



Captação de água da chuva e orvalho para fins sanitários em uma indústria metalúrgica (Bom Jardim – RJ)

Rainfall and dew water harvesting for sanitary use on a metalurgy industry (Bom Jardim – RJ, Brazil)

Aprovechamiento de agua de lluvia y rocío para fines sanitarios en una industria metalúrgica (Bom Jardim – RJ)

Elaide Dumingues

Engenheira Ambiental, Universidade Estácio de Sá, Brazil
evalledumingues@gmail.com

Anderson Mululo Sato

Professor Doutor UFF, Angra dos Reis
andersonsato@id.uff.br

Ricardo Finotti

Professor Doutor, Universidade Estácio de Sá
ricardo.leite@estacio.br



RESUMO

Este estudo avalia um sistema de captação de água considerando seus aspectos sociais, econômicos e ecológicos. Para isso, construímos um protótipo que foi colocado no jardim de uma indústria metalúrgica, no município de Bom Jardim, estado do Rio de Janeiro, Brasil, que faz captação de água para fins sanitários. O protótipo possui as mesmas características do telhado industrial. A precipitação e o volume de escoamento foram medidos e a água também foi coletada em períodos em que não houve chuvas para avaliar a quantidade de condensação de água atmosférica coletada (água de orvalho). Um termo-higrômetro foi utilizado para registrar diariamente a umidade relativa do ar e a temperatura local. Realizamos um levantamento dos custos para construção de todo o sistema e aplicamos uma pesquisa aos funcionários do mesmo, para estimar a economia de água. Água da chuva foi coletada para analisar: turbidez, pH, nitrato, nitrito, ortofosfato, silicato, amônia, matéria orgânica, coliformes totais e *Escherichia coli*. A cobertura apresentou coeficiente de vazão médio de 88%, o que resultou para a área da cobertura (3.940m²) média de 28.354,04±44.674,86L. A captação de água por condensação atmosférica pode chegar a 2.469 litros por dia e está positivamente correlacionada com a temperatura mínima. O tempo de retorno dos investimentos em economia de água é de 10 anos. No entanto, dada a qualidade da água, este sistema poderia ser utilizado para outros fins, o que aumentaria a poupança de água e reduziria o tempo de retorno do investimento.

PALAVRAS-CHAVE: economia de água, condensação de orvalho, qualidade da água

SUMMARY

*This study evaluates a Rain Water Harvesting (RWH) system considering its social, economic, and ecological aspects. We constructed a prototype at a metallurgical industry in Bom Jardim municipality, Rio de Janeiro state, Brazil, that uses rain water for sanitary purposes. The prototype has the same characteristics of the industry roof such as materials, positioning, and similar inclination. The rainfall and runoff volume were measured and water was also collected in periods when there was no rainfall to assess the amount of atmospheric water condensation collected (dew water). A thermo-hygrometer was used to note the local air relative humidity and temperature every day. We also conducted a survey on the costs to build the entire system and applied a survey to its employees, to estimate water savings. Collected rainwater was analyzed to the following parameters: turbidity, pH, nitrate, nitrite, orthophosphate, silicate, ammonia, organic matter, total coliform and *E. coli*. The roof had a mean flow coefficient of 88%, which resulted for the roof area (3,940m²) a mean of 28,354.04±44,674.86L. The uptake of water by atmospheric condensation can reach 2,469 liters on a day and it is positively correlated with the minimal temperature. The system payback time was estimated in 10 years. However, given the quality of the water, this system could be in use for other purposes, which would increase water savings and reduce the payback time.*

KEYWORDS: water economy, dew condensation, water quality

RESUMEN

*Este estudio evalúa un sistema de captación de agua considerando sus aspectos sociales, económicos y ecológicos. Para ello, construimos un prototipo que se colocó en el jardín de una industria metalúrgica, en el municipio de Bom Jardim, estado de Río de Janeiro, Brasil, que recolecta agua para fines sanitarios. El prototipo tiene las mismas características que la cubierta industrial. Se midieron las precipitaciones y el volumen de escorrentía y también se recogió agua en los periodos en los que no llovía para evaluar la cantidad de condensación de agua atmosférica recogida (agua de rocío). Se utilizó un termohigrómetro para registrar diariamente la humedad relativa del aire y la temperatura local. Realizamos una encuesta de los costos de construcción de todo el sistema y administramos una encuesta a los empleados para estimar el ahorro de agua. Se recolectó agua de lluvia para analizar: turbidez, pH, nitrato, nitrito, ortofosfato, silicato, amoníaco, materia orgánica, coliformes totales y *Escherichia coli*. La cobertura presentó un coeficiente de caudal promedio del 88%, lo que resultó en un promedio de 28.354,04±44.674,86L para el área de cobertura (3.940m²). La captación de agua por condensación atmosférica puede alcanzar los 2.469 litros diarios y se correlaciona positivamente con la temperatura mínima. El tiempo de recuperación de las inversiones en ahorro de agua es de 10 años. Sin embargo, dada la calidad del agua, este sistema podría utilizarse para otros fines, lo que aumentaría el ahorro de agua y reduciría el retorno de la inversión.*

PALABRAS CLAVE: ahorro de agua, condensación de rocío, calidad del agua.



1. INTRODUÇÃO

O fornecimento de água de boa qualidade é essencial para o desenvolvimento económico, a qualidade de vida das populações humanas e a sustentabilidade dos ciclos do planeta (Tundisi, 2003). Apesar de ser um recurso renovável, as cidades enfrentam sérios problemas, sendo esperados cenários ambientais críticos até o ano de 2050 com fontes de água severamente impactadas, principalmente em países subdesenvolvidos (IPCC 2022). Isto irá agravar ainda mais a vulnerabilidade dos serviços de água urbanos durante condições climáticas extremas relacionadas com a escassez causada pela expansão populacional, resíduos e atividades poluentes. O problema da diminuição das reservas hídricas tem gerado preocupação e incentivado o racionamento e a busca de soluções alternativas para a escassez (Furumai, 2008, Hagemann, 2009, Rodrigues et al., 2023).

