpeza da parede tem o mesmo princípio de funcionamento (vasos comunicantes) do proposto por Melo e Andrade Neto (2008) e utilizado por Hagemann e Gastaldini (2016). Ele possui cinco compartimentos separadores em série, capazes de armazenar 1 mm de chuva efetiva cada; para a área de parede utilizada no experimento (7,20 m²), é necessário o armazenamento de 7,2 L. Para isso, foram utilizados baldes de plásticos com tampa, com capacidade máxima de 20 L. Nestes, foram feitos furos

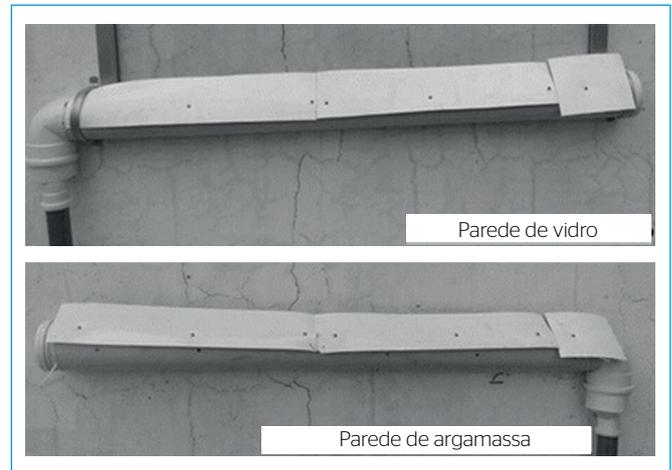


Figura 2 - Calha utilizada para a coleta.

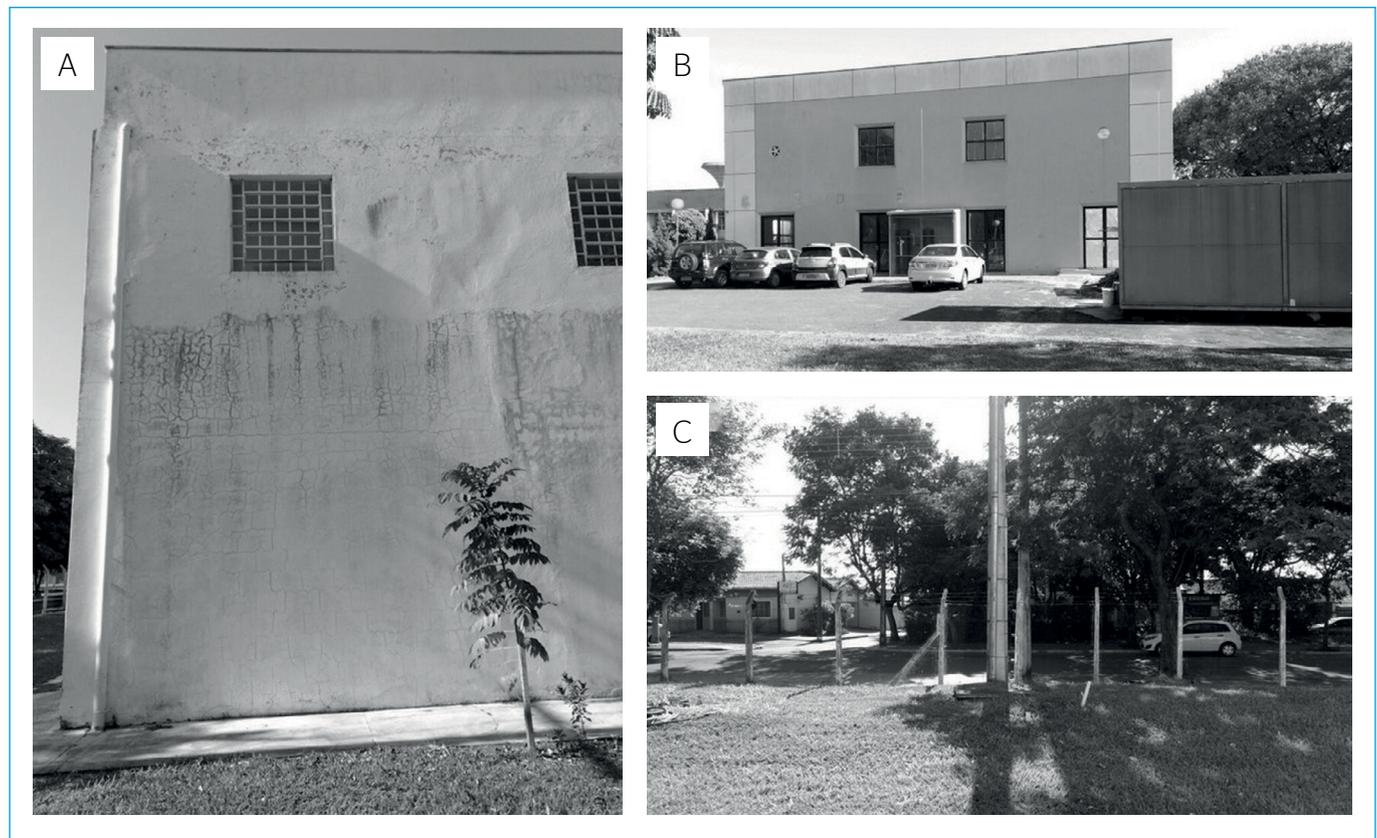


Figura 1 - (A) Condição da parede e região do estudo; (B) condição inicial da parede; (C) condição da frente da parede.

com diâmetro de 50 mm, para limitar o seu volume a 7,2 L; passados tubos de PVC (Φ 50 mm) pelos furos e conectados a um joelho com Φ 50 mm (Figura 3). A distância entre cada joelho é de 30 cm. O espaçamento utilizado é maior que o adotado por Melo e Andrade Neto (2008), que utilizaram 20 cm, mas não houve problemas em relação ao enchimento de um balde sem que o anterior estivesse completo, como era a preocupação dos autores na realização do amostrador.

