

Captação de águas pluviais para o aumento da resiliência e desenvolvimento de um desenho urbano sensível à água

Rainwater harvesting to increase resilience and develop a water-sensitive urban design

Recolección de agua de lluvia para aumentar la resiliencia y desarrollar un diseño urbano sensible al agua

Maycon Breno Macena da Silva

Mestrando, UFCG, Brasil
sbrenomacena@gmail.com

Ana Karoline Eloi de Araújo Dantas

Mestranda, UFPB, Brasil
anakarolineeloidantas@gmail.com

Andréa Carla Lima Rodrigues

Professora Doutora, UFCG, Brasil.
andreaufcg@gmail.com

RESUMO

O desordenado crescimento populacional nos centros urbanos tem aumentado a demanda por água e pressionado os mananciais de abastecimento. Sob esse viés, promover a implementação de medidas para viabilizar o uso sustentável da água torna-se extremamente necessário. Entre tais medidas, destacam-se os sistemas de aproveitamento de água de chuva (SAACs) como medida complementar à demanda de água potável do abastecimento público. Nessa perspectiva, com o presente trabalho objetivou-se conhecer o potencial do uso das águas pluviais no Complexo Habitacional Aluízio Campos, que possui capacidade para acomodar 4100 famílias no bairro Ligeiro, em Campina Grande, PB, região de clima semiárido. Trata-se de uma pesquisa de natureza quali-quantitativa, partindo da análise dos resultados de simulações realizadas no programa NETUNO, verificando a relação entre o potencial consumo de água potável e a possível substituição desse recurso por água proveniente dos SAACs, verificando também os volumes ideais dos reservatórios para as edificações unifamiliares e multifamiliares. As residências apresentaram maior potencial de economia que os edifícios, e isso está relacionado ao fator de ocupação e a área de interceptação das habitações. De forma global, os SAACs mostraram-se como uma tecnologia de relevante impacto no local de estudo, permitindo uma economia de água potável entre 16,9% e 17,89%. Constatou-se também que adicionar reservatórios de acumulação de águas pluviais ao projeto inicial não aumentaria em grandes proporções o custo total da obra e permitiria uma maior sustentabilidade no sistema de abastecimento. Logo, essa medida pode se configurar em uma importante ferramenta para gestão de demanda de água.

PALAVRAS-CHAVE: Sistemas de aproveitamento de água de chuva. Complexo Habitacional Aluízio Campos. Gestão de demanda de água.

ABSTRACT

The disordered population growth in urban centers has increased the demand for water and put pressure on water sources. Under this bias, promoting the implementation of measures to make sustainable water use viable is extremely necessary. Among such measures, rainwater recovery systems (SAACs) stand out as a complementary plan to the demand for drinking water from the public supply. In this perspective, this study aimed to understand the potential of rainwater use in the Aluízio Campos Housing Complex, which has the capacity to accommodate 4100 families in the Ligeiro neighborhood, in Campina Grande, PB, a region with a semiarid climate. This is a qualitative and quantitative research, based on the analysis of the results of simulations carried out in the NETUNO program, verifying the relation between the potential consumption of drinking water and the possible replacement of this resource by water from the SAACs, also checking the volumes ideal reservoirs for single-family and multi-family buildings. Homes had a greater potential for savings than buildings, and this is related to the occupancy factor and the area of interception of dwellings. Globally, SAACs proved to be a technology of significant impact in the study site, allowing savings in drinking water between 16.9% and 17.89%. It was also found that adding rainwater accumulation reservoirs to the initial project would not significantly increase the total cost of the work and would allow greater sustainability in the supply system. Therefore, this measure can be configured as an important tool for water demand management.

KEYWORDS: Rainwater utilization systems. Aluízio Campos Housing Complex. Water demand management.

RESUMEN

El desordenado crecimiento poblacional en los centros urbanos ha aumentado la demanda de agua y ha presionado los mananciales de abastecimiento. Bajo este sesgo, es extremadamente necesario promover la implementación de medidas para permitir el uso sostenible del agua. Entre estas medidas, se destacan los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia como una medida complementaria a la demanda de agua potable del abastecimiento público. En esa perspectiva, el presente trabajo se objetivó conocer el potencial del uso de las aguas pluviales en el Complejo habitacional Aluízio Campos, que posee capacidad para acomodar a 4100 familias en el barrio Ligeiro, en Campina Grande, PB, región de clima semiárido. Se trata de una investigación cualitativa y cuantitativa, partiendo del análisis de los resultados de las simulaciones realizadas en el programa NETUNO, verificando la relación entre el potencial consumo de agua potable y la posible sustitución de dicho recurso por agua procedente de los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia, verificando también los volúmenes ideales de los embalses para las edificaciones unifamiliares y multifamiliares. Las edificaciones unifamiliares presentaron mayor potencial de ahorro que los edificios, y eso está relacionado con el factor de ocupación y el área de interceptación de viviendas. De forma global, los sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia se han demostrado como una tecnología de relevante impacto en el lugar de estudio, permitiendo un ahorro de agua potable entre el 16,9% y el 17,89%. También se constató que añadir depósitos de acumulación de aguas pluviales al proyecto inicial no aumentaría en gran medida el coste total de la

obra y permitiría una mayor sostenibilidad en el sistema de suministro. Por lo tanto, esta medida se puede configurar en una importante herramienta para la gestión de la demanda de agua.

PALABRAS CLAVE: *Sistemas de aprovechamiento de agua de lluvia. Complejo habitacional Aluízio Campos. Gestión de demanda de agua.*

1 INTRODUÇÃO

As mudanças climáticas, o crescimento populacional e a concentração das pessoas nos centros urbanos surgem como uma problemática que viabiliza a sobrecarga nos serviços de infraestrutura, inclusive nos sistemas de abastecimento urbano de água (ARSISO et al., 2017; KINOUCI et al., 2019; MCMANAMAY et al., 2019; CHEN et al., 2020). Nesse cenário, as cidades se colocam como organismos vulneráveis à falta de água devido ao desequilíbrio existente entre as áreas que apresentam recursos hídricos disponíveis e a concentração da população em pontos localizados (STAVENHAGEN; BUURMAN; TORTAJADA, 2018). Com isso, entender e tratar dessa e de outras vulnerabilidades urbanas emergentes e crescentes é uma oportunidade para promover a sustentabilidade e a resiliência desses centros urbanos que formam sistemas complexos (CHELLERI; SCHUETZE; SALVATI, 2015). Por esse ângulo, surge a ideia de desenho urbano sensível à água, que propõe, dentre outros aspectos, a aplicação de técnicas de infraestrutura verde para reduzir o consumo de água potável e maximizar a água de reuso (ANDRADE; BLUMENSCHNEIN, 2013).