Os sistemas destinados a captar e armazenar águas pluviais têm sido geralmente utilizados desde o terceiro milénio A.C. no Oriente Próximo e nas regiões do Mediterrâneo e, desde então, os sistemas de recolha de águas pluviais têm evoluído e, hoje em dia, pode representar uma tecnologia válida para reduzir a crescente procura por abastecimento de água canalizada (Mays, 2014; Zanin, 2019). Já existem muitas alternativas em uso para reduzir o uso e desperdício de água tais como aparelhos economizadores de água, vasos sanitários, torneiras com fechamento automático, controle de água em chuveiros, mictórios, etc. Esses recursos incluem bacias sanitárias com caixa acoplada, substituindo válvulas de descarga que possuem maior consumo, além de necessitar de tubos com diâmetros maiores. Tais bacias já são utilizados em muitas indústrias, cujo volume de reservatório é bem menor, além de existirem bacias com reservatório de 6 litros, que possuem 2 (dois) botões, um que esvazia 3 litros para líquidos e outro que esvazia 6 litros para líquidos para sólidos, de acordo com a necessidade de higiene. Torneiras automáticas (sensorizadas), que só abrem quando o usuário fica em frente a ela, utilizadas em centros cirúrgicos hospitalares, que contribuem muito para a segurança em termos de contágio, pois não há contato direto entre o usuário e a torneira, bem como torneiras tipo válvula, ou seja, hidromecanizadas com controle de tempo de abertura, todas muito utilizadas em banheiros de áreas públicas, ambas contribuem para a economia de água, pois evitam desperdícios, por esquecimento na hora de fechar, ou por usar mais do que o necessário para higienizar as mãos. O objetivo da instalação de equipamentos economizadores de água é reduzir o consumo de água independentemente da ação ou disposição do usuário em mudar o comportamento para reduzir o consumo de água (Stefanelli e Oliveira, 2009).

Além das alternativas citadas anteriormente, estão aquelas destinadas a aumentar a oferta de água como por exemplo, as tecnologias de captação de água pluvial em áreas urbanas, os sistemas denominados Captação Descentralizada de Água Pluvial e Reuso de Água Cinza, que podem fornecer uma contribuição de fundamental importância para as redes urbanas de água, incluindo os sistemas potável, pluvial e de esgoto (Rodrigues et al., 2023). No que diz respeito a Captação Descentralizada de Água Pluvial, estudos relacionados com sistemas de aproveitamento de águas pluviais estão sendo aplicados e estudados pelas suas características, vantagens e problemas. Um Sistema de Reaproveitamento de Água inclui elementos como superfície de captação; calhas e filtros grossos para remover sólidos grandes (por exemplo, folhas



e galhos); um tanque de armazenamento e um sistema de bombeamento de onde a água é enviada para locais de uso ou para tanques de armazenamento que possuem transbordamentos e controladores de nível (Zanni et al., 2019). A água da chuva para consumo não potável é um sistema utilizado em vários países e vem crescendo e dando ênfase à conservação da água. Além disso, contribui para a prevenção de inundações causadas por chuvas torrenciais nas grandes cidades, onde a superfície tornou-se impermeável, evitando a infiltração de água (Grupo Raindrops, 2002; Tomaz 2003, Amorim e Pereira, 2008, Furumai, 2008, Zanni et al 2019).

A captação e procura de água não potável depende de muitos fatores como padrões de precipitação, volume dos tanques e procura por água não potável (Campisano et al., 2017). As superfícies utilizadas para captação de água pluvial interferem diretamente nas características naturais da água, pois nos períodos de seca ocorre o fenômeno de deposição seca de compostos presentes na atmosfera, devido à sedimentação gravitacional, à interceptação de material particulado e/ou à absorção de gases por superfícies (Gonçalves, 2006). Além disso, diferenças nos tipos de superfície podem levar a diferenças na coleta de água, uma vez que a coleta de água de orvalho pode estar relacionada à diferença nos materiais na mobilidade das gotas e na taxa de nucleação e à capacidade de atingir temperaturas abaixo do ponto de orvalho e coletar água condensada (Lee et al. 2012, Nioros et al., 2021).

Os estudos sobre sistemas Captação Descentralizada de Água são muito comuns tanto em habitações como em edifícios comerciais, incluindo escritórios e instalações educativas, embora existam poucos estudos centrados em instalações industriais ou infraestruturas agrícolas (Rodrigues et al., 2023). A análise do aproveitamento da água pluvial em condomínios e indústrias mostra que ela pode suprir de 40% a mais de 60% da demanda nesses ambientes (Ferreira, 2005). O estudo das características dos sistemas utilizados para este fim é de extrema importância para a sua avaliação e melhoria. Além disso, a avaliação do volume de água armazenado em relação aos volumes pluviométricos e da água condensada atmosférica em relação aos volumes utilizados nos vasos sanitários, bem como a qualidade dessa água (Rocha et al., 2009), pode fornecer subsídios importantes para o desenvolvimento de normas e diretrizes para que a tecnologia de recolha de águas pluviais possa ser disseminada e incentivada a nível local.

O objetivo deste artigo é avaliar a variação do volume produzido e outros aspectos de um sistema de captação de água pluvial e orvalho instalado em uma indústria metalúrgica para fins sanitários. Aspectos como capacidade de captação de águas pluviais, consumo de água pelos colaboradores para fins higiênicos, a economia de água e a qualidade da água captada foram analisadas.

2. MATERIAL E MÉTODOS

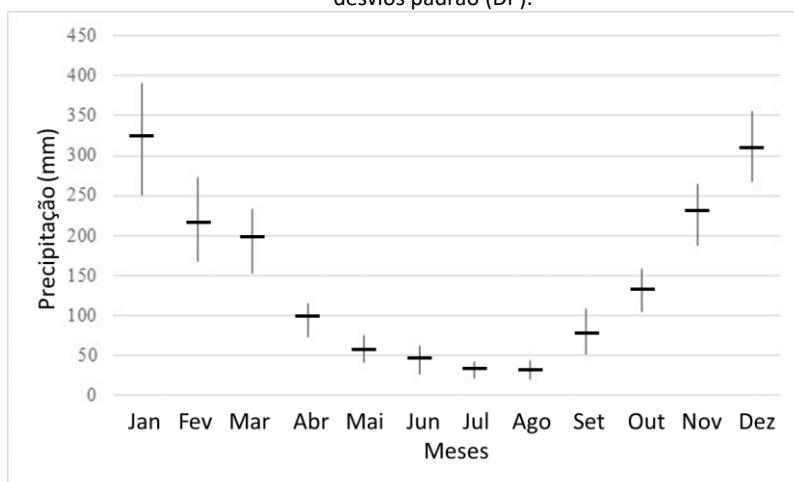
2.1 Área de estudo

O estudo foi realizado na Metalúrgica Bom Jardim (MBJ), empresa do Grupo Stam, fundada em abril de 2010 e com início de operação em maio de 2013. Instalada em um armazém de 5.600 m² no município de Bom Jardim/RJ (22°10'40'' S / 42°24'15'' W). na região serrana do

Estado do Rio de Janeiro, Brasil. A metalurgia fabrica reguladores de gases, parafusos e cadeados.