Verificou-se a possibilidade de contaminação da água pelo material que constitui o balde. Foi realizado teste de qualidade da água, comparando os parâmetros de condutividade, turbidez e pH da água da torneira, e depois de ela permanecer 2,5 h dentro do balde tampado. Concluiu-se que o material é inerte, podendo ser utilizado no experimento.

Os dados de intensidade de chuva foram obtidos junto à estação do Laboratório de Hidrologia e Hidrometria e a velocidade e direção do vento na mencionada estação agrometeorológica automática, distante aproximadamente 1.300 m do local de análise.

A Figura 3 mostra a parede de vidro e argamassa pintada, as calhas e os baldes dos dispositivos separadores instalados. Os equipamentos foram testados quanto a sua estanqueidade antes de colocá-los em campo, para evitar problemas durante os eventos de chuva.

As chuvas que provavelmente incidiriam na parede seriam do tipo convectivas, com curta duração e alta intensidade. Assim, os eventos foram classificados de acordo com sua intensidade. Os intervalos adotados correspondem à divisão dada pelo National Meteorological Library and Archive, sendo fraca com intensidade inferior a 2,5 mm/h, média entre 2,5 e 10 mm/h, forte entre 10 e 50 mm/h e muito forte superior a 50 mm/h.

Também foram verificados os tempos de retorno das chuvas que incidiram na parede. Para isso, foi utilizada a Equação 2 de chuva

intensas da cidade de Andradina, localizada aproximadamente 75 km do município de estudo. Essa equação só é válida para duração (t) entre 10 e 1.440 min.

$$i_{t,T} = 34,5743(t+20)^{-0,9909} + 236906(t+10)^{-0,6699} \times [-0,4766 - 0,8977 \ln(\ln \frac{T}{T-1})] \quad (2)$$

Em que:

$i_{t,T}$ = a intensidade da chuva (mm/h) de duração t (min) e período de retorno T (anos).

As análises físico-químicas contemplaram pH, turbidez, condutividade e alcalinidade total de acordo com o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 2012). A coleta das amostras foi realizada após a finalização de cada evento de chuva, em recipientes de polietileno numerados. O volume coletado foi de 1,0 L e as análises realizadas com prazo máximo de 24 h após o evento, acondicionadas a temperatura de 3 a 10°C até o momento do ensaio.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Quantidade de água coletada

Foram analisados 39 eventos entre agosto de 2016 e fevereiro de 2017. Destes, 19 (48,7%) apresentaram escoamento superficial direto na parede de vidro, e 13 (36,1%), na de argamassa pintada. A diferença do número de eventos é explicada pela absorção da parede de argamassa pintada: neste material, o escoamento superficial direto só começa a ocorrer após algum tempo de precipitação, e tal fenômeno não ocorre na parede de