Sob esse viés e visando estabelecer uma gestão eficiente dos recursos hídricos com vista a minimizar os conflitos gerados pelo uso da água, a Lei Federal nº 9.433, de 08 de janeiro de 1997, traz em seu texto determinações que tem corroborado para quebra de paradigmas e criado caminhos para utilização de fontes alternativas de água. Uma dessas fontes trata dos sistemas de aproveitamento de água de chuva (SAAC) e aparece como um dos objetivos da lei supracitada (BRASIL, 1997).

No cenário mundial, o uso de reservatórios para acumulação de água de chuva como sistemas hídricos descentralizados tem apresentado eficiência ou potencial de aplicação em diversos países, como na Região Metropolitana da Espanha (DOMÈNECH; SAURÍ, 2011), Austrália (EROKSUZ; RAHMAN, 2010; HAJANI; RAHMAN, 2014), Taiwan (LIAW; CHIANG, 2014), Polônia e Eslováquia (STEC; ZELEŇÁKOVÁ, 2019).

No Brasil, essa tecnologia social tem se mostrado como uma ferramenta importante para a população, inclusive a parcela que habita regiões com longos períodos de estiagem ou com muita variabilidade de chuvas, como a região semiárida, pois não somente corrobora para suprir os consumos básicos (SANTOS, 2008; SOUZA, 2015; ALMEIDA, 2017), como também auxilia nas atividades econômicas, como a agricultura familiar (FERREIRA, 2015). Além disso, se caracteriza como uma forma de pressionar menos os mananciais que são utilizados para o abastecimento, desde que seja utilizada a água de chuva como substituta de um percentual da água tratada e distribuída pelas adutoras, atuando na gestão de demanda de água (CHELLERI; SCHUETZE; SALVATI, 2015).

Apesar dos benefícios comprovados advindos da utilização da captação da água de chuva, faz-se necessário analisar os parâmetros que permitem conhecer o potencial de aproveitamento desse recurso e quais os volumes de reservatórios seriam necessários para suprir a demanda e

causar um impacto ambiental considerável e positivo (LOPES; RUPP; GHISI, 2015; CRUZ; BLANCO, 2017), reduzindo a pressão nos corpos hídricos e aumentando a sustentabilidade dos centros urbanos. Essas respostas divergem quando se muda o local de estudo (LOPES; RUPP; GHISI, 2015), por isso a necessidade de aplicar uma forma de análise para comprovação da sua viabilidade antes de uma proposta de implantação dessa tecnologia.

Nesse sentido, cabe a investigação dos SAACs como ferramenta de possível relevância para o município de Campina Grande, cidade de médio porte situada no semiárido brasileiro e sem mananciais importantes do ponto de vista hidrológico dentro dos seus limites municipais. Seu abastecimento urbano é realizado com as águas de um reservatório de regularização de vazão localizado a 44 km de distância, no município de Boqueirão, o açude Epitácio Pessoa. Esse reservatório já passou desde o início do século por duas crises hídricas complexas e de grande magnitude, sendo a segunda, com início em 2012 (RÊGO et al., 2014), a mais severa e devido a sua gravidade ameaçou colapsar o serviço de abastecimento.

O crescimento urbano em Campina Grande segue uma tendência de espraiamento territorial, contrariando a ideia do modelo de cidade compacta e com crescimento inteligente sensível à água, que preconiza a concentração de pessoas de diferentes classes sociais em zonas urbanas multifuncionais comuns para potencializar o consumo e sobrecarregar menos os ecossistemas do entorno (ANDRADE; BLUMENSCHHEIN, 2013).

O Complexo Habitacional Aluizio Campos é a maior representação de um modelo de crescimento espalhado da mancha urbana no município de Campina Grande, além de ser uma construção de dimensões semelhantes à de pequenas cidades e que tende a elevar o aumento das demandas por recursos naturais de uso comum, como a água. Por isso, a construção foi escolhida como foco de estudo para este trabalho. Logo, busca-se conhecer o potencial de captação local de água de chuva para depender menos da captação externa de água potável, assim como definir os volumes ótimos dos reservatórios e realizar uma análise econômica para compreender a viabilidade financeira na adoção de uma medida como essa.

2 METODOLOGIA

Esta pesquisa configura-se como de natureza quali-quantitativa e partiu da avaliação dos possíveis benefícios na implantação de SAAC em um novo aglomerado de residências implantado no espaço urbano do município de Campina Grande, situado no semiárido brasileiro, partindo da análise dos resultados de simulações realizadas no programa NETUNO, verificando a relação entre o potencial consumo de água potável e a possível substituição desse recurso por água proveniente de SAAC.

2.1 Área de estudo

O local estudado foi o Complexo Aluizio Campos, localizado no município de Campina Grande, no estado da Paraíba (Figura 1a e b). A obra faz parte do programa habitacional federal Minha Casa, Minha Vida, e tem o intuito de ocupar para vários fins uma área de 800 hectares do bairro Ligeiro. A parte residencial contém 4100 unidades habitacionais de interesse social, divididas em 3012 casas e 1088 apartamentos alocados em 68 edifícios de quatro pavimentos cada. No espaço destinado às residências também foram fixadas três creches, dois postos de saúde, duas escolas, duas praças com academia e um Centro de Referência de Assistência Social (CRAS).

Figura 1: a) Localização do Complexo Habitacional Aluizio Campos e b) Vista Superior após construção.



Fonte: Os autores, 2019 e adaptada de Campina Grande [2019].