Ao longo do ano, a temperatura geralmente varia de 10 °C a 27 °C e raramente é inferior a 7 °C ou superior a 31 °C. Nas estações mais frias (primavera e inverno), de abril a setembro, as temperaturas máximas sobem 2°C, passando de 22°C para 24°C, raramente caindo abaixo de 16°C ou ultrapassando 29°C, mas algumas noites podem atingir temperaturas abaixo de 0°C (INMET 2022). A região tem um período úmido e mais quente de outubro a março, e um período seco e mais fresco de abril a setembro, padrão típico da Região Sudeste do Brasil. As medidas de vazão de água foram feitas no período mais seco, de abril a agosto de 2014, que também é om de menor temperatura.

Figura 1 – Série histórica 1941-2005 da variação das chuvas em Bom Jardim. Fonte: Estação pluviométrica Bom Jardim (Nº Hidroweb/ANA 02242021) (INMET 2015). As barras horizontais são médias e as barras verticais são desvios padrão (DP).



Fonte: os autores

A MBJ conta com duas fontes de água para seu funcionamento: água da concessionária pública de água (CEDAE) e água da chuva coletada no telhado. Foram consideradas as dimensões do telhado coletor de água (3.980 m²) e a reserva que deverá atender diariamente cerca de 100 pessoas, entre funcionários e terceirizados. Após o dimensionamento do sistema, a instalação de reservatórios com grande capacidade de acumulação passou a atender também nos períodos de estiagem. Trata-se, portanto, de um sistema de abastecimento complementar ao da concessionária, e este complemento atende integralmente às normas de segurança do usuário, no sentido de que não deve haver uma ligação cruzada que possa misturar a água da chuva com a água potável, tudo feito por um controle automático do sistema.

A cobertura foi construída com telhas de alumínio, pintadas de branco para melhor reflexão da luz, diminuindo assim a sensação térmica (Figura 2A). A captação da água da chuva é feita por dois condutores verticais de PVC (300mm), localizados na metade do comprimento da cobertura, partindo da calha metálica até o solo, no nível da calçada. Em seguida, são conectados por manilhas de concreto (300mm) a uma caixa de inspeção que possui em seu interior dois condutores horizontais de PVC (200mm), precedidos por duas placas de malha metálica para retenção de folhas e material grosso.

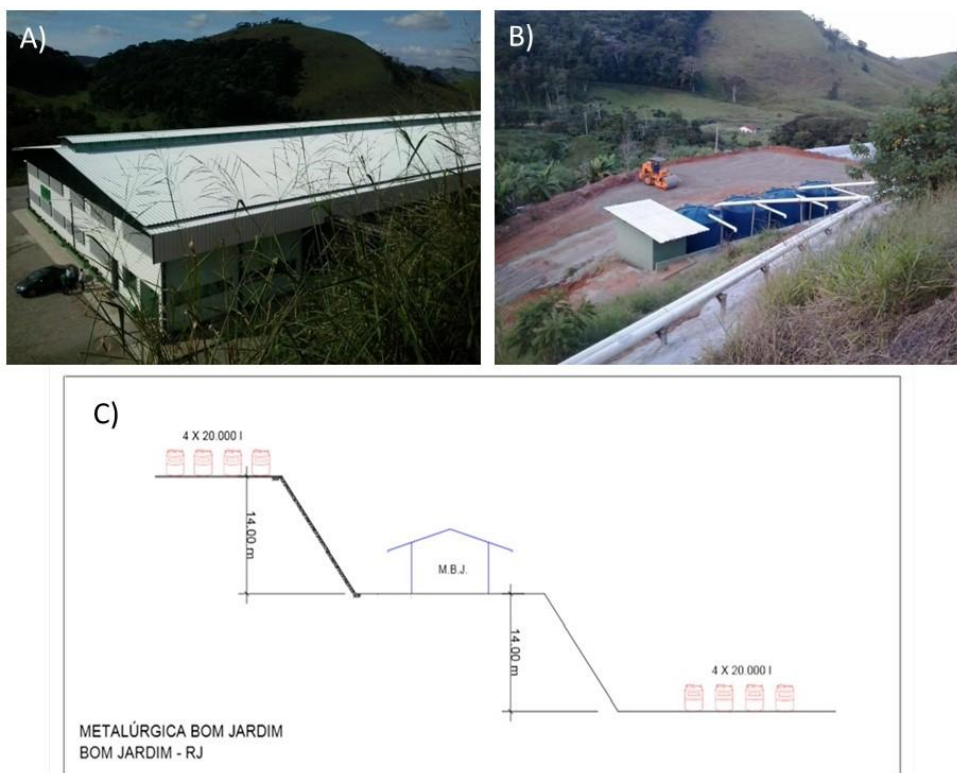
Da caixa de inspeção o fluxo é direcionado por gravidade para quatro reservatórios de 20 mil litros cada, totalizando 80 m³. De cada reservatório sai conectado um condutor de PVC (85 mm) que vai até a bomba de recalque (10 CV) localizada em compartimento próprio. Esta bomba lança água em um reservatório de 20 mil litros, que está interligado a mais 3 reservatórios de 20 mil litros cada, totalizando também 80 m³, na porção mais alta do terreno de onde a água atende as instalações da MBJ por gravidade (Figura 2B e 2C).

2.2. Avaliação da captação e consumo de água

2.2.1. Captação de água

Para avaliar os volumes de captação de água, foi construído no pátio da empresa um modelo de cobertura em escala reduzida (1,07 m x 2,13 m = 2,28 m²) com inclinação de 1% com materiais, posicionamento e inclinação semelhantes à cobertura metálica da indústria. Inicialmente foram criados croquis em papel e em AutoCAD, inserindo o diâmetro das tubulações e as dimensões e inclinação da cobertura (Figura 3). A maquete foi construída com os mesmos materiais do armazém e sua execução foi concluída em março de 2014.