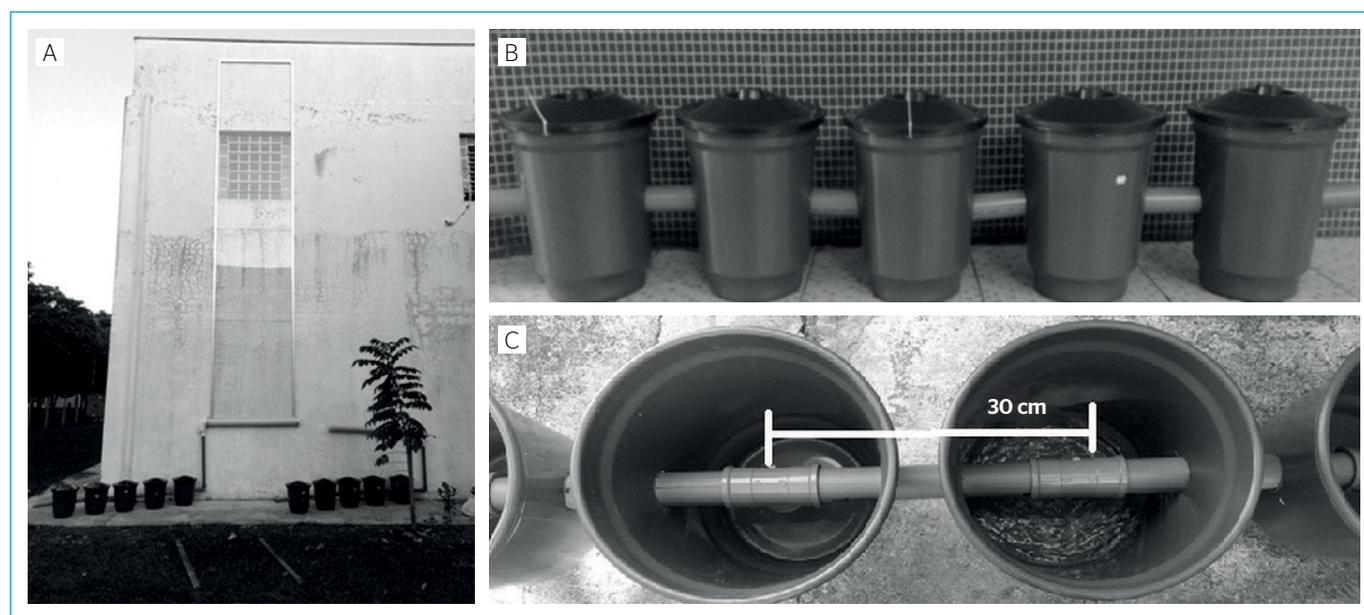


Figura 3 - (A) Equipamento instalado nas paredes; (B) detalhe dos baldes e altura dos tubos de PVC utilizados para limitar o volume; (C) vista superior do balde para coleta de água proveniente da parede.

vidro. Segundo os estudos realizados para a escolha do local de instalação das paredes, na estação chuvosa a incidência de chuva seria de 29,4%, pois esta seria a frequência de ventos na direção Nordeste. Dessa forma, a probabilidade de incidência foi acima do esperado.

A análise dos dados de intensidade de chuva mostrou que as chuvas com intensidade superior a 30 mm/h, em sua maioria, incidiram na parede, porém chuvas com menor intensidade também apresentaram escoamento nas paredes. Esse fato pode ser explicado pela direção e pela velocidade do vento. A maioria das chuvas incidentes nas paredes apresentava tempo de duração inferior a 40 min, indicativo de chuvas convectivas. Além disso, as chuvas que ocorreram durante o experimento têm tempo de retorno entre 2,3 e 4,7 anos, sendo que as com maior tempo de retorno incidiram na parede.

A eficiência de captação da parede é medida pela relação entre a quantidade de água precipitada e a captada nas paredes. Na Tabela 1, mostra-se o comportamento da P1 e da P2 para os eventos que resultaram em escoamento.

A significativa diferença entre as eficiências era esperada, uma vez que não há absorção de água pelo vidro, enquanto a argamassa pintada retém parte da água no início da precipitação e somente depois ocorre o escoamento.

Não foi observada relação direta entre a eficiência de captação da água pelas paredes e a intensidade da chuva. Chuvas muito fortes, como

a Chuva 2, apresentam menor eficiência comparada com a Chuva 15, que tem intensidade média.

As direções do vento mais frequentes nos eventos de chuva nas paredes foram, em ordem decrescente, Noroeste (36,3%), Nordeste (31,6%), Oeste (31,6%), Norte (26,3%), Sudeste (26,3%) e Leste (26,3%). O somatório é superior a 100%, pois em um mesmo evento de chuva ocorreu mais de uma direção de vento.

De posse dos dados de eficiência de captação em cada uma das paredes e do telhado, é possível estabelecer uma relação entre a área do telhado e a altura mínima necessária para que em um prédio a altura coletada do telhado seja igual a das paredes. Considerando os lados do prédio como *a* (menor lado) e *b* (maior lado), em metros, e sua altura *h* (m), tem-se que a altura coletada na parede (P_{cp}) é dada pela Equação 3, e a do telhado (P_{ct}), pela Equação 4.

$$P_{cp} = 2 \times h \times (a + b) \times \xi_p \tag{3}$$

$$P_{ct} = b \times a \times \xi_t \tag{4}$$

Em que:

ξ_p = a eficiência de captação das paredes (%);

ξ_t = a eficiência do telhado (%);

a = o menor lado do prédio (m);

Tabela 1 - Comparativo da eficiência obtido nas paredes.

Evento	Altura de precipitação (mm)	Altura coletada na parede de vidro (mm)	Eficiência da parede de vidro (%)	Altura coletada na parede de argamassa (mm)	Eficiência da parede de argamassa (%)	Razão entre as eficiências (parede de vidro/ parede de argamassa)
Chuva 1	96	2,92	30,38	2,15	22,42	0,74
Chuva 2	8,8	1,00	11,36	0,76	8,68	0,76
Chuva 3	26,5	4,24	15,99	3,89	14,68	0,92
Chuva 10	15,1	1,58	10,49	1,04	6,90	0,66
Chuva 12	6,0	0,23	3,79	0,15	2,45	0,65
Chuva 13	21,4	5,00	23,36	4,50	21,03	0,90
Chuva 15	4,1	1,00	32,26	0,35	11,20	0,35
Chuva 17	5,6	1,28	22,82	0,63	11,16	0,49
Chuva 19	9,7	2,12	21,89	1,15	11,89	0,54
Chuva 20	10,9	1,08	9,94	0,39	3,57	0,36
Chuva 21	34,3	5,00	14,58	5,00	14,58	-
Chuva 22	6,9	0,53	7,65	0,30	6,90	0,56
Chuva 26	20,8	2,13	10,22	0,23	2,23	0,11
Chuva 28	4,6	1,36	29,59	0,29	1,00	0,22
Chuva 34	10,0	0,43	4,30	0,00	0,00	0,00
Chuva 35	5,2	1,00	19,23	0,36	1,88	0,36
Chuva 39	12,9	1,00	7,75	0,00	0,00	0,00
		Média	16,21		8,27	0,48

b = o maior lado do prédio (m);

h = a altura do prédio (m);

P_{cp} = a altura coletada na parede (mm);

P_{ct} = a altura coletada no telhado (mm).

