



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe>



Viabilidade econômica da implantação de sistemas de reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em um bloco universitário no semiárido brasileiro

Emerson Thiago da Silva¹, Artur Paiva Coutinho², José Martins de França Neto³, Severino Martins dos Santos Neto⁴, Aline Lima de Oliveira⁵, Antônio Celso Dantas Antonino⁶

¹ Estudante do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Centro Acadêmico do Agreste, Universidade Federal de Pernambuco, Av. Marielle Franco, s/n, Nova Caruaru, Caruaru, Pernambuco, CEP 55.014-900. Email: emerson.thiago@outlook.com; ² Prof. Dr UFPE, Centro Acadêmico do Agreste. E-mail: arthur.coutinho@yahoo.com.br; ³ Estudante do Programa Pós-Graduação em Tecnologias Energéticas e Nucleares, UFPE. E-mail: jmfrancaneto@gmail.com; ⁴ Dr. UFPE, Departamento de Energia Nuclear. E-mail: martinsdsn@gmail.com; ⁵ Estudante da Área Básica de Ingresso – Engenharia, UFPE. E-mail: alinelimadeoliveira.alo@gmail.com; ⁶ Prof. Dr., Departamento de Energia Nuclear, UFPE. E-mail: acdantonino@gmail.com.

Artigo recebido em 20/01/2020 e aceito em 27/09/2020

RESUMO

Técnicas como aproveitamento de águas pluviais e reuso de águas cinzas apresentam-se como importante ferramenta de gestão ambiental, principalmente em regiões que possuem característica de escassez de recursos hídricos, a exemplo da região semiárida brasileira. No intuito de verificar a viabilidade dessas técnicas, esse trabalho avaliou duas propostas de projetos de reaproveitamento num bloco universitário, localizado na região semiárida do estado de Pernambuco. Num primeiro caso (Caso A) os reservatórios de acumulação de águas pluviais e cinzas foram dimensionados separadamente. No segundo caso (Caso B), foi considerado um único reservatório para armazenamento dessas águas. A viabilidade econômica para implantação dos sistemas foi avaliada a partir do cálculo do tempo de retorno e do valor presente líquido (VPL). Foi verificado que ambos os projetos são viáveis quanto ao tempo de retorno do investimento e racionalidade de uso água, não sendo evidenciadas diferenças significativas entre os mesmos

Palavras-chave: escassez hídrica; águas residuais; armazenamento; método de Rippl; tempo de retorno

Economic viability of implementing greywater and rainwater reuse systems in a university block in the Brazilian semiarid

ABSTRACT

Techniques such as rainwater harvesting and greywater reuse are important environmental management tools, especially in regions with scarce water resources, such as the Brazilian semiarid region. To verify the viability of the techniques, this work evaluated two proposals for reuse projects in a university block, located in the semiarid region of the state of Pernambuco. In the first case (Case A) the rainwater and greywater accumulation reservoirs were sized separately. In the second case (Case B), it was considered a single reservoir for the storage of the waters. The economic viability for the system's implementation was evaluated by calculating the payback and the Net Present Value (NPV). It was found that both projects are viable in terms of return on investment time and rational use of water, with no significant differences between them.

Keywords: water scarcity; residual waters; storage; Rippl's method; payback.

Introdução

O contínuo crescimento populacional traduz em grande preocupação no que diz respeito ao planejamento das cidades e utilização dos recursos hídricos. Dentre os vários aspectos atrelados, Wang et al. (2019) apontam a escassez de água para consumo como um dos problemas globais mais críticos. Silva et al. (2019) indicam que devido ao crescimento populacional, a

escassez de água tende a aumentar significativamente nas próximas décadas, podendo ocasionar problemas regionais em diversos aspectos.

Fatores relacionados a causas naturais, como variações climáticas e secas regionais prolongadas, potencializam as adversidades relacionadas à escassez dos recursos hídricos. Resultando na redução da demanda por água e na

busca por alternativas para o abastecimento e gestão sustentável dos recursos hídricos a longo prazo (PAVOLOVÁ et al., 2019). Concernente a isso, Santos et al. (2013) destacam um cenário em que a busca por soluções que não se limitam a práticas de gestões tradicionais é crescente.

No contexto de gestão dos recursos hídricos, Andrade et al. (2017) ressaltam que, no intuito de promover a conservação da água, pode-se atuar tanto na gestão da demanda quanto na gestão da oferta. Dentre as diversas possibilidades para minimizar a escassez dos recursos, Takagi et al. (2019) destacam o uso de água reciclada, água do mar dessalinizada, água cinza reutilizada, água subterrânea e água de chuva como fontes alternativas de água. Conforme Cunha et al. (2011), os sistemas que apresentam maior aplicabilidade são o aproveitamento de água pluviais e o reuso de água cinza, principalmente pela facilidade de coleta e armazenamento em nível doméstico, não requerendo aplicações de tecnologias sofisticadas. Ghisi e Ferreira (2007) indicam que o uso de águas de chuva e/ou águas cinzas podem substituir água para usos não potáveis, como lavagem de banheiros, máquinas de lavar e irrigação.

O uso de sistemas de coleta e armazenamento da água de chuva é uma prática exercida historicamente em muitas regiões do mundo. A utilização desses sistemas pode traduzir em uma forma de abastecimento distribuído, fornecendo água nos pontos ou próximos aos locais onde são necessários, evidenciando uma série de benefícios (Di Matteo et al., 2019; Mugo e Odera et al., 2019), que vão desde a economia e segurança no fornecimento de água até a mitigação de inundações em grandes centros urbanos.

Diversos estudos, realizados em diferentes contextos e condições apontam os benefícios ambientais promovidos pela reutilização de águas de chuva. Analisando a eficiência do reuso de águas de chuva em contextos urbanos, Petit-Boix et al. (2018), verificaram que o volume de água captado foi suficiente para suprir mais de 75% da demanda de água para lavagem de roupa e banheiro nas cidades de Calafell (Catalunha, Espanha) e Ukiah (Califórnia, EUA).

A reutilização de águas cinzas, que são águas residuais domésticas de lavatórios/banheiras e lavadoras, conforme Costa et al. (2018), tem atraído bastante atenção do mercado imobiliário, porém ainda esbarra na desconfiança dos moradores que têm receio em utilizá-la. De acordo com Zraunig et al. (2019), a água cinza tem se destacado, porque é menos poluída organicamente do que a água residual doméstica (que inclui água

de vaso sanitário). Além da economia, um dos fatores de destaque da reutilização de águas cinzas diz respeito a redução do volume total de efluentes enviados para estações de tratamento (PENN et al., 2013).