Figura 2 – A) Cobertura em telhas de alumínio, B) Reservatórios inferiores de 20.000 litros, C) Vista esquemática do coletor de chuva.



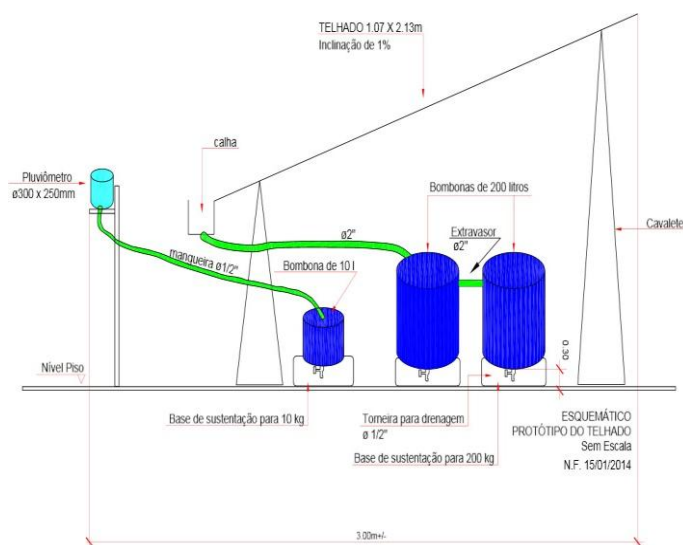
Fonte: os autores

O modelo é composto por um pluviômetro (pluviômetro) feito de PVC (300 mm de

diâmetro por 250 mm de altura) que drena para um reservatório com capacidade de 20 litros; o protótipo do telhado drena para dois reservatórios de 200 L cada, conectados em série. Abaixo de cada tambor foi colocado um disco de $\frac{1}{2}$ " conectado a uma mangueira para coleta de água (Figura 3). Além disso, foi instalado um termo-higrômetro na entrada da empresa, cujos valores de temperatura e umidade são monitorados diariamente.

As medidas de volume foram feitas manualmente de Maio de 2014 a Agosto de 2014, pelo menos 10 dias por mês. Em abril de 2014 foram coletados apenas 4 quatro dias em dias chuvosos porque o modelo estava sendo testado. Portanto, esses dados serão utilizados apenas para a análise do volume de água pluvial coletado. As medições de captação de água foram feitas em 24 horas, no dia anterior a água foi descartada às 8h e a água acumulada até as 8h do dia seguinte foi coletada. As medidas foram feitas em intervalos que variaram de diário a semanal, às vezes, as medidas seguintes foram realizadas durante dois, três ou quatro dias. Foram utilizados cilindros medidores e baldes graduados, pois os volumes drenados em uma única semana às vezes chegavam a mais de cem litros de água, enquanto em eventos onde ocorria apenas condensação de orvalho os volumes às vezes eram inferiores a 1 litro. Os valores foram registrados em planilha. As informações sobre temperatura e umidade imediata, máxima e mínima foram registradas diariamente pelos porteiros da empresa.

Figura 3- Protótipo construído no quintal da MBJ.



Fonte: os autores

2.2.2. Análise da qualidade da água

Mesmo que utilizada para fins menos nobres, ou seja, não potáveis, a ABNT NBR 15527/2007 define parâmetros de qualidade da água pluvial para usos restritivos não potáveis, que devem ser adotados em qualquer sistema que vise o reaproveitamento de água. Foram analisados os seguintes parâmetros: turbidez, pH, nitratos, nitritos, ortofosfato, silicato, amônia, matéria orgânica, coliformes totais e *Escherichia coli*.



A água foi coletada do modelo do telhado e das torneiras do banheiro para comparação. As análises dos parâmetros físico-químicos foram realizadas no Laboratório de Hidrologia da UFRJ e as análises bacteriológicas foram realizadas no L.A.C.A. laboratório em Nova Friburgo. Os valores dos parâmetros de qualidade observados nas amostras foram comparados aos limites sugeridos pela Norma Brasileira para aproveitamento de águas pluviais de telhados em áreas urbanas para fins não potáveis - ABNT NBR 15527/2007 e pela Resolução do CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente) nº 357, de 17 de março de 2005.

2.2.3. Avaliação do armazenamento e uso da água

Fizemos a comparação entre o volume de água utilizado nos banheiros e o consumo total de água. Para estimar a água consumida pelos empregadores do MBI em um mês em vasos sanitários e mictórios, foram utilizadas informações fornecidas por meio da aplicação de questionários. Os cálculos foram feitos da seguinte forma:

- Para Masculino: $C_m = N_m \cdot F_m \cdot U \cdot VU \cdot WD + N_m \cdot F_m \cdot T \cdot VT \cdot WD$, onde:

C_m = Consumo total de água do sexo masculino em um mês; N_m = número de empregadores por mês; $F_m \cdot U$ = Frequência de uso de mictórios; VU = volume dos mictórios em uma descarga (considerado como 6L), WD = número de dias de trabalho, $F_m \cdot T$ = Frequência de uso de banheiros, V_t = volume do vaso sanitário em descarga (considerado como 13,5L)

- Para Feminino: $C_f = N_f \cdot F_f \cdot T \cdot VT \cdot WD$, onde:

C_f = Consumo total de água das mulheres em um mês, N_f = número de empregadores por mês, WD = número de dias de trabalho, $F_f \cdot T$ = Frequência de uso dos banheiros, V_t = volume do vaso sanitário em descarga (considerado como 13,5L)

A estimativa do volume de água utilizado e da água fornecida pela CEDAE e das águas pluviais e de orvalho foi baseada no consumo mensal de água nos vasos sanitários e mictórios, tanto dos funcionários quanto das mulheres. O consumo de água da CEDAE foi feito através de suas contas. Para as águas de chuva e orvalho, foi feita uma estimativa utilizando os volumes medidos com o modelo do telhado e calculados para a área original do telhado. Para isso, os cálculos consideraram o total de água captada no telhado modelo (2,28m²) dividido pelo número de dias coletados de cada mês, obtendo assim uma média para cada dia. Em seguida, estimamos a água captada para o telhado (3.980m²) e multiplicamos pelo número de dias do mês. Assim, obteve-se um total de água captada pelo telhado para cada mês. A comparação entre o total de água captada e o total de água sanitária utilizada foi feita graficamente.