Sendo β a relação entre a altura e o menor lado, e α a relação entre os lados do prédio, têm-se a Equação 5 e a Equação 6:

$$P_{cp} = 2 \times \beta \times a^2 \times \xi_p \times (1 + \alpha) \quad (5)$$

$$P_{ct} = \alpha \times a^2 \times \xi_t \quad (6)$$

A altura crítica (h_{crit}) é a altura na qual a captação da parede passa a ser igual à do telhado. Portanto, podem-se igualar a Equação 5 e a Equação 6, obtendo-se a Equação 7.

$$h_{crit} = \frac{a}{2} \times \frac{\alpha}{1 + \alpha} \times \frac{\xi_t}{\xi_p} \quad (7)$$

Ressalta-se que o emprego de captação de água em paredes é apenas um adicional ao volume coletado em telhados, e se torna relevante, principalmente, em grandes centros urbanos que sofrem com a escassez em alguns períodos do ano e que as tempestades ocorrem com maior frequência.

Qualidade da água captada

A água da chuva coletada foi analisada comparando-a, pelo desconhecimento de outras pesquisas em relação à qualidade da água de paredes, à proveniente de telhados.

A Tabela 2 apresenta os valores do máximo, média com o desvio padrão e mínimo dos parâmetros de qualidade da água proveniente da parede de vidro e de argamassa pintada, para cada um dos 5 mm amostrados e os valores referência da NBR nº 15527/07. Em razão da complexidade das variáveis envolvidas na captação da água de chuva pelas paredes, não foi obtida grande gama de dados, principalmente no 3º, 4º e 5º mm, o que pode ser a causa de apresentarem baixa ou nenhuma variabilidade.

Na parede de vidro, a média da condutividade elétrica diminuiu até o 4º mm, tendo elevação no último mm amostrado. O pH apresenta elevação no 2º mm, mas está sempre na faixa de recomendação da NBR nº 15527/07. Apesar disso, há grande variabilidade dos dados no 1º e 2º mm. A turbidez, por sua vez, apresentou valores médios superiores ao descrito na mesma norma nos três primeiros milímetros, se enquadrando nos valores permitidos pela norma no 4º e 5º mm. Já a alcalinidade teve um decréscimo contínuo nos milímetros analisados.

A condutividade elétrica média — indicativo da concentração de sólidos dissolvidos — da parede de argamassa pintada apresentou

Tabela 2 - Valores dos parâmetros de qualidade obtidos na parede de vidro.

Parâmetro	Mm	Vidro			Argamassa pintada			NBR 15527/07	
		máx.	méd.	mín.	máx.	méd.	mín.		
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	1	66,77	15,95 \pm 15,68	4,95	96,4	62,1 \pm 15,91	36,6	-	-
	2	26,12	13,21 \pm 7,49	4,71	43,2	37,9 \pm 5,91	31,5	-	-
	3	20,47	13,68 \pm 7,69	5,57	43,1	36,4 \pm 6,58	30,0	-	-
	4	14,64	11,21 \pm 4,85	7,78	38,9	34,0 \pm 6,84	29,2	-	-
	5	22,72	15,67 \pm 9,98	8,61	30,6	30,6	30,6	-	-
pH	1	9,03	7,49 \pm 1,15	5,63	8,6	7,5 \pm 0,80	6,2	6,00	8,00
	2	8,70	7,51 \pm 0,73	6,48	8,1	7,5 \pm 0,76	6,6	6,00	8,00
	3	8,04	7,40 \pm 0,64	6,53	7,9	7,4 \pm 0,69	6,6	6,00	8,00
	4	7,15	6,72 \pm 0,71	6,29	7,8	7,2 \pm 0,78	6,7	6,00	8,00
	5	6,89	6,59 \pm 0,43	6,28	6,8	6,8	6,8	6,00	8,00
Turbidez (UNT)	1	29,00	7,62 \pm 8,55	1,61	117,0	39,4 \pm 34,72	2,7	2,00	5,00
	2	22,00	6,28 \pm 6,85	0,83	74,0	29,3 \pm 39,02	2,3	2,00	5,00
	3	28,00	9,74 \pm 12,47	1,59	96,0	35,9 \pm 52,22	1,8	2,00	5,00
	4	7,40	4,40 \pm 4,24	2,20	9,3	5,8 \pm 4,92	2,3	2,00	5,00
	5	7,70	4,95 \pm 3,89	3,50	1,6	1,6	1,6	2,00	5,00
Alcalinidade (mgCaCO_3/L)	1	14,00	6,78 \pm 4,32	2,20	47,5	25,2 \pm 10,57	7,0	-	-
	2	10,00	5,35 \pm 3,43	0,30	15,0	14,7 \pm 7,85	14,0	-	-
	3	8,00	5,20 \pm 2,17	2,00	16,0	13,8 \pm 7,57	12,0	-	-
	4	5,00	5,00	5,00	17,0	14,8 \pm 11,14	12,5	-	-
	5	5,00	5,00	5,00	13,0	13,0	13,0	-	-

valor mais elevado no 1º mm, tendo diminuição no 2º mm e leve queda nos próximos mm.