Todo o Complexo foi pensado e construído sem um estudo prévio da demanda hídrica e dos impactos no metabolismo urbano, mesmo diante dos sérios problemas e vulnerabilidades enfrentadas pelo município de Campina Grande nos períodos de escassez.

2.2 Simulação matemática utilizando o Netuno

Foi utilizado o Programa Netuno (GHISI; CORDOVA, 2010) para o dimensionamento dos reservatórios das unidades habitacionais unifamiliares e multifamiliares e para conhecer o potencial de economia de água potável. O programa tem apresentado resultados satisfatórios em diversas pesquisas (BERWANGER; GHISI, 2014; LOPES; RUPP; GHISI, 2015; DALSENTER, 2016; MARINOSKI; RUPP; GHISI, 2018) e foi validado por Rocha (2009).

O Programa Netuno faz uso da Equação 1 e de dois algoritmos apresentados por Rocha (2009) para reconhecer o volume ideal de reservatórios, assim é possível criar uma curva que relaciona o potencial de economia de água potável e os volumes testados. Ao escolher a diferença entre potenciais de economia de água potável (%/m³) o programa reconhece qual o volume mais adequado para a situação analisada. Os dados de entrada para o início das simulações são apresentados no Tabela 1.

$$P_e = 100 * \frac{\sum_{i=1}^j V_c}{D * n * j} \quad (1)$$

Sendo P_e o potencial de economia de água potável estimado, D a demanda de água potável no período de simulação, n o número de moradores da edificação, j o número de dias no período analisado e V_c o volume de água pluvial consumido em cada dia, obtido por um dos dois algoritmos utilizados por Rocha (2009).

Tabela 1. Dados de entrada para as simulações do potencial de economia de água potável.

Dado de entrada	Valor	Fonte
Série histórica de precipitação e período de simulação	25 anos de dados diários	AESA (2019)
Área de captação	70 m ² para casas	Plantas do Complexo Aluizio Campos
	192 m ² para edifícios	
Demanda média per capita de água	121,29 l/hab.dia	SNIS (2019)
Número de moradores por habitação em Campina Grande	4 pessoas por domicílio	IBGE (2010)
Percentual de demanda a ser suprida pelos SAACs	35%, 45% e 55%	Peters (2006), Ghisi e Ferreira (2007), Ghisi e Oliveira (2007), Barreto (2008), Botelho (2013), Cunha (2013) e Marinowski, Rupp e Ghisi (2018)
Coeficiente de escoamento superficial	0,85 para telhas cerâmicas das casas e telhas metálicas dos edifícios	Rocha (2009) e Tomaz (2010)

Fonte: Os autores, 2019.

Alguns dados careceram de adaptações, como o número de moradores por residência. O programa necessita de um valor inteiro para essa variável e segundo o IBGE (2010), a média de pessoas por domicílio é de 3,43 fazendo-se necessário, portanto, aumentar esse valor para 4. Se admitiu que o uso da água acumulada nos reservatórios seria destinado somente para fins não potáveis. Não havendo pesquisas que apresentem o percentual desse recurso com clareza para a população residente do município de Campina Grande, foram adotados três percentuais intermediários dentre os que são apresentados na literatura para outros municípios. Inicialmente considerou-se um consumo per capita para os habitantes de Campina Grande como 121,29 l/hab.dia, que é uma média aritmética dos vinte anos de dados do Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS). Mas esse valor pode ser muito conservador se considerado que os residentes do Complexo Habitacional são de baixa renda e essas pessoas tendem a consumir menos água (DIAS; MARTINEZ; LIBÂNIO, 2010). Sendo assim, todas as análises foram feitas por meio de cenários conservadores, considerando o consumo de água médio da série do SNIS (2019), e por cenários mais realistas, diminuindo esse consumo total em 38,6%, sendo esse percentual uma média de redução de diversas pesquisas realizadas por outros autores e apresentadas por Cunha (2013) (Tabela 2). Esse valor reduzido da demanda é realista também visto que famílias de baixa renda buscam manter o consumo mensal abaixo de 10 m³ e assim pagar um valor fixo e reduzido, denominado como tarifa social pela Companhia de Água

e Esgoto da Paraíba (CAGEPA). Uma residência com quatro moradores em que cada um demanda 74,47 litros de água por dia, consome aproximadamente 9 m³ e, portanto, se destina a pagar a tarifa mínima, como sugerido neste trabalho.

Tabela 2: Consumo de água médio por municípios e em habitações de interesse social.

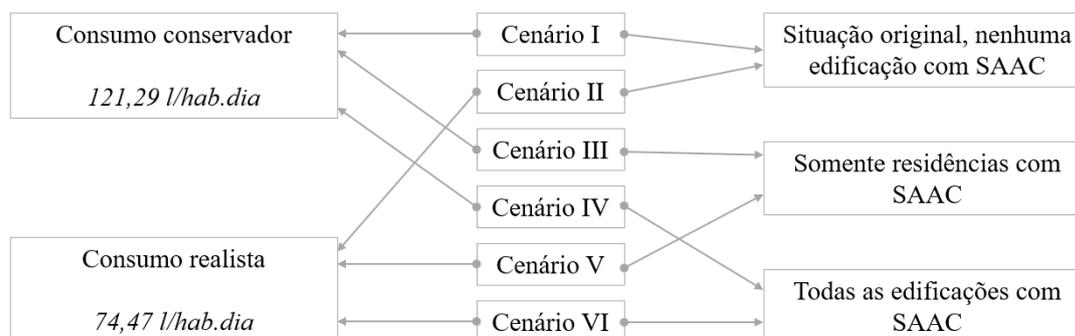
Consumo médio de água medido na rede de distribuição (l/hab.dia)	Consumo médio de água em habitações de interesse social (l/hab.dia)	% redução	Local	Fonte
120,3	48	60,1	Salvador – BA	Moraes (1995)
147	79	46,3	Belo Horizonte – MG	Vimiero (2005)
120,3	80	33,5	Simões Filho – BA	Cohim et al. (2009)
137,9	86	37,6	Goiânia – GO	Carvalho et al. (2005)
137,9	95	31,1	Goiânia – GO	Oliveira et al. (2006)
184,7	109	41	São Paulo – SP	Rocha et al. (1998)
184,7	113	38,8	Paulínia – SP	Ywashima et al. (2006)
147	117	20,4	Itajubá – MG	Dantas et al. (2006)
Média de redução do consumo		38,6		

Fonte: Adaptada de Cunha, 2013.