2.3. Análises Estáticas

Médias, desvios padrão, volumes mínimo e máximo foram calculados para vazão total de água, vazão de água pluvial e vazão de orvalho para avaliar a contribuição total e proporcional de cada tipo. Correlações de Pearson (P) e curvas de regressão foram feitas para estabelecer a correlação precipitação x vazão de água para dias chuvosos e entre vazão de água e temperatura e umidade mínima, máxima, média diária para dias secos onde apenas fluxo de orvalho foi observado.

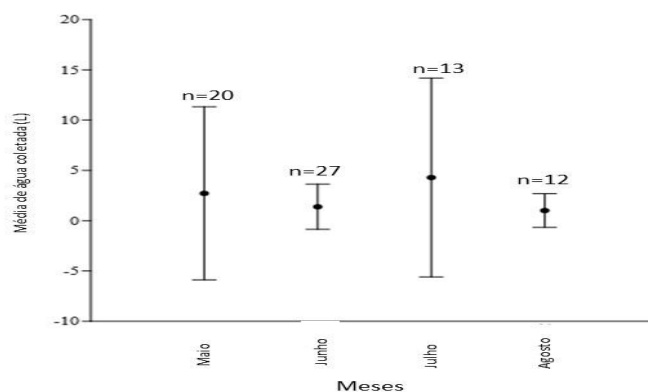
3. RESULTADOS

3.1. Avaliação da captação e consumo de água

O volume médio de água pluvial e fluxo de orvalho coletado do modelo de telhado foi de $4,74 \pm 15,3L$ e variou entre $0,015L$ em 16 de agosto a $115,75L$ em 5 de abril. As médias dos volumes não apresentaram diferenças significativas entre maio e agosto de 2014 ($H=0,81$, $p=0,85$) (Figura 4). Considerando estes valores para a superfície do telhado do MBJ, a captação de água e orvalho mínimas e máximas foram de $22.735 L$ em agosto e de $163.320 L$ em julho (média de $80.549 \pm 63.708 L$).

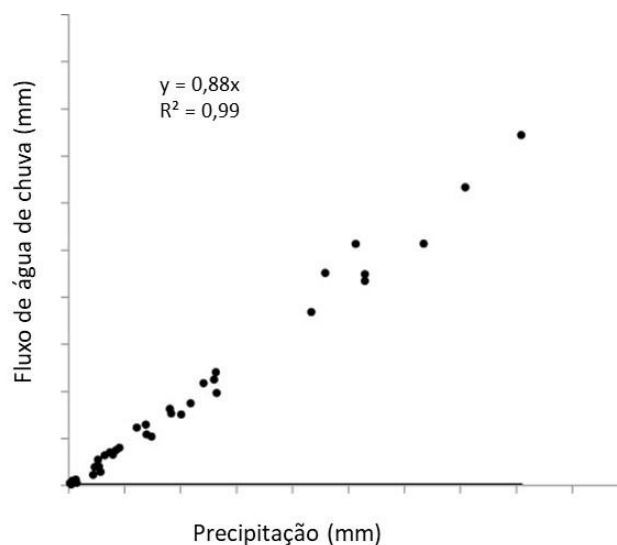
Considerando apenas os dias chuvosos, houve correlação significativa entre a precipitação (mm) e o volume de água coletado no modelo do telhado ($r^2=0,99$, $p=0,0001$) (Figura 5). O volume médio de água foi de $18,45 \pm 29,07L$, sendo o volume máximo de água coletado de $115,75L$ no dia 5 de abril e o volume mínimo de água coletado de $0,05L$ no dia 20 de maio. O coeficiente de escoamento médio da cobertura metalúrgica foi de 88%. Esse valor é superior ao encontrado em coberturas de cerâmica ou fibrocimento e está próximo do coeficiente indicado por outros estudos para coberturas metálicas (ROCHA et al. 2009). Isso significa que a cobertura MBJ é muito eficiente na transformação da chuva em escoamento superficial para captação pelo sistema de aproveitamento de água pluvial. Os valores médios estimados para a água captada pelo telhado do MBJ foram de $28.354 \pm 44.674 L$.

Figura 4- Média mensal do volume de vazão de água (em litros) e desvio padrão (barras) da água coletada no modelo de telhado. n= número da amostra.



Fonte: os autores

Figura 5- Curva de regressão, inclinação (y) e coeficiente de correlação (r^2) entre o volume diário de chuva e a água coletada no telhado modelo.



Fonte: os autores

A água foi coletada mesmo em dias sem chuva, sendo proveniente da condensação do vapor d'água do ar atmosférico. O volume médio de água no protótipo do telhado foi de $0,49 \pm 0,34$ L com volume máximo de 1,8 L em 18 de julho e volume mínimo de 0,05 L em 4 de junho. Considerando a área total do telhado do MBI esse volume médio equivale a 753 ± 522 L e o valor máximo da captação da produção de vapor d'água equivale a 2.469 litros. Houve uma correlação negativa fraca, mas significativa, entre o volume do fluxo de orvalho e a temperatura mínima do dia ($r = -0,29$, $p = 0,048$) (Figura 6). Foi encontrada uma correlação marginalmente significativa entre a temperatura média e o fluxo de água orvalhada ($r = 0,24$, $p = 0,09$). Todas as



Tabela 1 – Resultados das análises de água de Coliformes Totais, Escherichia coli e matéria orgânica da água coletada no telhado modelo em cada dia de coleta de água. L.Q= limites de quantificação, NMP= Número mais provável, mg=miligramas, ml=mililitros. (Fonte: laboratório L.A.C.A.).