O pH na parede de argamassa está na faixa recomendada pela NBR nº 15527/07, com valores médios próximos aos 7,5 nos quatro primeiros milímetros e abaixo de 6,8 no último mm. A turbidez apresentou constante diminuição com o passar dos mm amostrados. Houve o enquadramento na NBR nº 15527/07 no 5º mm analisado; ela também foi o parâmetro que mais apresentou variabilidade durante o tempo das análises, nesse local de coleta.

A alcalinidade apresentou diminuição com o passar dos mm analisados e grande variabilidade, principalmente no 1º mm, o qual também foi o que mais se obtiveram dados na coleta.

Quando comparamos a qualidade da água da parede de vidro com a de argamassa pintada observamos que, em todos os parâmetros e milímetros analisados, a média é menor na parede de vidro. A ressalva é para o 5º mm da alcalinidade, em que a argamassa pintada apresenta menor valor.

A média aritmética da condutividade elétrica de todos os mm analisados da parede de vidro e argamassa pintada foi de 13,94 e 40,19 $\mu\text{S}/\text{cm}$, respectivamente, valores inferiores aos de May (2009) e Zerbinatti *et al.* (2011), que obtiveram valores em torno de 50 $\mu\text{S}/\text{cm}$ para água do telhado. Hagemann e Gastaldini (2016) fizeram uma análise dos cinco primeiros milímetros da água do telhado, e os valores médios desse estudo foram superiores em todos os pontos aos encontrados nesta pesquisa.

O pH encontrado também foi superior ao de Zerbinatti *et al.* (2011), May (2009) e Mendez *et al.* (2011). Comparando a média de milímetro a milímetro com os trabalhos de Hagemann (2009) e Lima (2012), a água é mais alcalina até o 3º mm do primeiro e sempre mais ácida que o segundo trabalho.

A turbidez média deste trabalho para a P1 foi de 6,60 UNT, e para a P2, 22,40 UNT. A P1 apresenta valores inferiores à maioria dos trabalhos da literatura (MENDEZ *et al.*, 2011; ZERBINATTI *et al.*, 2011; KASMIN; BAKAS; ZUBIR, 2016; HERNANDES; AMORIM, 2007), porém a P2 tem a média próxima à encontrada por Zerbinatti *et al.* (2011), 23,38 UNT; e Anecchini (2005), 37 UNT. Comparando a turbidez ponto a ponto deste estudo com os trabalhos de Hagemann (2009) e Lima (2012), é perceptível que a turbidez da P1, em todos os pontos, é menor; já a P2 apresenta comportamento parecido com o de Hagemann (2009) e valores inferiores, nos dois primeiros mm, quando confrontado com o trabalho de Lima (2012). Verifica-se comportamento parecido entre a parede de argamassa pintada e telhados.

A parede de argamassa pintada apresentou valor médio de alcalinidade (8,31 mgCaCO_3/L) abaixo do encontrado por Santos *et al.* (2015), 13,4 mgCaCO_3/L , e May (2009), 10 mgCaCO_3/L . A parede de vidro, mais uma vez, tem valor médio inferior, 5,05 mgCaCO_3/L . Ambas as

superfícies de coleta têm valores menores, nos 5 mm, aos trabalhos de Hagemann (2009) e Lima (2012).

Foi avaliado se qualidade da água drenada da parede é alterada com o aumento de dias secos. Dessa maneira, definiram-se dois intervalos: (A) qualidade nos dias que não ocorreram precipitações anteriores (intervalo seco maior que um dia) e (B) quando ela ocorreu no dia anterior ou no mesmo dia (período seco igual a 0 ou 1 dia).

Os maiores valores de condutividade elétrica são obtidos na parede de argamassa pintada e quando o período sem chuva é superior a um dia (Figura 4). Para o vidro, exceto no 1º mm, a condutividade também é maior no intervalo.

O pH nas duas superfícies de coleta é mais alcalino no intervalo A (Figura 5). Observa-se também queda nos valores mensurados com o passar dos milímetros analisados, e somente a média do vidro no intervalo A está fora dos limites da NBR nº 15527/07.

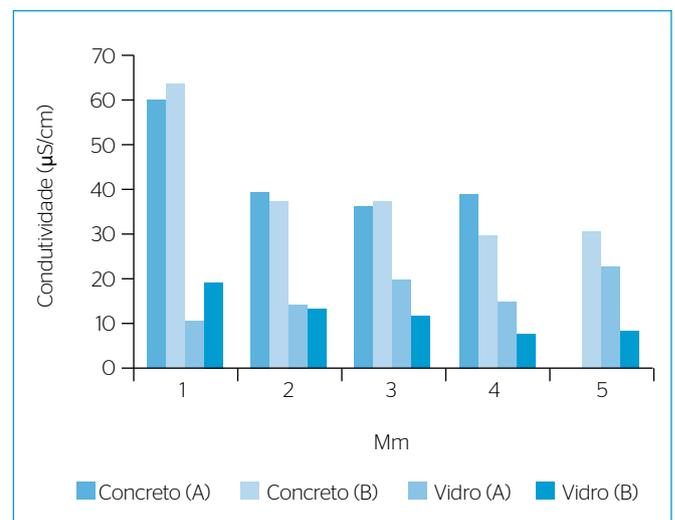


Figura 4 - Comparativo da condutividade elétrica nas duas superfícies para períodos com e sem chuva anterior.