2.3 Cenários de economia de água potável e viabilidade financeira

Após conhecer o potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento da água de chuva para fins não potáveis, buscou-se analisar quais as dimensões e qual tipo de reservatório melhor se adequa a forma como o Aluizio Campos foi concebido em projeto. A partir disso, por meio de seis cenários, apresentados na Figura 2, foi possível estimar qual seria a economia de água proveniente do sistema de abastecimento.

Figura 2. Cenários para estimar a economia de água potável.



Fonte: Os autores, 2020.

Também foi conveniente orçar os reservatórios utilizando valores de referência para o estado da Paraíba, onde se situa o complexo habitacional, para que assim fosse possível obter a devida dimensão do impacto da adoção dessa medida no custo total da obra. Foram feitas planilhas de custos contendo todas as etapas da construção e utilizadas informações do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI) do mês de agosto de 2019.

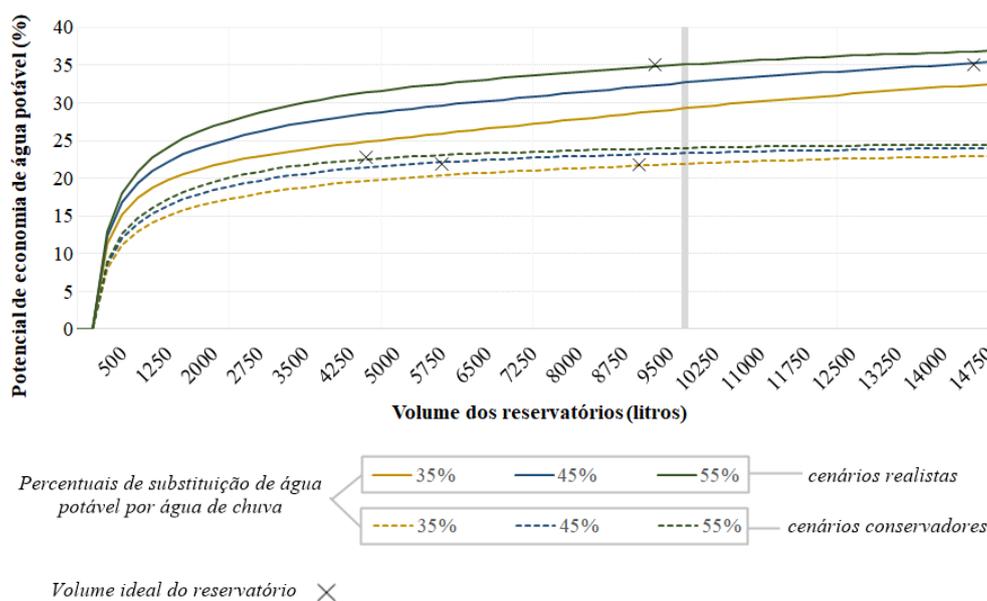
3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 Reservatórios adequados

Inicialmente as simulações foram realizadas para as edificações unifamiliares do Complexo Aluízio Campos e as curvas obtidas estão apresentadas na Figura 3. Como é possível observar, os volumes ótimos para os reservatórios variaram à medida que foi modificado o percentual da demanda total a ser suprida por água de chuva, o que já era esperado, visto que esse é um fator bastante sensível no processo de dimensionamento.

Diferente de outros trabalhos, como o de Marinowski (2010), aqui o percentual de economia de água potável apresentou valores próximos para os três percentuais de demanda de água armazenada nos SAACs. Nota-se também que a economia de água potável é consideravelmente superior para a demanda mais realista (linhas contínuas) que quando considerado o consumo maior e conservador (linhas tracejadas).

Figura 3. Potencial de economia de água potável em relação aos volumes dos reservatórios para as residências.



Fonte: Os autores, 2019.

O potencial de economia de água potável é calculado pela relação entre o volume total de água de chuva consumido durante todo o período analisado e a demanda total de água potável neste mesmo período (ROCHA, 2009).

Sendo assim, na Figura 3 é possível perceber que quanto maior a demanda por água de chuva maior também é o percentual de economia. Isto acontece porque nos meses que ocorrem um volume maior de precipitação a água é mais utilizada ao invés de haver maior extravasamento dos reservatórios.

Em contrapartida, quanto maior a demanda por água de chuva menor é o percentual de atendimento, pois pode não haver água armazenada suficiente para suprir a demanda completamente em meses com pouca precipitação. Posto isto, o ideal é que haja uma racionalização por parte dos usuários na forma como devem gerenciar o recurso disponível nos reservatórios e a ciência de que em determinados períodos do ano será necessário fazer uso, para fins não potáveis, do recurso distribuído pela companhia de abastecimento.

Um dos principais motivos que impossibilitam suprir toda a demanda de água de chuva por mais tempo é a pequena área de captação, 70 m², que para quatro moradores significa uma área de 17,5 m²/pessoa. Esse fator combinado à pluviometria de Campina Grande, que segue o comportamento pluviométrico do semiárido, reduz a capacidade de suprir grandes demandas de água com a captação descentralizada da água de chuva, como é possível garantir em outras regiões do Brasil, a exemplo do Sul (GHISI; THIVES; PAES, 2017; MARINOSKI; GHISI, 2019). Outro fator relevante é o consumo per capita, visto que à medida que se aumenta a demanda faz-se necessário reservatórios maiores para armazenar água num volume que seja capaz de suprir a quantidade requerida. Nesse sentido, Campina Grande apresenta um consumo médio per capita maior que a maioria dos estados nordestinos (SNIS, 2019b).