Gonçalves et al. (2010) analisaram a aplicação de sistemas de reuso de águas cinzas e verificaram uma redução de 33% no consumo de água e economia de 22% para uma residência, com tempo de retorno entre 5 e 8,5 anos. Enquanto que, para um hotel, houve redução de 29% no consumo de água, com tempo de retorno de, aproximadamente, 4 anos.

Apesar do impacto evidente, a utilização de fontes alternativas de água isoladamente pode não ser suficiente para justificar o investimento nesses sistemas. Assim, o uso combinado de duas ou mais fontes alternativas de água podem proporcionar maior economia. Leong et al. (2018) avaliaram a aplicação de sistemas combinados de reuso de águas cinzas e pluviais em edificações residenciais e comerciais. Os autores destacaram que, no caso de uso doméstico, deve-se priorizar o reuso da água de chuva e complementar a demanda com o reuso das águas cinzas e o inverso deve ser aplicado para edificações comerciais, justificado pelas condicionantes de desempenho dos sistemas, a exemplo da área de telhado das edificações, capacidade de armazenamento e rotatividade da demanda, que apresentam perfis inversos ao comparar edificações residenciais e comerciais.

Entretanto, as implicações ambientais e financeiras para aplicação desses sistemas devem ser consideradas, garantindo o melhor desempenho e gestão dos sistemas. Conforme Marinovski e Ghisi (2019), a falta de informações sobre o uso integrado dessas fontes alternativas de água dificulta a ampla aplicação desses sistemas. Uma das lacunas que levam à insegurança em relação à aplicação dos sistemas de reuso consiste na análise do investimento e do seu retorno. Em regiões com características de escassez hídrica, esse tipo de análise se torna ainda mais necessária, em vista às incertezas quanto a disponibilidade de água.

Nas regiões semiáridas, a implantação de políticas públicas e alternativas de gestão hídrica são fundamentais, devido aos crescentes desafios existentes. Inserida na região semiárida do estado de Pernambuco, nordeste brasileiro, o município de Caruaru apresenta histórico de colapso de seus principais mananciais de abastecimento e característica de baixa disponibilidade hídrica subterrânea. Com isso, é verificado um cenário de limitação quanto ao fornecimento de água através dos sistemas de distribuição tradicionais.

Além disso, o município se destaca por apresentar grande potencial de desenvolvimento econômico, com população em amplo crescimento, além dos altos registros de população flutuante. Nesse sentido, propostas que apresentem fontes alternativas de captação de água e redução do consumo se tornam necessárias para a manutenção ou crescimento econômico da região.

Com base nesse cenário, esse trabalho se propõe a simular e comparar a aplicação de dois projetos de sistemas de reutilização combinada de águas cinzas e pluviais. As simulações serão realizadas em um caso real de estudo de um edifício público, verificando seu potencial de redução de consumo e o tempo de retorno de investimento. Assim pretende-se colaborar para a disseminação desse tipo de alternativa que possui grande potencial para redução dos impactos ambientais e socioeconômicos que afetam a região semiárida do nordeste brasileiro.

Material e métodos

Área de estudo

O presente trabalho foi realizado em um edifício público, localizado no município de Caruaru, mesorregião agreste do estado de Pernambuco, nordeste brasileiro. O edifício estudado pertence ao Centro Acadêmico do Agreste, da Universidade Federal de Pernambuco, compreendendo o Bloco K da referida instituição (Figura 1). O clima do município de Caruaru é do tipo semiárido BSh (clima das estepes quentes de baixa latitude e altitude), segundo o modelo de Köppen.

Em relação ao regime pluviométrico, verifica-se que as variações temporais anuais demonstram uma irregularidade característica de regiões semiáridas. Para esse estudo, foi observada a média do regime pluviométrico de uma série histórica compreendida entre os anos de 2007 a 2017 (Figura 2), registrado pelo posto pluviométrico de nº 00835106, operado pela Agência Nacional de Águas (ANA), localizado a 12,3 Km da área de estudo.

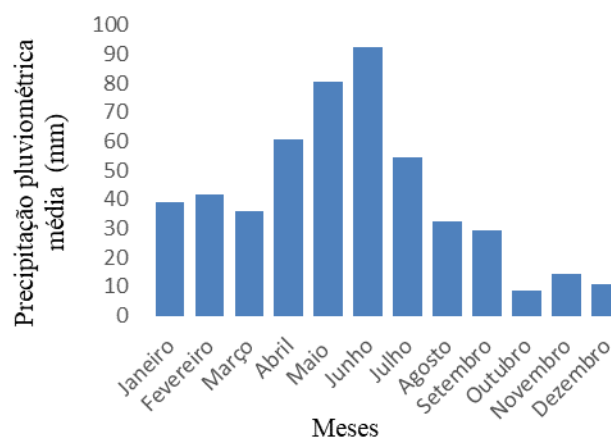


Figura 2. Regime pluviométrico da área de estudo (posto pluviométrico de nº 00835106), observado para uma série histórica entre os anos de 2007 e 2017.

Demanda de água e oferta de reuso

Na Tabela 1 são apresentados os ambientes que compõem o bloco em estudo, a quantidade máxima de usuários estimada e o consumo em relação ao ambiente da edificação. O bloco é composto por 4 pavimentos de ambientes distintos, com área aproximada de 255,9 m² por pavimento, com um uso máximo previsto de, aproximadamente, 348 pessoas.

Tabela 1. Relação dos ambientes componentes da edificação em estudo e a quantidade estimada de usuários

Ambiente	Área (m ²)	Piso	Qtd. de Ambientes	Nº de Usuários
Sala de professores	9,22	3	24	48
Sala de reunião e seminários	17,89	3	1	4
Sala de aula	32,96	2	1	20
Sala de aula	33,86	2	2	40
Sala de reunião de conferência	33,86	2	1	20
Secretaria	8,72	2	1	1
Secretaria	8,92	2	2	2
Coordenação	9	2	1	1
Coordenação	9,22	2	2	2
Sala do prof. Visitante	8,54	2	1	1
Sala de Aula	32,96	1	1	20
Iniciação científica	33,86	1	1	20
Sala de aula	33,86	1	2	40
Lab. De Geoprocessamento	33,86	1	1	20
Lab. Industriais e automação	13	1	1	20
Sala de reunião e seminários	22,8	1	1	4
Sala de alunos da pós	8,82	1	1	2
Sala prof. visitante	8,5	1	1	1
Secretaria da pós	8,54	1	1	1
Lab. de transportes	52,25	Térreo	1	20
Lab. de física	52,25	Térreo	1	20
Lab. do semiárido	52,25	Térreo	1	20
Lab. de química	70,64	Térreo	1	20
Sala de rede	8,05	Térreo	1	1
Total			51	348

O consumo per capita, gerador de efluentes domésticos, foi classificado conforme ABNT NBR 7229/93. No qual, o bloco foi enquadrado nas situações “escola em regime de semi-internato”, para os ambientes relacionados às salas de aula (consumo de 100 L/dia/pessoa); e “edifícios comerciais ou escritórios”, para os demais ambientes (consumo de 50 L/dia/pessoa). Portanto, o consumo total máximo estimado foi de 24,5 m³/dia ou 759,5 m³/mês (considerando o mês com 31 dias).