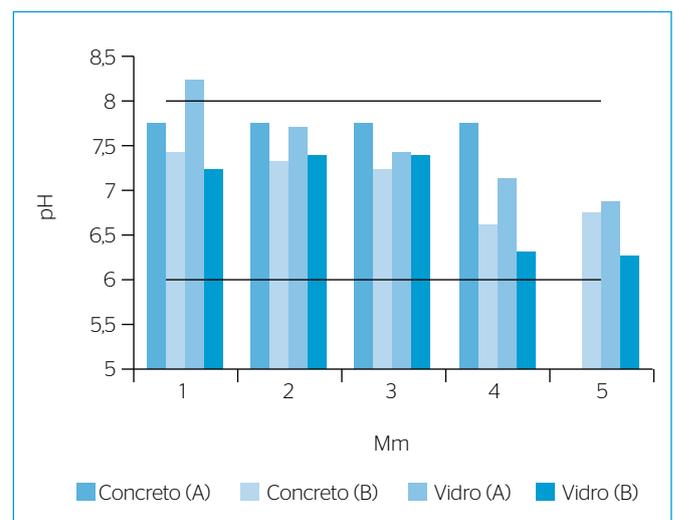


Figura 5 - Comparativo do pH nas duas superfícies para períodos com e sem chuva anterior.

O interessante da turbidez (Figura 6) é que nos três primeiros milímetros da argamassa pintada ela apresenta valores maiores no intervalo B do que no A, o que vai ao contrário da expectativa, uma vez que quando há chuvas anteriores ocorre lavagem da superfície e espera-se menor quantidade de impurezas possíveis de serem carreadas pela água. A alcalinidade apresenta o mesmo comportamento da condutividade elétrica, com os maiores valores quando não há ocorrência de chuva anterior (Figura 7).

CONCLUSÕES

A partir da revisão da literatura e dos resultados experimentais, é possível concluir que:

- Não houve relação entre a intensidade da chuva e a altura coletada de água na parede, uma vez que a interceptação pela lateral do edifício depende ainda da velocidade e da direção do vento;
- A qualidade da água coletada nas paredes de vidro mostrou-se superior quando comparada à coletada em telhados, não necessitando de descarte para se adequar aos requisitos da NBR nº 15527. Para as paredes de argamassa, tal fato ocorre após o quarto milímetro de chuva. Tais constatações compensam em alguma magnitude o menor volume captado em relação aos telhados. Como seria de se esperar, as precipitações antecedentes concorreram para melhoria da qualidade de água coletada;
- A avaliação da quantidade de água a ser descartada deve ser realizada dependente do local, verificando se há o enquadramento na NBR nº 15527. Adicionalmente, deve-se analisar a disponibilidade hídrica, já que, mesmo que a água não se enquadre nas exigências legais, pode ser utilizada para fins menos nobres.

FONTE DE FINANCIAMENTO

Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ), Bolsa de Mestrado nº 134460/2015-4; e Laboratório de Hidrologia e Hidrometria.

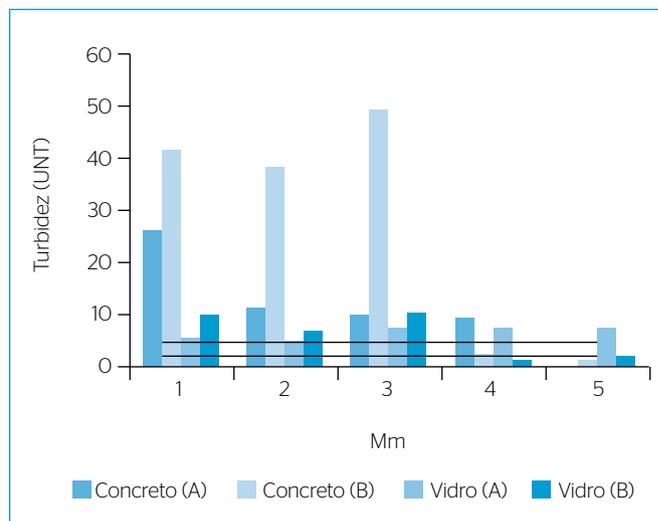


Figura 6 - Comparativo da turbidez nas duas superfícies para períodos com e sem chuva anterior.

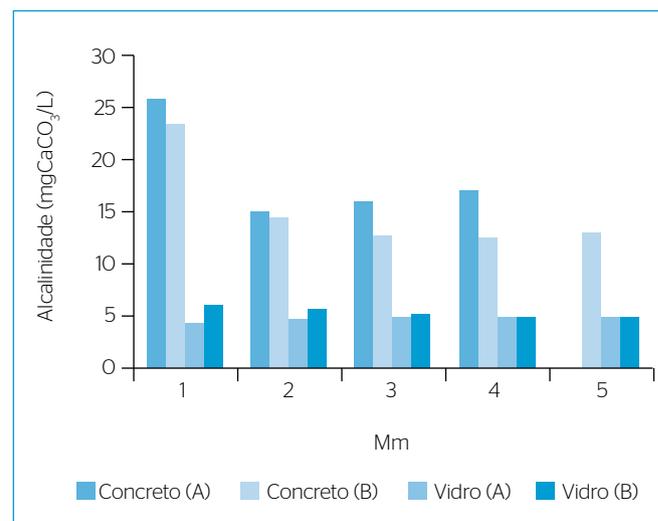


Figura 7 - Comparativo da alcalinidade nas duas superfícies para períodos com e sem chuva anterior.