08/05/2015					
Parâmetros	Método	L.Q	valor	Referência	Unidade
Total Coliformes	múltiplos	1,1	>8,0	AUSÊNCIA/100 ml	NMP/100 ml
Escherichia coli		1,1	2	AUSÊNCIA/100 ml	
Matéria orgânica	Titrimétrico	1	N.D.	3,0*	mg/l
14/05/2015					
Parâmetros	Método	L.Q	Valor	Referência	Unidade
Total Coliformes	múltiplos	1,1	>8,0	AUSÊNCIA/100 ml	NMP/100 ml
Escherichia coli		1,1	>8,0	AUSÊNCIA/100 ml	
Matéria orgânica	Titrimétrico	1	N.D.	3,0*	mg/L
30/04/2015					
Parâmetros	Método	L.Q	Valor	Referência	Unidade
Total Coliformes	múltiplos	1,1	>8,0	AUSÊNCIA/100 ml	NMP/100 ml
Escherichia coli		1,1	2	AUSÊNCIA/100 ml	
Matéria orgânica	Titrimétrico	1	2	3,0*	mg/l

Fonte: os autores

Tabela 2 – Resultados das análises de água de Coliformes Totais, Escherichia coli e matéria orgânica da água coletada nas torneiras dos banheiros em cada dia de coleta de água. L.Q= limites de quantificação, NMP= Número mais provável, mg=miligramas, ml=mililitros. (Fonte: laboratório L.A.C.A.).

08/05/2015					
Parâmetros	Método	L.Q	valor	Referência	Unidade
Total Coliformes	múltiplos	1,1	N.D.	AUSÊNCIA/100 ml	NMP/100 mL
Escherichia coli		1,1	N.D.	AUSÊNCIA/100 ml	
Matéria orgânica	Titrimétrico	1	N.D.	3,0*	mg/L
14/05/2015					
Parâmetros	Método	L.Q	Valor	Referência	Unidade
Total Coliformes	múltiplos	1,1	N.D.	AUSÊNCIA/100 ml	NMP/100 ml
Escherichia coli		1,1	N.D.	AUSÊNCIA/100 ml	
Matéria orgânica	Titrimétrico	1	N.D.	3,0*	mg/l
30/04/2015					
Parâmetros	Método	L.Q	valor	Referência	Unidade
Total Coliformes	múltiplos	1,1	N.D.	AUSÊNCIA/100 ml	NMP/100 ml
Escherichia coli		1,1	N.D.	AUSÊNCIA/100 ml	
Matéria orgânica	Titrimétrico	1	N.D.	3,0*	mg/l

Fonte: os autores



Tabela 3– Resultados das análises hídricas dos parâmetros físicos e químicos da água coletada no telhado modelo e nas torneiras dos banheiros em cada dia de coleta de água. (Fonte: laboratório L.A.C.A.). L.Q= limites de quantificação, NMP= Número mais provável, mg=miligramas, ml=mililitros NTU= Unidades Nefelométricas de Turbidez. DP= Desvio Padrão, CV= Coeficiente de variação. Valores de referência: pH – entre 6 e 9, Turbidez – até 100 NTU, Ortofosfato – até 0,15 μM , Silicato – até 50 μM , Amônia – até 15 μM , Nitrato – até 10 μM , Nitrito – até 1 μM .

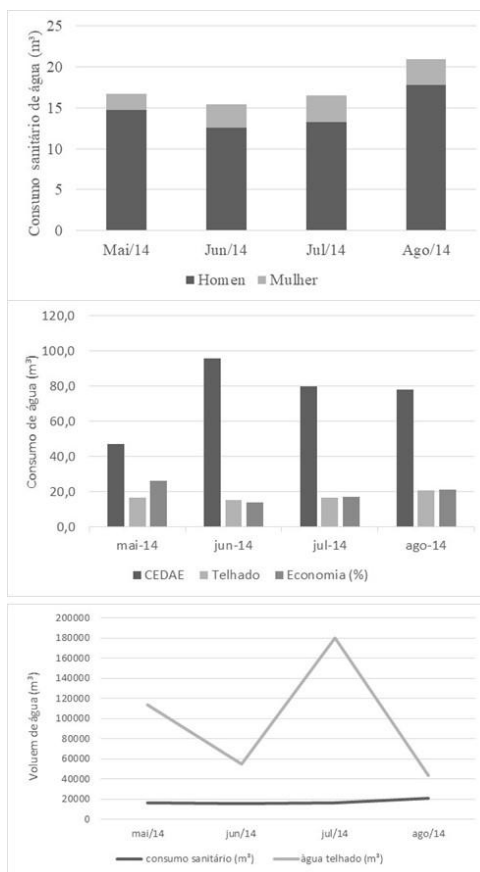
		29/04/2015		13/05/2015	
		Teto	torneira	Teto	torneira
pH	Média	4.25	6.00	4.40	5.89
Turbidez	NTU	9.66	2.01	4.63	2.20
Ortofosfato (μM)	média \pm DP	0.73 \pm 0.01	0.32 \pm 0.002	1.55 \pm 0.01	0.19 \pm 0.004
	CV%	1.659	0.670	0.822	1.827
Silicato (μM)	Média \pm DP	0.44 \pm 0.003	12.55 \pm 0.08	0.26 \pm 0.001	2.79 \pm 0.02
	CV%	0.636	0.637	0.550	0.709
Amônia (μM)	Média \pm DP	3.34 \pm 0.18	0.22 \pm 0.02	12.99 \pm 0.37	0.97 \pm 0.008
	CV%	5.440	2.990	2.837	0.805
Nitrito (μM)	Média \pm DP	0.04 \pm 0.0	0.02 \pm 0.001	0.07 \pm 0.006	0.06 \pm 0.001
	CV%	0.000	4.562	9.428	1.230
Nitrato (μM)	Média \pm DP	65.23 \pm 0.62	11.13 \pm 0.04	11.04 \pm 0.05	12.17 \pm 0.58
	CV%	0.954	0.381	0.461	4.765

Fonte: os autores

3.3. Avaliação do armazenamento e uso da água e economia econômica

Com base nos questionários dos funcionários, por dia de trabalho, os homens vão ao banheiro em média 3,66 vezes para usar o mictório e 1,36 vezes para usar o banheiro. As mulheres usam o banheiro em média 3,33 vezes por dia útil (Figura 7). Considerando o uso de mictórios (13,5 litros) e vasos sanitários (6 litros), cada homem utiliza quase 3 vezes mais água (57,57 litros) do que uma mulher (19,98 litros) por dia útil. Com base nesse padrão de consumo entre os sexos e na evolução do quadro de funcionários do MBJ (Figura 7A), foi determinado o consumo mensal de água nos banheiros.

Figura 7- A) Consumo de água para fins sanitários para cada mês e por gênero estimado a partir do questionário, B) Consumo de água da CEDAE e consumo total de água sanitária estimado a partir do questionário, C) Captação estimada de água do telhado original (3980m²) e total sanitário consumo de água para cada mês analisado.