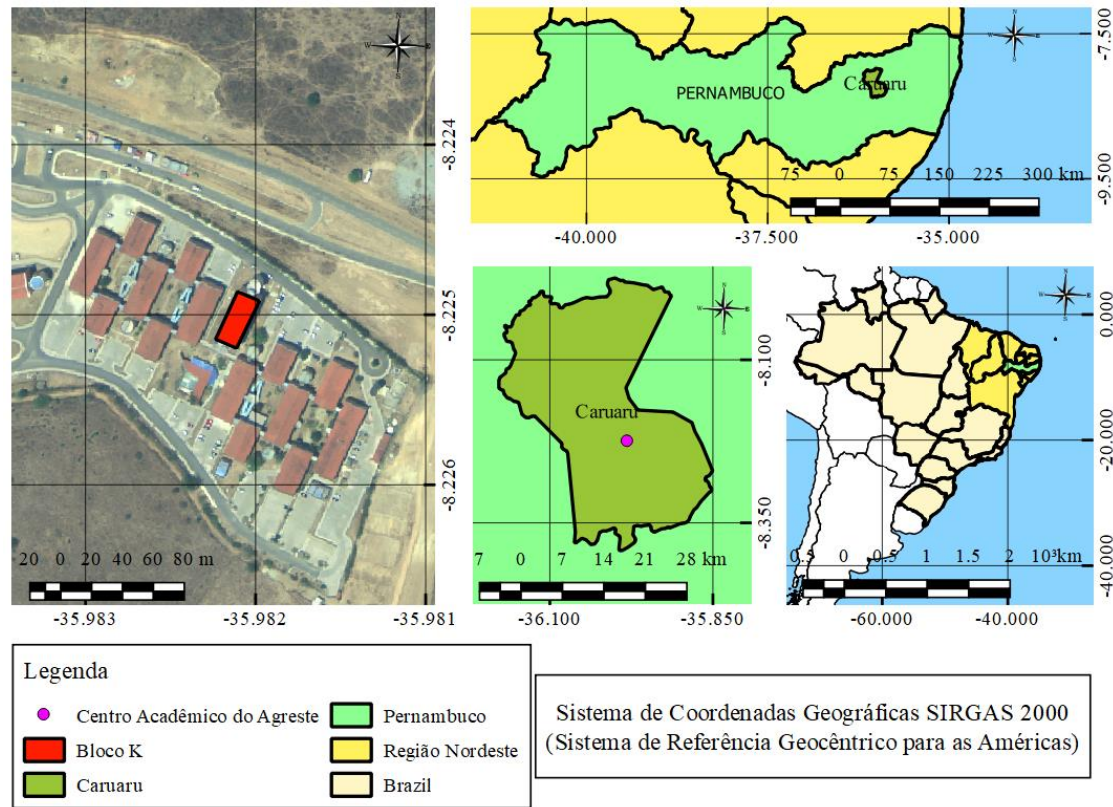


Figura 1. Área de estudo, destacando a região nordeste do Brasil, o estado de Pernambuco, o município de Caruaru e a edificação em estudo

Quanto ao percentual de geração de efluentes de cada terminal, em relação ao consumo total máximo, foi considerada uma média baseada nos dados observados nos estudos do DECA (2017), Prédio na USP (DECA, 2017) e PNCDA - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água (BRASIL, 1998), conforme metodologia de Gonçalves (2006), como apresentado na Tabela 2.

Tabela 2. Estimativa do percentual de contribuição dos aparelhos hidrossanitários em relação à contribuição total

Terminal Hidráulico	Simulação DECA	Prédio USP	PNCDA	Médias
Bacia Sanitária	14%	29%	5%	16%
Pia	12%	6%	8%	8,7%
Chuveiro	47%	28%	55%	43%

Entretanto, para a análise proposta nesse trabalho, foi considerado que o uso das águas pluviais e cinzas seriam destinados apenas aos consumos relativos aos dispositivos “vaso sanitário” e “mictório”, que se relacionam à Tabela 3 como o terminal “bacia sanitária”. Sendo assim,

foi apontado um consumo aproximado de 16% do total estimado (759,5 m³/mês), resultando em uma demanda de 121,52 m³/mês.

A oferta de águas cinzas foi determinada com base no potencial de geração desses efluentes no prédio em estudo. Para tal, foi realizado um levantamento dos aparelhos hidrossanitários instalados na edificação, no qual, foi verificada a não instalação de chuveiros, ou seja, o único aparelho a gerar águas cinzas são as pias instaladas nos banheiros, que correspondem a uma contribuição de 8,7% da demanda total de água (conforme Tabela 2), totalizando 66,07 m³/mês.

Por fim, a oferta de águas pluviais foi determinada em consideração ao seu potencial de acumulação, relacionando o regime pluviométrico apresentado e área de captação correspondente à área de cobertura do bloco, ou seja, 255,9 m².

Sistemas propostos

Foram propostos dois sistemas (casos A e B) para avaliar o impacto do reuso de águas pluviais e cinzas e sua viabilidade. Para o caso A (Figura 3A), o sistema será constituído por um reservatório de captação de águas pluviais e um

reservatório de captação de águas cinzas. Além disso, contará com um filtro de areia para o tratamento das águas cinzas e um reservatório de desinfecção para ambos efluentes. Ainda, serão considerados reservatórios de acumulação (reservatório inferior com 70% do volume) e distribuição (reservatório superior com 30% do volume) para a estocagem e direcionamento dos efluentes tratados e desinfetados.