REFERÊNCIAS

ALADENOLA, O.O.; ADEBOYE, O.B. (2010) Assessing the Potential for Rainwater Harvesting. *Water Resources Management*, v. 24, n. 10, p. 2129-2137. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9542-y>

AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA); AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA); WATER ENVIRONMENTAL FEDERATION (WEF). (2012) *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 22. ed. Washington, D.C.

ANNECCHINI, K.P.V. (2005) *Aproveitamento da Água da Chuva para Fins Não Potáveis na Cidade de Vitória (ES)*. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). (1989) *NBR 10844: Instalações prediais de águas pluviais*. Rio de Janeiro: ABNT. 13 p.

_____. (2007) *NBR 15.527: Água de chuva: aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: requisitos*. Rio de Janeiro: ABNT. 8 p.

BLOCKEN, B.; CARMELIET, J. (2000) Driving Rain on Building Envelopes I. Numerical Estimation and Full-Scale Experimental Verification. *Journal of Thermal Envelope and Building Science*, v. 24, n. 1, p. 61-85. <https://doi.org/10.1177%2F109719630002400104>

- BLOCKEN, B.; DEROME, D.; CARMELIET, J. (2013) Rainwater runoff from building facades: A review. *Building and Environment*, v. 60, p. 339-361. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2012.10.008>
- CHAND, I.; BHARGAVA, P.K. (2002) Estimation of Driving Rain Index for India. *Building and Environment*, v. 37, n. 5, p. 549-554. [http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323\(01\)00057-9](http://dx.doi.org/10.1016/S0360-1323(01)00057-9)
- DIAS, M.A.F.; DIAS, J.; CARVALHO, L.M.V.; FREITAS, E.D.; DIAS, P.L.S. (2013) Changes in extreme daily rainfall for São Paulo, Brazil. *Climatic Change*, v. 116, n. 3-4, p. 705-722. <http://dx.doi.org/10.1007/s10584-012-0504-7>
- GHSI, E. (2010) Parameters Influencing the Sizing of Rainwater Tanks for Use in Houses. *Water Resources Management*, v. 24, n. 10, p. 2381-2403. <https://doi.org/10.1007/s11269-009-9557-4>
- GHSI, E.; SCHONDERMARK, P.N. (2013) Investment feasibility analysis of rainwater use in residences. *Water Resource Management*, v. 27, n. 7, p. 2555-2576. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0303-6>
- GIONCO, M. (2014) *Análise do nível de exposição das edificações à chuva dirigida para Florianópolis*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.
- HAGEMANN, S. (2009) *Avaliação da Qualidade da água da Chuva e da Viabilidade de sua Captação e Uso*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria.
- HAGEMANN, S.E.; GASTALDINI, M.C.C. (2016) Variation of rain water quality with precipitation: application to Santa Maria city - RS. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos*, v. 21, n. 3, p. 525-536. <http://dx.doi.org/10.1590/2318-0331.011615010>
- HERNANDES, A.T.; AMORIM, S.V. (2007) Diretrizes para o Gerenciamento da Água Pluvial nas Edificações Escolares Municipais da Cidade de Ribeirão Preto. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CAPTAÇÃO E MANEJO DE ÁGUA DE CHUVA, 6., 2007. *Anais...* 10 p.
- HEYWORTH, J.S.; GLONEK, G.; MAYNARD, E.J.; BAGHURST, P.A.; FINLAY-JONES, J. (2006) Consumption of untreated tank rainwater and gastroenteritis among young children in South Australia. *International Journal of Epidemiology*, v. 35, n. 4, p. 1051-1058. <https://doi.org/10.1093/ije/dyl105>
- HÖGBERG, A.B.; KRAGH, M.K.; VAN MOOK, F.J.R. (1999) A comparison of driving rain measurements with different gauges. In: SYMPOSIUM ON BUILDING PHYSICS IN THE NORDIC COUNTRIES, 5., 1999, Göteborg. *Anais...* p.24-26.
- ISHAKU, H.T.; MAJID, M.R.; JOHAR, F. (2012) Rainwater Harvesting: An Alternative to Safe Water Supply in Nigerian Rural Communities. *Water Resources Management*, v. 26, n. 2, p. 295-305. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9918-7>
- JONES, M.R.; FOWLER, H.J.; KILSBY, C.G.; BLENKINSOP, S. (2013) An assessment of changes in seasonal and annual extreme rainfall in the UK between 1961 and 2009. *International Journal of Climatology*, v. 33, n. 5, p. 1178-1194. <https://doi.org/10.1002/joc.3503>
- KASMIN, H.; BAKAS, N.H.; ZUBIR, M.M. (2016) Monitoring on The Quality and Quantity of DIY Rainwater Harvesting System. In: IOP CONFERENCE SERIES: MATERIALS SCIENCE AND ENGINEERING, 2016. *Anais...* v. 136.
- KHASTAGIR, A.; JAYASURIYA, N. (2011) Investment Evaluation of Rainwater Tanks. *Water Resources Management*, v. 25, n. 14, p. 3769-3784. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9883-1>
- KÖPPEN, W. (1948) *Climatologia: conunestudio de los climas de latierra*. México: Fondo de Cultura Econômica. 478 p.
- LIMA, J.C.A.L. (2012) *Avaliação do Desempenho de Dispositivo de Desvio das Primeiras Águas de Chuva Utilizado em Cisternas no Semiárido Pernambucano*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Recife.
- LIMA, M.G.; MORELLI, F. (2005) Mapa Brasileiro de “Chuva Dirigida”: Algumas Considerações. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE TECNOLOGIA DE ARGAMASSA E INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON MORTARS TECHNOLOGY, 6., 2005, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis.
- MARCYNUK, P.; FLINT, J.; SARGEANT, J.; JONES, A.; COSTA, A.M.; BRITO, A.M.; THOMAS, M.K.; MUCHAAL, P.K.; SZILASSY, E.; LAPA, T.M.; LUNA, C.; ALMEIDA, Y.; RAUPP, L.; CHANG, K.; PEREZ, E. (2009) Preliminary summary: prevalence of diarrhea among cistern and non cistern users in Northeast Brazil and further risk factors and prevention strategies. In: BRAZILIAN SYMPOSIUM OF CATCHMENT AND MANAGEMENT OF RAINWATER, 7., 2009, Caruaru. *Anais...*
- MAY, S. (2009) *Caracterização, tratamento e reúso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em edificações*. Tese (Doutorado) – Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.
- MELO, L.R.C.; ANDRADE NETO, C.O. (2008) Um Amostrador Automático Simples para Avaliação da Qualidade da Água de Chuva e para Avaliação Preliminar da Qualidade do Ar. In: CONGRESSO INTERAMERICANO AIDIS, 31., 2008. *Anais...*
- MENDEZ, C.B.; KLENZENDORF, J.B.; AFSHAR, B.R.; SIMMONS, M.T.; BARRETT, M.E.; KINNEY, K.A.; KIRISITS, M.J. (2011) The effect of roofing material on the quality of harvested rainwater. *Water Research*, v. 45, n. 5, p. 2049-2059. <https://doi.org/10.1016/j.watres.2010.12.015>
- PIERI, L.; RONDINI, D.; VENTURA, F. (2017) Changes in the rainfall-streamflow regimes related to climate change in a small catchment in Northern Italy. *Theoretical and Applied Climatology*, v. 129, n. 3-4, p. 1075-1087. <http://dx.doi.org/10.1007/s00704-016-1834-6>
- POYASTRO, P.C. (2011) *Influência da volumetria e das condições de entorno da edificação no manchamento e infiltração de água em fachadas por ação de chuva dirigida*. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.
- SANTOS, C.A.G. MAGNO, K.; PALMEIRA, M.; DANTAS, R.; BRAGA, I.Y.L.G. (2015) Aproveitamento de água de chuva para fins não potáveis. In: ENCONTRO DE EXTENSÃO, 10., 2015. *Anais...*