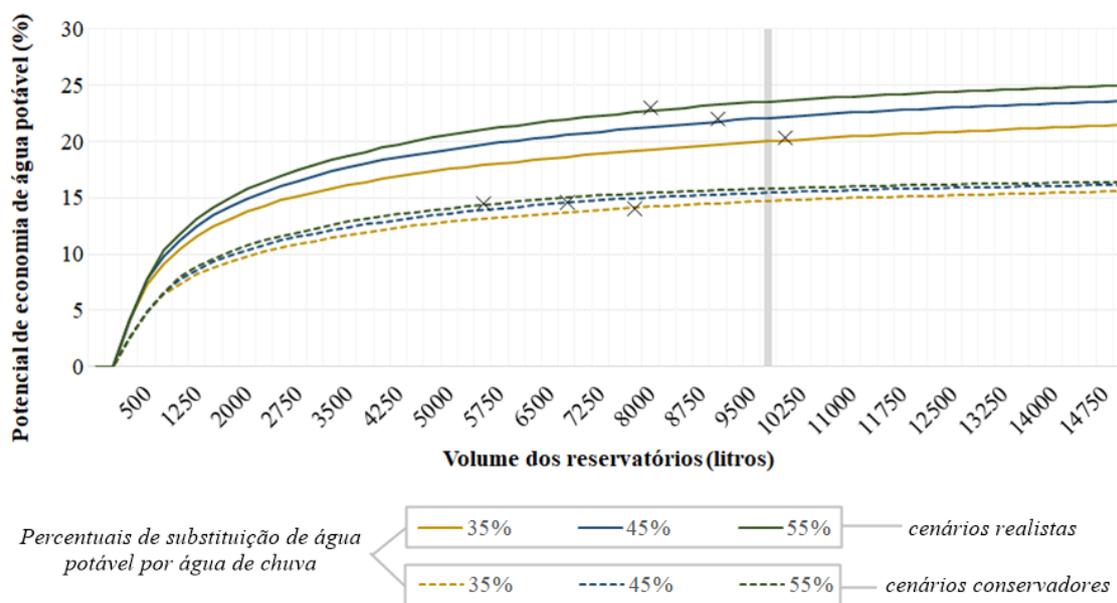
Em seguida as simulações foram realizadas para as edificações multifamiliares, levando em consideração a área de captação como 192 m² e que haverá 64 pessoas residindo em cada edifício (16 pessoas por andar).

Dessa forma, destinando o recurso armazenado para todos os apartamentos, percebeu-se ser inviável fazer uso do aproveitamento da água de chuva nessa tipologia de edificação, pois mesmo que se utilizem reservatórios com 15000 litros de capacidade não se alcança nem 5% de economia de água potável. Isso se dá principalmente pela redução da área de captação por pessoa que nesse caso é de apenas de 3 m²/pessoa.

O cenário ineficiente do aproveitamento da água pluvial nas edificações multifamiliares mudaria se apenas um pavimento substituísse água do serviço de abastecimento para fins não potáveis por água pluvial armazenada, isso porque o número de pessoas atendidas reduziria de 64 para 16, logo a área de captação por indivíduo aumentaria para 12 m²/pessoa.

Sendo assim, os resultados das simulações com essa nova possibilidade são apresentados nas curvas da Figura 4, em que é possível perceber que os volumes ótimos variaram entre 6.000 e 10.500 litros. Nessas condições é possível garantir uma considerável economia de água mesmo que em nenhum cenário a demanda seja totalmente atendida.

Figura 4. Potencial de economia de água potável em relação aos volumes dos reservatórios para os edifícios.



Volume ideal do reservatório X
Fonte: Os autores, 2019.

Conhecendo os volumes ideais dos reservatórios para as simulações realizadas, foi possível identificar qual melhor se adequa a forma como o Complexo Aluizio Campos foi constituído, visto que existem limitações de espaço para implantação dos sistemas de captação de água de chuva.

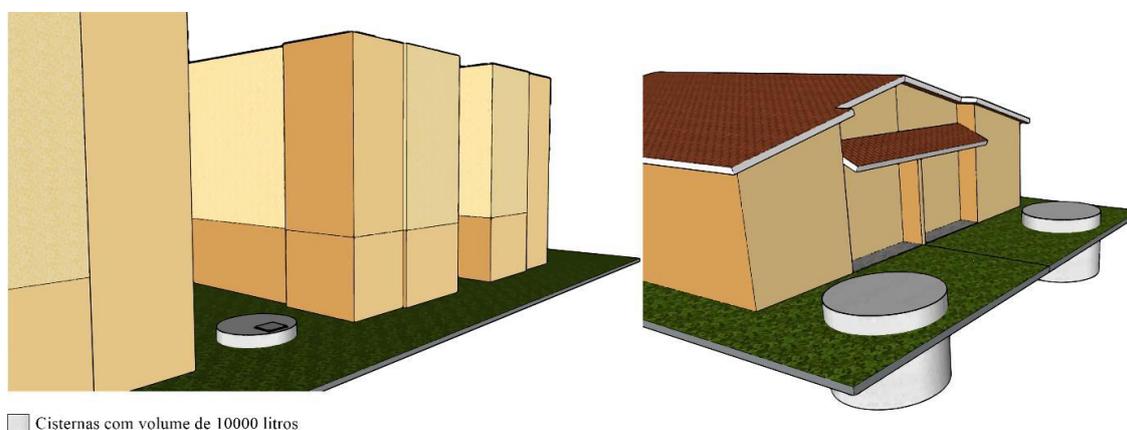
Para as residências unifamiliares e para os prédios existe espaço para acomodar reservatórios de todos os tamanhos testados. Em contrapartida, principalmente para nas residências unifamiliares, a utilização do sistema de armazenamento sobre o solo inviabiliza parte da circulação e diminui consideravelmente a área útil dos lotes. Sendo assim, no caso do Complexo Aluizio Campos seria mais adequada a utilização de reservatórios enterrados (cisternas), apresentando como outra vantagem a questão econômica, por serem mais baratos que os reservatórios de plástico reforçado com fibra de vidro (MARINOSKI; GHISI, 2018). Além disso, é comum a construção desse tipo de reservatório no semiárido brasileiro (FERREIRA, 2015; SANTANA, 2015; ALMEIDA, 2017), o que viabiliza ainda mais sua utilização.