Nesse caso, o volume do sistema de acumulação de águas pluviais foi calculado seguindo o Método de Rippl (ABNT NBR 15527/2007). Para tal, foi fixada uma oferta de 10 m³/mês, correspondendo a, aproximadamente, 8% da demanda para o reaproveitamento (121,52 m³/mês), em vista que o potencial de armazenamento de água de chuva é limitado na região semiárida. Além disso, foi considerada a série histórica de chuvas (Figura 2) e área de captação apresentadas. Já o volume do reservatório de acumulação águas cinzas foi determinado com base no volume de oferta calculado (66,07 m³/mês).

No caso B (Figura 3B), é considerado apenas um reservatório de captação para as águas pluviais e cinzas. Para esse caso, o volume do sistema se deu em conformidade ao somatório do seu potencial de acumulação, relacionado ao regime pluviométrico mensal (Figura 2) e a oferta de águas cinzas determinada (66,07 m³/mês). Além disso, devido a junção no sistema de captação, o filtro de areia para tratamento será dimensionado para ambos efluentes armazenados. Ademais, os reservatórios de desinfecção, acumulação e distribuição seguirá em conformidade com o caso A.

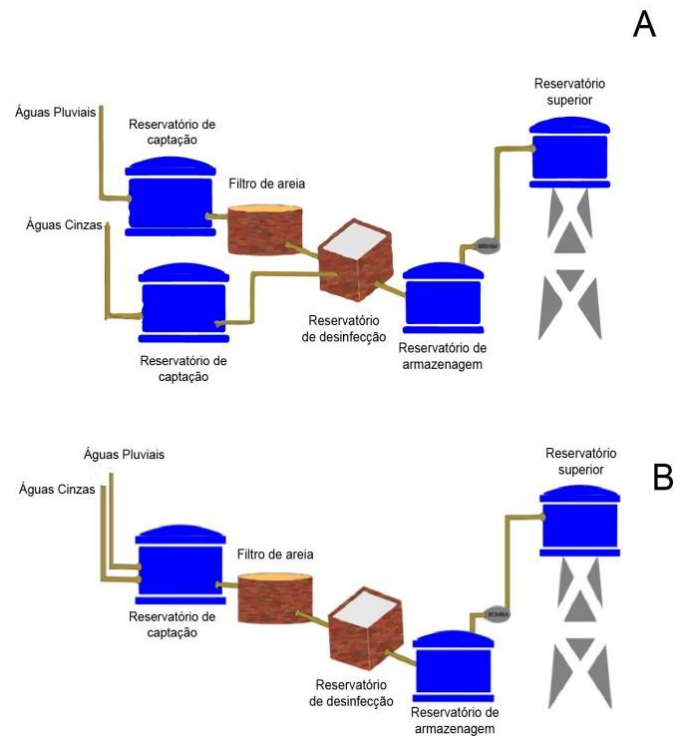


Figura 3. (A) - Esquema representativo do caso A; (B) - Esquema representativo do caso B.

No Caso A, o reservatório de captação de águas pluviais será concebido em concreto armado, enquanto que os reservatórios de captação de águas cinzas, acumulação e distribuição serão circulares, de polietileno, definidos com diâmetros comerciais. No caso B, todos os reservatórios serão circulares de polietileno. Em ambos os casos, o projeto hidráulico foi desenvolvido conforme a ABNT NBR 5626/1998. Com base nos dados do projeto de altura geométrica, de sucção e recalque, bem como os valores da perda de carga e de vazão, considerando a cota do reservatório inferior ao nível do terreno e do reservatório superior na cota do telhado da edificação (29 m), foi possível escolher a bomba, com o auxílio da tabela de motobombas da marca Schneider.

O dimensionamento do diâmetro do filtro de areia se deu conforme a ABNT NBR 13969/97 e seguindo a metodologia proposta por Junior e Martins (2016), ou seja, em função da taxa de aplicação superficial, em conformidade com a Equação 1.

$$TAS = \frac{Q}{A} \quad (1)$$

Em que TAS é a taxa de aplicação superficial [L/m². dia]; Q é a vazão de tratamento [L/dia]; e A é a área da seção transversal do filtro [m²].

O filtro será constituído por um leito de areia de 1 m, uma camada suporte de brita nº 1 com profundidade de 10 cm e uma camada inferior de aeração com brita nº 4, de 20 cm. O reservatório de desinfecção que, em ambos os casos, engloba a vazão total, foi considerado com as mesmas dimensões úteis para os dois casos, sendo 1,3 x 1,65 x 1,3 metros (largura, comprimento e altura, respectivamente), concebido em alvenaria de tijolos maciços.

Análise de viabilidade dos sistemas

Inicialmente foram desenvolvidos orçamentos para cada caso, avaliando os custos dos materiais componentes dos sistemas (peças hidrossanitárias, reservatórios e bombas hidráulicas), além da mão de obra empregada e o custo de manutenção dos sistemas envolvidos. Como ferramenta orçamentária, foi utilizada a tabela SINAPI (05/2018), referente à cidade de Recife, capital do estado de Pernambuco, de modo a subsidiar a composição e os custos dos serviços.

Em relação aos materiais componentes do sistema, além dos dispositivos hidrossanitários dimensionados e verificados na tabela SINAPI (05/2018), foram consideradas implantações de composições hidráulicas (a exemplo de cola de PVC, solução limpadora PVC, braçadeira de metal para tubulação, entre outros) que, conforme estimativa de Cavalcante (2017), representam 60% dos custos com a tubulação.

A mão de obra foi estipulada em relação ao tempo estimado para execução dos serviços e com auxílio da tabela de produtividade média de cada profissional da SINAPI (05/2018) e do SBD (Sistema Brada de Dados & Associados, 2015), verificando o custo da hora trabalhada. Já as tarifas de manutenção, foram calculadas em referência a desinfecção, consumo da bomba e manutenção do filtro de areia.

A análise de viabilidade, propriamente, consistiu no cálculo do valor de apresentação (VPL), do TIR e o período de retorno (PBP), conforme Equações 2, 3 e 4, verificando a economia de água e dos custos, gerada pelos sistemas.

$$VPL = \sum \left(\frac{P}{(1+i)^t} \right) - C \quad (2)$$

Em que o VPL é o valor presente líquido [R\$], P representa o fluxo de caixa líquido no período [R\$] i representa a taxa de desconto, de juros ou de retorno[%], t representa a quantidade de períodos em análise [T] e C representa o valor do investimento inicial [R\$].

$$VP = \text{Capital} + \sum_{t=1}^N \frac{Ft}{(1+i)^t} \quad (3)$$

Sendo VP o valor presente que sempre vai ser igual a 0 (zero); o capital é o valor do investimento inicial e deve ser informado de forma negativo; N é a quantidade de períodos. Ft é o valor da entrada de dinheiro no período t; e i é a taxa interna de retorno (TIR) dada em porcentual.

$$PBP = \frac{\text{Investimento inicial}}{\text{Ganho no período}} \quad (4)$$

O *Payback* (PBP) ou apenas período de retorno, relaciona o investimento inicial em reais com o ganho no período em reais por mês, e retorna esse período em meses.