Fonte: os autores

Considerando os 4 meses, a água consumida pela CEDAE pela MBI foi de 75.000±20,48L e o consumo estimado de água para bacias sanitárias foi de 17.400±2,43L. Dado que a água de bacias sanitárias é totalmente fornecida pelo sistema de captação de águas pluviais, a economia de água do sistema de abastecimento público representa uma economia de cerca de 19,6±5,35% no consumo geral de água (Figura 7B). Porém, observa-se que não só a captação proporcionada pela cobertura associada ao volume dos reservatórios (160 m³) atende plenamente as demandas do quadro de funcionários da empresa, mas também representa um excedente de 80.550±63.710L, que em seu pico atingiu a marca valor de 163.320L em julho de 2014 (Figura 7C). Esse volume acumulado de água é suficiente para abastecer o consumo de 17.336 pessoas em um dia, considerando os valores de referência da ONU de 110 litros/pessoa/dia¹.

O recurso financeiro para implantação do sistema RAC foi de R\$ 111.302,02, sendo

¹ Disponível em

https://www.un.org/waterforlifedecade/pdf/human_right_to_water_and_sanitation_media_brief.pdf, acessado em 15/01/2024



distribuídos em R\$ 77.042,02 em materiais e R\$ 34.260,00 em serviços. A economia financeira com água calculada para o período de abril de 2013 a março de 2015 foi de R\$ 23.045,00, o que representa uma economia média de 49,1% nos custos de água da MBJ. Se esta poupança econômica for mantida, o retorno financeiro do investimento demorará aproximadamente 10 anos.

4. DISCUSSÃO

Os valores de aproveitamento de água pluvial e economia deste estudo estão de acordo com já publicados em outros estudos brasileiros. O reuso residencial de águas pluviais nas residências brasileiras pode promover economias da ordem de 12% a 79% na região Sudeste (Ghisi, 2006; Ghisi e Mengotti de Oliveira, 2007). O coeficiente de run-off também foi semelhante a outros estudos realizados no Brasil (Ghisi e Mengotti de Oliveira, 2007). No entanto, a deposição e captação de orvalho da água não foram consideradas e, em nosso estudo, foi uma importante fonte de captação de água, quase 30% da água, no período de tempo seco, era proveniente dela. Esta capacidade de captação de água orvalhada é provavelmente influenciada pelo tipo de material da cobertura, uma vez que o zinco pode atingir temperaturas mais baixas e, portanto, é capaz de condensar um maior volume de água (Nioras et al., 2021). Até sabermos, é a primeira medida *in situ* deste tipo de captação de água.

Os valores de captação de água e retorno financeiro obtidas por este sistema são muito variáveis, pois dependem de variáveis como tamanho do tanque, área do telhado em relação ao uso da água (Zanni et al., 2019). Os volumes colhidos pelo sistema MBJ estão acima do necessário para fins sanitários, em relação à capacidade de colheita e armazenamento do sistema está muito acima das necessidades de uso sanitário. Seu período de retorno estimado é muito baixo quando comparado a outros estudos no Brasil que geralmente são superiores a 20 anos, quando se consideram casas familiares no Brasil (Ghisi, 2007). Considerando isto, é razoável supor que outros usos possam ser planejados para a água captada, o que pode aumentar o retorno financeiro derivado do uso do sistema de RAC. Talvez, como atividade metalúrgica, seja razoável supor que a água captada possa ser utilizada para esse fim.

No entanto, a qualidade da água colhida é uma questão. Embora a água captada pareça ser de boa qualidade, é muito necessário que a água seja constantemente monitorada. As superfícies dos telhados são comparativamente mais limpas do que estacionamentos, calçadas e outros, mas podem conter quantidades substanciais de metais pesados e nutrientes e, em áreas caracterizadas por altos volumes de tráfego de veículos, desenvolvimento residencial e industrial de alta densidade, a água da chuva coletada pode ter baixos valores de pH relacionados ao fenômeno da chuva ácida e da precipitação seca e úmida (Hamdan, 2009; Melidis et al., 2007). Outro problema são os altos valores de matéria orgânica e contaminação microbiana, não apenas as aves atuam como uma importante fonte de patógenos e matéria orgânica, mas também possíveis concentrações elevadas de sedimentos totais em suspensão



(SST) nas águas pluviais causadas pela queima de matas agrícolas ou ligadas à deposição seca. Elementos e contaminantes presentes em SST tais como Pb (chumbo) (devido a emissões industriais), Cu (cobre), nitratos (devido a aplicações de fertilizantes agrícolas), nitritos, Zn (zinco), Al (alumínio), Fe (Ferro) e Ca (cálcio), podem ser um importante fator de contaminação (Adeniyi e Olabanji, 2005; Morrow et al., 2010 ;Méndez et al., 2011). Outro fator de contaminação são os materiais de cobertura e os sistemas de drenagem, que contribuem com material dissolvido e particulado para o escoamento do telhado em relação aos processos de intemperismo e às reações químicas e físicas que ocorrem entre a água da chuva e os materiais (Zobrist et al., 2000; Lee et al., 2010). Vários estudos demonstraram que superfícies ásperas de telhados, como telhas de asfalto, prendem e retêm partículas e poluentes mais do que materiais lisos e podem ter um efeito prejudicial na qualidade da água coletada e mais materiais lixiviados, como cobre ou zinco, devem ser evitados (Bradford e Denich, 2007). Na MBJ este não parece ser um problema grave, pois os níveis de contaminação são razoáveis. Porém, a MBJ fica próximo às pequenas cidades e cercado por fazendas agrícolas de diversos tamanhos. Valores baixos de pH e altos nitratos, provavelmente, poderiam ser um problema de fenômenos de deposição seca de matéria suspensa urbana e rural. Nova Friburgo é uma cidade agrícola muito importante, que produz para todo o Estado do Rio de Janeiro, também possui muitas indústrias importantes, por isso não é possível dizer com precisão qual é a maior influência para a contaminação das águas.

5. CONCLUSÃO

De forma geral, pode-se concluir que o sistema em questão tem muito potencial para ser utilizado de outras formas e que o monitoramento da qualidade de suas águas, bem como tratamentos simples poderão ser utilizados para a expansão desse uso.