Com cisternas de 2,5 metros de diâmetro e 2 metros de profundidade é possível alcançar cerca de 10.000 litros de volume de água, tornando-as adequadas para as duas tipologias de edificações projetadas para o Aluizio Campos e estariam dispostas como é ilustrado na Figura 5. Foi proposto esse volume de reservatório visto que o diâmetro permite a inserção do sistema em qualquer lote do complexo e a pouca profundidade, permite tornar menos onerosa a sua implantação mesmo que seja percebida afloração rochosa próxima a superfície do solo. Nas

Figuras 3 e 4 com o auxílio das barras cinzas nos gráficos torna-se mais lúcido os percentuais de economia para reservatórios com capacidade de 10.000 litros.

Dessa forma, a construção atenderia o determinado na Lei Estadual nº 9.130, de 27 de maio de 2010, que criou o Programa de Conservação e Uso Racional da Água nas Edificações Públicas da Paraíba. A legislação determina que todo empreendimento residencial com mais de 25 famílias deve conter coletores, caixa de armazenamento e distribuidores de água de chuva e de águas servidas.

Figura 5. Cisternas dispostas nas duas tipologias de edificações.



Fonte: os autores, 2019.

3.2 Economia de água potável e viabilidade financeira

Para observar o possível consumo de água potável é conveniente levar em consideração os seis cenários apresentados na metodologia. A Tabela 3 apresenta o consumo estimado de água potável diário, mensal e anual para esses cenários. É possível perceber que fazendo uso da captação de água de chuva nos moldes do cenário III em um ano poderia se economizar água potável suficiente para abastecer o complexo inteiro por aproximadamente 74 dias, enquanto se as construções fossem dispostas como no cenário IV esse valor aumentaria para 80 dias. Com um consumo de água mais realista para a população que ocupa o complexo, esses valores aumentariam para 114 dias fazendo uso do cenário V e 124 dias para o cenário VI.

Tabela 3: Consumo estimado e economia de água para os cenários analisados.

Cenários		Consumo estimado (m ³)			% de redução do consumo
		Diário	Mensal	Anual	
Atuais	I	1.989,16	59.674,68	726.041,94	-
	II	1.221,31	36.639,24	445.777,42	-
Conservadores	III	1.651,16	49.534,71	602.672,26	17,0
	IV	1.630,87	48.926,22	595.269,04	18,0
Realistas	V	929,53	27.886,01	339.279,85	23,9
	VI	911,72	27.351,75	332.779,59	25,3

Fonte: Os autores, 2019.

A partir dos resultados observados seria possível reduzir entre 17 e 25,3% do consumo de água potável no complexo. Os valores obtidos são expressivos e indicam o quanto a adoção dessa tecnologia social pode ser eficaz na gestão de demanda de água em centros urbanos, apresentando melhores resultados acerca do potencial de economia de água potável que outras medidas. Guedes, Ribeiro e Vieira (2014) analisaram diversos cenários para o município de Campina Grande fazendo uso de diferentes aparelhos poupadores, percentual de residências a adotar os dispositivos e o quanto de água poderia ser poupado. Em comparação, os cenários dessa pesquisa apresentaram maior economia que grande parte dos cenários utilizando os aparelhos poupadores.

Faz-se necessário destacar que uma medida não inviabiliza a utilização da outra, o ideal é fazer uso de todos os meios possíveis para racionalizar o consumo de água. Somadas, as tecnologias citadas e outras, como o reuso de águas servidas, podem alcançar valores ainda mais expressivos de economia de água potável diminuindo a pressão nos corpos hídricos e aumentando a resiliência das cidades diante desse recurso natural (CHELLERI; SCHUETZE; SALVATI, 2015), pois a vulnerabilidade do setor urbano é reduzida pela fragmentação e descentralização dos sistemas de abastecimento em estruturas menores (PARKER; TSUR, 1997).

A partir do orçamento realizado com os valores de referência de agosto de 2019 do Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices (SINAPI, [2020]) constatou-se que cada cisterna com cerca 10.000 litros custaria em média 2.761,47 reais, não sendo levado em consideração os custos dos Benefícios e Despesas Indiretas (BDI) e os encargos sociais. Caso houvesse no projeto inicial a disposição de reservatórios desse padrão somente para as residências unifamiliares, o custo adicional ao projeto corresponderia a um valor próximo de R\$ 8.317.547,00. Se também fosse adotado reservatórios para os edifícios esse valor aumentaria para R\$ 8.505.327,00. Segundo Almeida, Silva e Souza (2017) para a construção do Complexo Habitacional Aluizio Campos foram investidos 300 milhões de reais do Governo Federal e 25 milhões da Prefeitura Municipal de Campina Grande. Diante desse montante, o custo para construção dos reservatórios representa entre 2,56% e 2,62% do valor inicialmente investido. Sendo o primeiro percentual para os cenários III e IV e o segundo para o IV e VI.

Trata-se de um acréscimo baixo para o custo total do empreendimento e que colaboraria para alcançar a condição de sustentabilidade hídrica, adequando as construções à região semiárida

em que estão inseridas. Além disso, ao fazer uso dos SAAC seria demandada menos água tratada, reduzindo os custos da concessionária com a retirada das águas brutas e com o processo de tratamento desse recurso.

3.3 Potencial de aproveitamento de água de chuva diante da problemática do sistema de abastecimento

No semiárido brasileiro, a utilização de SAAC ganha ainda mais importância haja vista que a maioria dos municípios são dependentes da água armazenada em reservatórios de regularização que apresentam certa insegurança hídrica diante dos longos períodos de estiagem, a exemplo do reservatório Epitácio Pessoa, que é o responsável por abastecer o Aluízio Campos. Em 2018, a soma da população dos 18 municípios abastecidos com as águas desse reservatório foi de aproximadamente 640.390 pessoas (IBGE, 2018). Com a inserção do Complexo Aluízio Campos, esse número pode aumentar entre 14.063 e 16.400 pessoas, que são respectivamente, as pessoas estimadas levando em consideração a média de ocupantes por residência para o município de Campina Grande e o valor inteiro imediatamente maior utilizado para as simulações no programa Netuno.