Como embasamento, as análises foram relacionadas às tarifas aplicadas pela concessionária de abastecimento de água da região, no ano de 2018, sendo R\$ 58,72 para um consumo limite de 10 m³/mês e, a cada metro cúbico excedente, R\$ 8,91.

Resultados e discussão

Análise do consumo de água

Para o Caso A, com uma oferta de 10 m³/mês de águas pluviais fixadas com a reservação separada, somada a uma oferta 66,07 m³/mês de águas cinza provenientes das pias, é verificado um total de 76,07 m³/mês de águas reaproveitáveis, que representa, aproximadamente, 62,6% do total demandado. Com isso, há uma redução do consumo de água para uso nas bacias sanitárias de 121,52 m³/mês para 45,45 m³/mês (37,4%).

Em relação ao Caso B, foi realizado um balanço considerando o consumo do vaso sanitário, a oferta de águas cinza da edificação e a oferta de águas pluviais variando ao mês, de acordo com o regime pluviométrico da região, conforme demonstrado na Tabela 3.

Tabela 3. Balanço da oferta de águas cinzas do Caso B

O mês de junho registra o maior volume de reuso (84,95 m³), representando 69,90% do total. O pior desempenho (menor volume de reuso) foi verificado para o mês de outubro, que apresenta um potencial de reutilização de 67,87 m³ de água.

Ao realizar uma comparação entre os dois casos estudados, demonstrada no gráfico da Figura 4, verifica-se que o caso A, para a maioria dos meses do ano, registra maiores economias no consumo de água. Entretanto, nos meses mais chuvosos (abril, maio, junho e julho), o caso B passa a ser mais vantajoso em termos de economia de água.

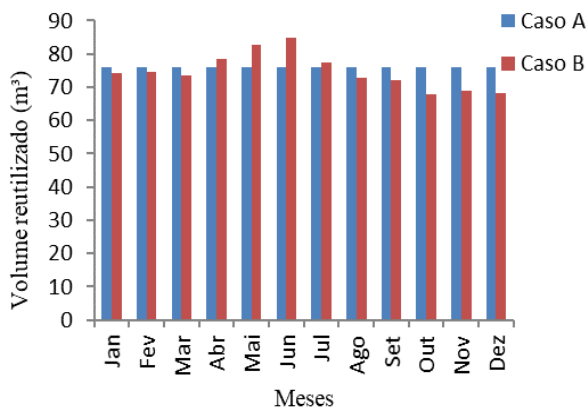


Figura 4. Volume de efluente reutilizado ao longo de um ano

Considerando o acumulado anual, o caso A representa um potencial de reutilização de 912,84 m³ de água, enquanto que, com o caso B, pode-se reutilizar um volume de 895,26 m³ (1,92% inferior ao caso A). Comparando com a demanda de água anual (1458,24 m³), o caso A representa uma redução de 62,58% e o caso B de 61,39%, o que indica que o potencial de redução de consumo está na mesma ordem de grandeza, não representando diferenças significativas. Marinoski & Ghisi (2019), avaliando a economia média potencial de água, com a implantação de um sistema combinado de aproveitamento de águas pluviais e cinzas em residências, verificaram uma redução de 41,9% do volume de água consumido, o que pode sugerir um maior potencial de aplicação desses sistemas em blocos universitários.

Dimensionamento dos sistemas

Na Tabela 4 estão descritos os dados referentes à aplicação do método de Rippl para dimensionamento do reservatório do caso A. Com isso, foi verificada a restrição de 36 m³ de volume

Mês	Consumo do vaso (m ³ /mês)	Oferta de águas cinzas (m ³ /mês)	Oferta de águas pluviais (m ³ /mês)	Volume a ser reutilizado (m ³ /mês)	Volume sem reuso (m ³ /mês)
Jan	121.52	66.07	7.96	74.03	47.49
Fev	121.52	66.07	8.5	74.57	46.95
Mar	121.52	66.07	7.34	73.41	48.11
Abr	121.52	66.07	12.45	78.52	43
Mai	121.52	66.07	16.48	82.55	38.97
Jun	121.52	66.07	18.88	84.95	36.57
Jul	121.52	66.07	11.17	77.24	44.28
Ago	121.52	66.07	6.67	72.74	48.78
Set	121.52	66.07	6.04	72.11	49.41
Out	121.52	66.07	1.8	67.87	53.65
Nov	121.52	66.07	2.93	69	52.52
Dez	121.52	66.07	2.2	68.27	53.25

para atendimento da demanda, em conformidade com o regime pluviométrico da localidade. Contudo, há a consideração de que o custo para concepção do reservatório cresce proporcionalmente à sua capacidade de armazenamento.

Portanto, com o objetivo de otimizar o volume do reservatório e minimizar seu custo, sem afetar significativamente o potencial de armazenamento, foi considerado um volume de 35 m³.

Ainda em relação ao caso A, o sistema de reservação de águas cinzas foi dimensionado considerando uma rotatividade diária da oferta desse efluente no prédio, ou seja, aproximadamente 2,14 m³/dia ou 2140 l/dia.

Do volume calculado foram considerados 70% (1498 litros) para serem alocados no reservatório de acumulação (inferior) e 30% (502 litros) no reservatório superior. Por fim, ao acrescentar a oferta diária de águas pluviais (aproximadamente 0,33 m³ ou 322 litros) ao reservatório de distribuição (superior) e adotando as dimensões comerciais de reservatórios, resultou, para o caso A, em um reservatório de águas pluviais de 35m³ de concreto; um reservatório de águas cinzas de 2000 litros e um reservatório de distribuição (superior) de 1000 litros circulares de polietileno.

Em relação ao caso B, foi adotado um volume de reservação suficiente para atender a situação extrema de acumulação de água, conforme

o regime pluviométrico local, observada para o mês de junho de, aproximadamente, 2,75 m³ ou 2750 litros, considerando a rotatividade diária. Portanto, foi estabelecido um reservatório de acumulação com capacidade para 2000 litros (70% do total) e um reservatório de distribuição de 1000 litros (30% do total), ambos com dimensões comerciais circulares de polietileno.