SINGH, P.K.; YADUVANSHI, B.; PATEL, S.; RAY, S. (2013) SCS-CN Based Quantification of Potential of Rooftop Catchments and Computation of ASRC for Rainwater Harvesting. *Water Resources Management*, v. 27, n. 7, p. 2001-2012. <http://dx.doi.org/10.1007/s11269-013-0267-6>

STEWART, C.; KIM, N.D.; JOHNSTON, D.M.; NAYYERLOO, M. (2016) Health Hazards Associated with Consumption of Roof-Collected Rainwater in Urban Areas in Emergency Situations. *International Journal of Environmental Research and Public Health*, v. 13, n. 10, p. 1012-1039. <https://dx.doi.org/10.3390%2Fijerph13101012>

VAN MOOK, F.J.R. (2002) *Driving rain on building envelopes*. 198f. Tese (Doutorado) - Technische Universiteit Eindhoven, Holanda.

VITTAL, H.; KARMAKAR, S.; GHOSH, S. (2013) Diametric changes in trends and patterns of extreme rainfall over India from pre-1950 to post-1950. *Geophysical Research Letters*, v. 40, n. 12, p. 3253-3258. <https://doi.org/10.1002/grl.50631>

WESTRA, S.; FOWLER, H.J.; EVANS, J.P.; ALEXANDER, L.V.; BERG, P.; JOHNSON, F.; KENDON, E.J.; LENDERINK, G.; ROBERTS, N.M. (2014) Future changes to the intensity and frequency of short-duration extreme rainfall. *Reviews of Geophysics*, v. 52, n. 3, p. 522-555. <https://doi.org/10.1002/2014RG000464>

ZERBINATTI, O.E.; SOUZA, I.U.L.; PEREIRA, A.D.; SILVA, A.B.; REINATO, R.A.O. (2011) Qualidade da Água Proveniente da Chuva Coletada em diferentes Tipos de Telhados. *Engenharia Ambiental, Espírito Santo do Pinhal*, v. 8, n. 3, p. 19-37.