Esses valores são maiores que a quantidade de habitantes em 56% dos municípios abastecidos pelo reservatório, o que demonstra o aumento significativo de demanda em um reservatório que passou por crises severas devido a fatores hidrológicos e a retiradas maiores do que o corpo hídrico permite, como indicam Rêgo et al. (2013) e Rêgo et al. (2014).

Para tentar sanar a problemática do abastecimento relacionada ao Açude Epitácio Pessoa se recorreu às águas da transposição do Rio São Francisco, evitando que o sistema entrasse em colapso. Rêgo et al. (2017) apontam que essa medida só deveria ocorrer após serem esgotadas todas as medidas de gerenciamento que acarretassem a diminuição de retiradas do reservatório. Uma dessas medidas poderia ser a adoção da captação da água de chuva, diminuindo a necessidade de se fazer uso das águas da transposição, que são onerosas e necessitam de operação constante.

Além disso, a adoção da captação e o aproveitamento de águas pluviais, não somente no Complexo Aluízio Campos, poderia fortalecer o cenário ambiental diante dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para a Agenda 2030 da ONU. Segundo Amos et al. (2020), a captação de água de chuva pode contribuir de forma direta ou indireta para pelo menos 8 dos 17 objetivos apresentados pela ONU. O sexto objetivo, que busca assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos, em duas de suas oito metas pode encontrar fortalecimento na utilização de SAAC, pois busca-se:

6.4 Até 2030, aumentar substancialmente a eficiência do uso da água em todos os setores e assegurar retiradas sustentáveis e o abastecimento de água doce para enfrentar a escassez de água, e reduzir substancialmente o número de pessoas que sofrem com a escassez de água.

(...)

6.a Até 2030, ampliar a cooperação internacional e o apoio à capacitação para os países em desenvolvimento em atividades e programas relacionados à água e saneamento, incluindo a coleta de água, a dessalinização, a eficiência no uso da água, o tratamento de efluentes, a reciclagem e as tecnologias de reuso (IPEA, 2019, não paginado).

Diante da primeira meta citada, os resultados dessa pesquisa demonstram que mesmo em clima semiárido com baixos índices pluviométricos, o uso de SAAC permite reduzir as retiradas nos corpos hídricos, sendo um caminho para reduzir os impactos das secas, minimizando as problemáticas referentes à escassez de água. Já a segunda meta citada é mais direta ao tratar da coleta de água, reciclagem e tecnologias de reuso.

4 CONCLUSÕES

Por meio das simulações realizadas no programa Netuno foi possível constatar que há potencial de substituição de água potável por água de chuva no Complexo Habitacional Aluízio Campos para usos não potáveis. A utilização dessa tecnologia apresentaria resultados significativos para o uso sustentável dos recursos hídricos em uma construção de tamanha magnitude, que tende a causar um inchaço urbano. Constatou-se que as residências unifamiliares apresentam maior potencial de aproveitamento das águas pluviais, isso se deve ao fator de ocupação e ao tamanho da área de interceptação. Mas como uma proposta de não descartar completamente o uso da água de chuva nas edificações multifamiliares, sugeriu-se a distribuição do recurso para apenas um andar, satisfazendo o uso de quatro famílias. Isso possibilitaria aumentar o número de pessoas que fariam uso desse recurso no complexo como um todo.

De forma geral, a captação de água de chuva permitiria uma economia de água potável entre 17% e 25,3%, mostrando-se ser uma tecnologia social, que mesmo em região com clima semiárido e com índices pluviométricos não muito significativos, tem a possibilidade de pressionar menos os corpos hídricos responsáveis pelo abastecimento. Logo, essa medida pode se configurar em uma importante ferramenta para gestão de demanda de água. Se tratando de uma obra planejada, percebeu-se, por meio de orçamento simplificado, que adotar o aproveitamento de água de chuva não levaria a acréscimos exorbitantes do montante destinado ao projeto. Mostrando ser possível, ainda em fase de planejamento de construções dessa importância, pensar em soluções descentralizadas de oferta de água, diminuindo o risco de colapso do sistema de abastecimento.