Sistema	Consumo de água da concessionária (m ³ /mês)	Tarifa (R\$)	Manutenção (R\$)	TOTAL (R\$)
Tradicional	121,52	1052,16	-	1052,16
Caso A	45,45	374,37	18,35	392,72
Caso B (média)	46,91	387,38	18,35	405,73

Quanto ao dimensionamento da seção transversal do filtro de areia, para aplicação da Equação 1, foi considerado um valor de 100L/dia.m² para a taxa de aplicação superficial (TAS), conforme recomendação da NBR13969/97. Assim, para o caso A, considerando uma vazão de tratamento de 2123,3l/dia (referente à oferta de águas cinzas), a diâmetro calculado para o filtro do filtro é de 5,2 metros. No caso B, com uma vazão de tratamento de 2732,33 l/dia (maior vazão ao longo do ano), foi estabelecido um diâmetro de 5,9 metros.

A bomba escolhida foi a de modelo SP-12C, bomba centrífuga com motor elétrico monofásico, potência de 0,49HP, bocais 1”x3/4”, diâmetro do rotor de 110mm, HM/Q=6mca / 8,3m³/h a 20mca / 1,2 m³/h. A tabela SINAPI (05/2008) fornece o valor deste tipo de bomba.

Custo para instalação e manutenção dos sistemas

Na Tabela 5 estão apresentados os dados referentes aos custos para instalação dos sistemas hidráulicos, sanitários e pluviais, obtidos com a aplicação da tabela SINAPI (05/2008), para ambos os casos, em vista que suas instalações internas seguirão o mesmo padrão construtivo.

Tabela 4. Aplicação do método de Rippl

Em relação aos custos com materiais e serviços de execução, foi observado um custo total de R\$ 15.156,40, sendo o sistema sanitário o mais custoso (R\$ 5.736,26), com um custo 7,51% superior às instalações pluviais (R\$ 5.304,91).

Tabela 5. Custos para instalação dos sistemas

Para a determinação dos custos com mão de obra, foram verificados os custos da utilização de um encanador e um servente. Conforme Cavalcante (2017) o tempo estimado que esses profissionais necessitam para execução dos serviços de instalação, é de 1 hora para um ponto de água fria; 0,65h para um ponto sanitário; e 0,4h para um ponto de água pluvial.

Com base nessas informações, considerando a quantidade de pontos verificados no levantamento realizado e com o valor das horas de trabalho fixados na tabela SINAPI (05/2008),

Tabela 6. Custos gerais finais

foram estimados os custos com a mão de obra para execução dos três sistemas de instalações.

Meses	Precipitação (mm)	Área de Captação (m ²)	Volume de chuva (m ³)	Volume Acumulado (m ³)	Demanda (m ³ mês)	Balanco	Teste	Rippl		
Janeiro	38.9	255.9	8.0	8.0	10.0	2.0	S	2.0		
Fevereiro	41.5	255.9	8.5	16.5	10.0	1.5	D	3.5		
Março	35.8	255.9	7.3	23.8	10.0	2.7	S	6.2		
Abril	60.8	255.9	12.5	36.3	10.0	-2.5	E	3.7		
Mai	80.5	255.9	16.5	52.7	10.0	-6.5	E	0.0		
Junho	92.2	255.9	18.9	71.6	10.0	-8.9	E	0.0		
Julho	54.5	255.9	11.2	82.8	10.0	-1.2	E	0.0		
Agosto	32.6	255.9	6.7	89.5	10.0	3.3	D	3.3		
Setembro	29.5	255.9	6.0	95.5	10.0	4.0	D	7.3		
Outubro	8.8	255.9	1.8	97.3	10.0	8.2	S	15.5		
Novembro	10.4	255.9	2.9	100.2	10.0	7.1	S	22.6		
Dezembro	19.8	255.9	2.2	102.4	10.0	7.8	S	30.5		
Projeto										
		Custo com tubulação (R\$)	Custo com implantação (R\$)	Custo total (R\$)	Custo do encanador (R\$/hora)	Custo do servente (R\$/hora)	Duração do serviço (horas)	Custo total do encanador (R\$)	Custo total do servente (R\$)	Custo total (R\$)
Hidráulico	32	1.582,78	2.532,45	4.115,23	12,56	8,90	1	401,92	284,80	686,72
Sanitário	28	2.206,25	3.530,01	5.736,26	12,56	8,90	0,65	228,59	161,98	390,57
Pluvial	23	2.040,35	3.264,56	5.304,91	12,56	8,90	0,41	118,44	83,93	202,37
TOTAL	83	5.829,38	9.327,02	15.156,40	37,68	26,70	2,06	748,95	530,71	1.279,66
										16.254,06

Sistema	Consumo de água da concessionária (m ³ /mês)	Tarifa (R\$)	Manutenção (R\$)	TOTAL (R\$)
Tradicional	121,52	1052,16	-	1052,16
Caso A	45,45	374,37	18,35	392,72
Caso B (média)	46,91	387,38	18,35	405,73

O sistema hidráulico de água fria representou o maior custo (R\$ 686,72), ou seja, 53,66 % do total com mão de obra (R\$ 1.279,66), enquanto que o sistema pluvial foi o menos oneroso (R\$ 202,37).

Somando os custos com materiais, serviços e mão de obra para instalação de todos os pontos dos três sistemas, foi verificado um valor total de R\$ 16.436,06, no qual, o sistema de instalações sanitárias representou o maior custo (R\$ 6.126,83), sendo 37,27 % do total e 3,77% superior ao de águas pluviais (R\$ 5.507,28). O hidráulico apresentou um custo de R\$ 4.801,95 ao final, representando 29,23% do total.

Na Tabela 6 estão apresentados os custos totais, englobando os valores relativos aos materiais dos reservatórios (captação, acumulação, distribuição e desinfecção), filtros de areia, conjunto motor-bomba, mão de obra para a execução dos reservatórios e a instalação dos sistemas (obtido da Tabela 5).

É possível observar que o caso B, que apresenta um custo inicial de R\$ 23.304,50, é ligeiramente inferior (8,25 %, aproximadamente) ao caso A, que registra um custo inicial de R\$ 25.400,71.

Em relação à manutenção, foram considerados custos referidos a desinfecção, consumo da bomba e manutenção do filtro de areia.

Para a desinfecção será utilizada uma pastilha de cloro por mês, no valor de R\$10,90 a unidade; para a bomba, dada à potência de 368watts e recalque de 2,1m³/h para 16mca, foi calculado um tempo de funcionamento de 0,48h, totalizando 5,3 KWH ao mês, por uma tarifa cobrada de R\$0,49 por KWH pela companhia de energia local; para o filtro de areia, foi considerada uma retirada, anual da camada superficial de areia, cerca de 5 cm. Assim, foi totalizado um custo mensal de R\$ 18,35 de manutenção.