Agradecimentos

Agradecemos ao vice-presidente do MBJ, Sr. Rogério Faria, pela confiança e oportunidade desta pesquisa, ao diretor econômico, Sr. José Maria Campos Nogueira, pela disponibilidade do material do protótipo. Agradecemos também aos funcionários que construíram o protótipo. Agradecemos também à UNITEC, especialmente ao Sr. Rogério e Márcio que fizeram o teto e a estrutura dos tambores e o protótipo com extrema boa vontade. À Frienge Engenharia, especialmente ao seu Diretor Sr. Aurélio Mury, pelo orçamento de mão de obra e custos de materiais, sem o qual não seria possível realizar a avaliação financeira do sistema. Para o L.A.C.A. laboratório, em especial ao Técnico Peterson Nogueira, pela orientação e disponibilidade. Ao Laboratório de Hidrologia da Universidade Federal do Rio de Janeiro, em especial ao prof. Rodolpho Paranhos, pela realização das análises da água. Aos funcionários da Sotele/Fabris, Vitor por me dar o direcionamento a seguir na construção do protótipo.



REFERÊNCIAS

- ABNT/Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1989. **NBR 10844: Instalações Prediais de Águas Pluviais**. Procedimentos. Rio de Janeiro.
- ABNT/ Associação Brasileira de Normas Técnicas. 2 0 0 7 . **N BR 15527: Água de chuva. Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis: Requisitos**. Rio de Janeiro.
- ABNT/ Associação Brasileira de Normas Técnicas. 1998. **NBR 5626: Instalação Predial de Água Fria**. Rio de Janeiro.
- Amorim, S.V.; Pereira D.J.A. 2008. **Estudo comparativo dos métodos de dimensionamento para reservatórios utilizados em aproveitamento de água pluvial**. Programa de Pós- Graduação em Construção Civil - Universidade Federal de São Carlos.
- Campisano, A., Butler, D., Ward, S., Burns, M.J., Friedler, E., Debusk, K. & Han, M. 2017. Urban rainwater harvesting systems: **Research, implementation and future perspectives**. *Water research*, 115, 195-209.
- Ferreira D.F. 2005. **Aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas para fins não potáveis em um condomínio residencial localizado em Florianópolis - SC**. Trabalho de Conclusão de Curso submetido para a obtenção do título de Engenheiro Civil. à Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.
- Furumai, H. 2008. Rainwater and reclaimed wastewater for sustainable urban water use. **Physics and Chemistry of the Earth**, 33(5), 340–346. <https://doi.org/10.1016/j.pce.2008.02.029>.
- Ghisi, E. 2006. Potential for potable water savings by using rainwater in the residential sector of Brazil. **Building and Environment**, 41(11), 1544–1550. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2005.03.018>
- Ghisi, E., and Mengotti de Oliveira, S. 2007. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. **Building and Environment**, 42(4), 1731–1742. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2006.02.001>
- Gonçalves, R. F. 2006. **Uso racional da água em edificações**. Rio de Janeiro, ABES.
- Group Raindrops. 2002. **Aproveitamento da água da chuva**. Makoto Murase (Org.). Tradução: Massato Kobiyama; Cláudio Tsuyoshi Ushiwata; Manoela dos Anjos Afonso. Tradução de: Yatte Miyo Amamizu Riyo. Curitiba: Organic Trading, p. 196.
- Hagemann, S.E. 2009. **Avaliação da qualidade da água da chuva e da viabilidade de sua captação e uso**. Dissertação Curso de Mestrado do Programa de Pós- Graduação em Engenharia Civil – Universidade Federal de Santa Maria – RS.
- IPCC, 2022: **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change** [H.-O. Pörtner, D.C. Roberts, M. Tignor, E.S. Poloczanska, K. Mintenbeck, A. Alegria, M. Craig, S. Langsdorf, S. Löschke, V. Möller, A. Okem, B. Rama (eds.)]. Cambridge University Press. Cambridge University Press, Cambridge, UK and New York, NY, USA, 3056 pp., 2022. doi:10.1017/9781009325844
- Lee, A., Moon, M. W., Lim, H., Kim, W. D., & Kim, H. Y. 2012. Water harvest via dewing. **Langmuir**, 28(27), 10183-10191,
- Nioras, D., Ellinas, K., Constantoudis, V., & Gogolides, E. 2021. How different are fog collection and dew water harvesting on surfaces with different wetting behaviors?. **ACS Applied Materials & Interfaces**, 13(40), 48322-48332.
- ONU (Organização das Nações Unidas)**, www.sabesp.com.br, acessado em: 20/06/2015. Resolução. CONAMA 357/2000. www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705, accessed in 23/06/2015.
- Rocha B.C.C.M.; Araújo J.V.G. e Reis R.P.A. 2009. Caracterização de águas de chuva coletadas em coberturas de diferentes materiais visando a concepção de sistemas prediais de aproveitamento de água. **Anais do XI Simpósio Nacional de Sistemas Prediais**. Disponível em: <http://www.cesec.ufpr.br/sispred/>, acessado em: 12/06/2015, 2009.
- Rodrigues, A. M., Formiga, K. T. M., & Milograna, J. 2023. Integrated systems for rainwater harvesting and greywater reuse: a systematic review of urban water management strategies. **Water Supply**, 23(10), 4112–4125. <https://doi.org/10.2166/ws.2023.240>.
- Tomaz, P. 2016. **Aproveitamento da água da chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. Disponível em: <http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Capitulo%2000%20Introdu%C3%A7%C3%A3o.pdf> Último acesso em 22 de junho de 2016.



Tundisi, J.G. **Água no Século XXI. Enfrentado a Escassez**. 2003. Disponível em: www.multiciencia.unicamp.br, cessado em: junho de 2015.

Tundisi, J.G. and Matsumura-Tundisi, T. 2011. **Recursos Hídricos no século XXI**. São Paulo: Oficina de Textos.

Zanni, S., Cipolla, S. S., Fusco, E. di, Lenci, A., Altobelli, M., Currado, A., Maglionico, M., & Bonoli, A. 2019. Modeling for sustainability: Life cycle assessment application to evaluate environmental performance of water recycling solutions at the dwelling level. *Sustainable Production and Consumption*, 17, 47–61.
<https://doi.org/10.1016/j.spc.2018.09.002>