Análise de viabilidade econômica

Na Tabela 7 estão apresentados os custos mensais com água adquirida junto à companhia sanitários, para os três casos considerados nesse trabalho: tradicional (sem reuso), caso A e caso B.

Tabela 7. Custos com água junto a concessionária para cada caso

Em comparação ao sistema tradicional, o caso A, que possui custo constante ao longo dos meses, representa uma redução de custo mensal de R\$ 659,28, ou seja, 62,65%. Em relação ao caso B, como há uma variação no consumo mensal de água, foi adotada uma média de custo mensal na análise. Com isso, foi verificada uma redução de R\$ 646,43 (61,43%), em relação ao sistema tradicional.

Ao comparar os casos com reuso, é verificado que não há uma diferença significativa (R\$ 12,28 ou 3,20%) em relação ao custo com água mensal, no qual o caso A apresentou-se ligeiramente mais vantajosa que o caso B. Considerando o custo anual, o sistema tradicional representa um custo de R\$ 12.625,92, enquanto que o caso A registra um custo de R\$ 4.712,64 e o caso B de R\$ 4.868,76. Assim, o caso A apresenta uma economia anual de R\$ 7.913,28 e o caso B de R\$ 7.757,16.

Esse resultado sugere que o dimensionamento com o método de Rippl, considerando a demanda estipulada de suprimento com água de chuva (10 m³), representa um número satisfatório ao relacionar a redução do consumo de água e o valor do investimento inicial para construção do reservatório. Souza et al. (2016), utilizando o método de Rippl, verificaram que o crescimento do percentual da demanda tornou o valor de investimento inviável. Assim, métodos de dimensionamento que realizem um balanço mensal mais rigoroso podem ser mais apropriados para esses cenários.

Portanto, o caso A apresentou tempo de retorno de 39 meses e o caso B de 36 meses. Apesar do caso A registrar uma maior economia anual, apresenta um maior tempo de retorno devido ao maior investimento inicial. Entretanto, a diferença entre os casos não possui ordem de grandeza significativa, demonstrando que ambos os casos possuem viabilidade.

Para edifícios residenciais, espera-se um tempo de retorno menor, pela pouca demanda e suprimento quase totalitário da demanda com água de reuso, conforme Kuchinski & Gastaldini (2017) encontraram para um edifício residencial em Santa Maria – RS retorno de 2 anos para o seu projeto de reuso de água cinza e água de chuva. Sant'anna & Monteiro (2013) encontraram um tempo de retorno de 36 meses para 19 edifícios residenciais estudados em Brasília.

Outro fator a ser considerado é a qualidade da água exigida após o tratamento, que pode elevar consideravelmente o tempo de retorno, a exemplo dos resultados obtidos por Nakadomari et al. (2015), que optaram por um tratamento em membrana, obtendo um tempo de retorno do investimento foi de 58 meses para um edifício residencial em São Paulo.

Para o cálculo do VPL, foi adotada a taxa da SELIC de dezembro de 2017, que era de 7%, e, com base no tempo de retorno, foi verificado um VPL de R\$ 22.911,67, sendo o investimento inicial de R\$ 25.400,71 e com entrada de R\$ 659,44 para o caso A e um VPL de R\$ 20.911,67 com investimento inicial de R\$ 23.304,50 e entrada de R\$ 646,43 para o caso B. Por fim, a TIR calculada para o caso A foi de 0,0622% e para o caso B de 0,1374%.

Considerações finais

Esse trabalho apresentou duas propostas de gestão sustentável da água, no entendimento que a busca por essas alternativas pode conduzir a benefícios ambientais significativos associados à diminuição dos transtornos com fornecimento de água municipal e com lançamento de efluentes sem tratamento em corpos hídricos.

Os projetos apresentados podem servir como ferramenta de apoio à tomada de decisão por parte de gestores, projetistas e pesquisadores para soluções que proporcionem uma redução na demanda de água e da poluição ambiental em uma região que sofre, historicamente, com a escassez de água.

Com a realização desse trabalho foi simulado que a implantação de sistemas de reaproveitamento de águas pluviais e cinzas é uma alternativa viável para esse tipo de edificação. Ambos os projetos estudados apresentaram significativas reduções no consumo de água mensal e anual e, assim, economias satisfatórias com o custo de água.

Os tempos de retorno de investimento para ambos os casos foram similares. Sendo assim, apesar da apresentação de uma ligeira diferença de economia de consumo e financeira, ambos os modelos propostos são viáveis.

Entretanto, os resultados simulados também demonstraram que é necessária uma precisão acerca dos dados de entrada para dimensionamento dos sistemas, para que os mesmos resultem em volumes de armazenamento eficazes, sem super ou subdimensionamento, de modo a garantir viabilidade ambiental, com

redução no consumo de água e viabilidade econômica, com menores custos de implantação.

Verifica-se, portanto, a necessidade da implantação de políticas públicas inovadoras, que incentivem a implantação de modelos de gestão sustentável dos recursos hídricos, principalmente em edificações públicas que, historicamente, registram situações de desperdício de água, causando severo impacto ambiental. Portanto, com os resultados observados nesse trabalho, evidencia-se a necessidade de disseminação dessas tecnologias, que são alternativas de gestão imprescindíveis para a região.

Agradecimentos

Os autores agradecem a Fundação de Amparo à Ciência e Tecnologia do Estado de Pernambuco (FACEPE) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo financiamento de bolsas de pesquisa aos autores, bem como, a Universidade Federal de Pernambuco (UFPE) e a Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA) pela disponibilidade dos dados para realização do estudo.

Referências

- Andrade, M. A. N., Lisboa, M. B., & Lisboa, H. D. M. (2017). Reservatório de ardósia para sistemas de aproveitamento de água de chuva. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, 22(3), 563-570.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 15527: Água de chuva – Aproveitamento de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis – Requisitos. (2007). Rio de Janeiro - RJ.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 5626: Instalação predial de água fria. (1998). Rio de Janeiro - RJ.
- Associação Brasileira De Normas Técnicas. NBR 13969: Tanques sépticos – Unidades de tratamento complementar e disposição final dos efluentes líquidos – Projeto, construção e operação. (1997). Rio de Janeiro - RJ.
- Cavalcante, G. F. F. (2017). Implantação do sistema de reuso de águas cinzas e aproveitamento de águas pluviais em um residencial multifamiliar de pequeno porte.

Trabalho de conclusão de curso – Universidade Federal da Paraíba.

- Costa, L. S da, de Oliveira, L. R., Castro, R. M., Castro, M. N., Almeida, L. F. O., & Carvalho, E. W. V. (2018). Avaliação de um equipamento protótipo para tratamento de águas cinzas com fins não potáveis. *Revista Internacional de Ciências*, 8(2), 149-167.
- Cunha, A. H. N., Oliveira, T. H. O., Ferreira, R. B., Milhardes, A. L. M., & Silva, S. D. C. (2011). O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. *Enciclopédia biosfera, Centro Científico Conhecer-Goiânia*, 7(13), 1225-1248.
- DECA. (2017). Economizadores Catálogo. Disponível em <<http://decabrasil.prod.acqua-sites.com/sites/>>. Acesso em: 13 de dezembro de 2017.
- Di Matteo, M., Liang, R., Maier, H. R., Thyer, M. A., Simpson, A. R., Dandy, G. C., & Ernst, B. (2019). Controlling rainwater storage as a system: An opportunity to reduce urban flood peaks for rare, long duration storms. *Environmental modelling & software*, 111, 34-41.
- Ghisi, E., & Ferreira, D. F. (2007). Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. *Building and Environment*, 42(7), 2512-2522.
- Gonçalves, R. F. (Coord.). (2006). Uso racional de água em edificações. in ABES, 2006. Rio de Janeiro - RJ.
- Gonçalves, R. F., Simões, G. M. S., & Wanke, R. (2010). Reuso de águas cinzas em edificações urbanas estudo de caso em Vitória (ES) e Macaé (RJ). *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: investigación, desarrollo y práctica*, 3(1), 120-131.
- Junior, R. M., & Martins, M. V. L. (2016). Dimensionamento de filtro de areia para tratamento de água cinza do bloco novo do im. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, 5(3).
- Kuchinski, V., & Gastaldini, M. D. C. C. Viabilidade técnica e econômica do aproveitamento das águas de chuva e cinza para consumo não potável em edifício residencial de Santa Maria (RS). *Revista DAE*, 15-19.
- Leong, J. Y. C., Chong, M. N., Poh, P. E., Vieritz, A., Talei, A., & Chow, M. F. (2018). Quantification of mains water savings from decentralised rainwater, greywater, and hybrid rainwater-greywater systems in tropical climatic conditions. *Journal of cleaner production*, 176, 946-958.
- Marinoski, A. K., & Ghisi, E. (2019). Environmental performance of hybrid rainwater-greywater systems in residential buildings. *Resources, Conservation and Recycling*, 144, 100-114.
- Mugo, G. M., & Odera, P. A. (2019). Site selection for rainwater harvesting structures in Kiambu County-Kenya. *The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Science*, 22(2), 155-164.
- Musayev, S., Burgess, E., & Mellor, J. (2018). A global performance assessment of rainwater harvesting under climate change. *Resources, Conservation and Recycling*, 132, 62-70.
- Nakadomari, D. K.; Paviani, I. D.; Rosado, O. A.; Petrangelo, W. F.; Borges, C. B. N. (2015). Projeto de reaproveitamento de água cinza de um prédio residencial para fins não potáveis. 13o simpósio de recursos hídricos do nordeste. Aracaju - SE.
- Pavolová, H., Bakalár, T., Kudelas, D., & Puškárová, P. (2019). Environmental and economic assessment of rainwater application in households. *Journal of cleaner production*, 209, 1119-1125.
- Penn, R., Schütze, M., & Friedler, E. (2013). Modelling the effects of on-site greywater reuse and low flush toilets on municipal sewer systems. *Journal of environmental management*, 114, 72-83.
- PNCDA - Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água. (1998) in Brasília: Programa Nacional de Combate ao Desperdício de Água, Ministério do Planejamento e Orçamento, Secretaria de Política Urbana.

- Petit-Boix, A., Devkota, J., Phillips, R., Vargas-Parra, M. V., Josa, A., Gabarrell, X., ... & Apul, D. (2018). Life cycle and hydrologic modeling of rainwater harvesting in urban neighborhoods: Implications of urban form and water demand patterns in the US and Spain. *Science of the total environment*, 621, 434-443.
- Sant'Ana, D., Boeger, L., & Monteiro, L. (2013). Aproveitamento de águas pluviais e o reúso de águas cinzas em edifícios residenciais de Brasília—parte 2: viabilidade técnica e econômica. *Paranoá: cadernos de arquitetura e urbanismo*, (10), 85-94.
- Santos, P. T. da S., dos Santos, S. M., Montenegro, S. M. G. L., Coutinho, A. P., de Moura, G. S. S., & Antonino, A. C. D. (2013). Telhado verde: desempenho do sistema construtivo na redução do escoamento superficial. *Ambiente Construído*, 13(1), 161-174.
- SBD (Sistema Brada de Dados & Associados (2015). Disponível em: <<http://ticianabadra.com.br/sbd/servicos.php>> Acesso em: 15 de maio de 2018.
- Silva, L. C. C. da, Oliveira Filho, D., Silva, I. R., e Pinto, A. C. V., & Vaz, P. N. (2019). Water sustainability potential in a university building—Case study. *Sustainable Cities and Society*, 47, 101489.
- Souza, J. F., Neto, M. R. F., Souza, M. A. S., & Veneu, D. M. (2016). Aproveitamento de água de chuva para usos não potáveis na Universidade Severino Sombra. *Revista Eletrônica TECCEN*, 9(1), 35-46.
- Tabela de produtividade. Disponível em: <<http://www.ebah.com.br/content/ABAAABn3wAJ/tabela-produtividade>> Acesso em: 10 de junho de 2018.
- Tabelas de seleção de bombas. Disponível em: <<http://www.schneider.ind.br/media/205160/tabela-de-selecao-schneider-motobombas>> Acesso em 12 de junho de 2018.
- Takagi, K., Otaki, M., Otaki, Y., & Chaminda, T. (2019). Availability and public acceptability of residential rainwater use in Sri Lanka. *Journal of Cleaner Production*.
- Wang, H., Asefa, T., Bracciano, D., Adams, A., & Wanakule, N. (2019). Proactive water shortage mitigation integrating system optimization and input uncertainty. *Journal of Hydrology*, 571, 711-722.
- Zraunig, A., Estelrich, M., Gattringer, H., Kissler, J., Langergraber, G., Radtke, M., ... & Buttiglieri, G. (2019). Long term decentralized greywater treatment for water reuse purposes in a tourist facility by vertical ecosystem. *Ecological Engineering*, 138, 138-147.