Por fim, reconhece-se o notável aumento do meio urbano, seja por iniciativa individual ou do estado como o Complexo Habitacional estudado, e isso tende a pressionar os recursos naturais, como as fontes de água para o abastecimento. Dessa forma, a captação de água de chuva é uma boa alternativa para minimizar esse impacto e tornar os sistemas urbanos mais sustentáveis e resilientes.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALMEIDA, A. L. F.; SILVA, C. C. C.; SOUZA, F. R. C. C. A construção do Complexo Aluizio Campos em Campina Grande-PB: a lógica da cidade como mercadoria na produção do espaço público. In: II CONGRESSO INTERNACIONAL DA DIVERSIDADE DO SEMIÁRIDO, 2., 2017, Campina Grande. **Anais...** Campina Grande: Realize, 2017. p. 1 - 11.
- ALMEIDA, C. L. **A convivência com o semiárido a partir do uso de cisternas de placas na zona rural do município de Frecheirinha-CE: dimensões na paisagem da superfície sertaneja.** 2017. 158 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Estadual Vale do Acaraú, Sobral, 2017.
- AMOS, C. C.; RAHMAN, A.; GATHENYA, J. M.; FRIEDLER, E.; KARIM, F.; RENZHO, A. Roof-Harvested Rainwater Use in Household Agriculture: Contributions to the Sustainable Development Goals. **Water**, [s.l.], v. 12, n. 2, p.332-353, 23 jan. 2020.
- ANDRADE, L. M. S.; BLUMENSCHNEIN, R. N. Cidades sensíveis à água: cidades verdes ou cidades compactas, eis a questão? **Paranoá**, Brasília, v. 10, n. 1, p. 59-76, fev. 2013.
- ARSISO, B. K.; TSIDU, G. M.; STOFFBERG, G. H.; TADESSE, T. Climate change and population growth impacts on surface water supply and demand of Addis Ababa, Ethiopia. **Climate Risk Management**, [s.l.], v. 18, p.21-33, 2017.
- BARRETO, D. Perfil do consumo residencial e usos finais da água. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 8, n. 2, p.23-40, abr./jun. 2008.
- BERWANGER, H.; GHISI, E. Investment feasibility analysis of rainwater harvesting in the city of Itapiranga, Brazil. **Sustainable Human Development**, [s.l.], v. 2, p.104-114, 2014.
- BOTELHO, G. L. P. **Avaliação do consumo de água em domicílios: Fatores intervenientes e metodologia para setorização dos usos.** 2013. 215 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meio Ambiente, Águas e Saneamento, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2013.
- BRASIL. Lei nº 9.433, de 8 de janeiro de 1997. Brasília.
- Campina Grande. **Prefeitura dá início, nesta terça, às vistorias coletivas dos mutuários aos imóveis do Conjunto Aluizio Campos.** [2019]. Disponível em: <https://campinagrande.pb.gov.br/prefeitura-da-inicio-nesta-terca-as-vistorias-coletivas-dos-mutuarios-aos-imoveis-do-conjunto-aluizio-campos/>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- CHELLERI, L.; SCHUETZE, T.; SALVATI, L.. Integrating resilience with urban sustainability in neglected neighborhoods: Challenges and opportunities of transitioning to decentralized water management in Mexico City. **Habitat International**, [s.l.], v. 48, p.122-130, ago. 2015.
- CHEN, X.; LI, F.; LI, X.; HU, Y.; HU, P. Evaluating and mapping water supply and demand for sustainable urban ecosystem management in Shenzhen, China. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 251, p.119754-119765, abr. 2020.
- CRUZ, W. M.; BLANCO, C. J. C. Aproveitamento de água pluvial para fins não potáveis residenciais em Rio Branco – AC. **Perspectivas Online**, [s.l.], v. 7, n. 17, p.12-24, jan./abr. 2017.
- CUNHA, K. F. **Caracterização e monitoramento do consumo de água em habitações de interesse social.** 2013. 95 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2013.
- DALSENTER, M. E. V. **Estudo de potencial de economia de água potável por meio do aproveitamento de água pluvial em um condomínio residencial multifamiliar localizado em Florianópolis - SC.** 2016. 74 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2016.
- DIAS, D. M.; MARTINEZ, C. B.; LIBÂNIO, M. Avaliação do impacto da variação da renda no consumo domiciliar de água. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [s. l.], v. 15, n. 2, p.155-166, abr./jun. 2010.
- DOMÈNECH, L.; SAURÍ, D. A comparative appraisal of the use of rainwater harvesting in single and multi-family buildings of the Metropolitan Area of Barcelona (Spain): social experience, drinking water savings and economic costs. **Journal Of Cleaner Production**, [s.l.], v. 19, n. 6-7, p.598-608, abr. 2011.
- EROKSUZ, E.; RAHMAN, A. Rainwater tanks in multi-unit buildings: A case study for three Australian cities. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 54, n. 12, p.1449-1452, out. 2010.
- FERREIRA, E. P. **Manejo da água de cisterna para a produção de alimentos no semiárido pernambucano.** 2015. 99 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Ambiental, Universidade Federal Rural de Pernambuco, Recife, 2015.

- GHISI, E.; FERREIRA, D. F. Potential for potable water savings by using rainwater and greywater in a multi-storey residential building in southern Brazil. **Building And Environment**, [s.l.], v. 42, n. 7, p.2512-2522, jul. 2007.
- GHISI, E.; OLIVEIRA, S. M. Potential for potable water savings by combining the use of rainwater and greywater in houses in southern Brazil. **Building And Environment**, [s.l.], v. 42, n. 4, p.1731-1742, abr. 2007.
- GHISI, E.; THIVES, L. P.; PAES, R. F. W.. Investment feasibility analysis of rainwater harvesting in a building in Brazil. *Water Science And Technology: Water Supply*, [s.l.], v. 18, n. 4, p.1497-1504, 7 nov. 2017.
- GUEDES, M. J. F.; RIBEIRO, M. M. R.; VIEIRA, Z. M. C. L. Alternativas de Gerenciamento da Demanda de Água na Escala de uma Cidade. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**, [s.l.], v. 19, n. 2, p.123-134, 2014.
- HAJANI, E.; RAHMAN, A. Rainwater utilization from roof catchments in arid regions: A case study for Australia. **Journal Of Arid Environments**, [s.l.], v. 111, p.35-41, dez. 2014.
- IPEA – INSTITUTO DE PESQUISA ECONÔMICA APLICADA. Objetivos de Desenvolvimento Sustentável. IPEA, 2019. Disponível em: <http://www.ipea.gov.br/ods/ods6.html>. Acesso em: 20 out. 2019.
- KINOUCHI, T.; NAKAJIMA, T.; MENDOZA, J.; FUCHS, P.; ASAOKA, Y. Water security in high mountain cities of the Andes under a growing population and climate change: A case study of La Paz and El Alto, Bolivia. **Water Security**, [s.l.], v. 6, p.100025-100036, mar. 2019.
- LIAW, C.; CHIANG, Y. Framework for Assessing the Rainwater Harvesting Potential of Residential Buildings at a National Level as an Alternative Water Resource for Domestic Water Supply in Taiwan. **Water**, [s.l.], v. 6, n. 10, p.3224-3246, 23 out. 2014.
- LOPES, A. C.; RUPP, R. F.; GHISI, E. Assessment of the potential for potable water savings by using rainwater in houses in southern Brazil. **Water Science And Technology: Water Supply**, [s.l.], v. 16, n. 2, p.533-541, 14 nov. 2015.
- MARINOSKI, A. K. **Método para avaliação de viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial**. 2010. 181 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.
- MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. Avaliação de viabilidade ambiental e econômica de sistemas de aproveitamento de água pluvial em habitação de baixo padrão: estudo de caso em Florianópolis, SC. **Ambiente Construído**, [s.l.], v. 18, n. 1, p.423-443, mar. 2018.
- MARINOSKI, A. K.; GHISI, E. Environmental performance of hybrid rainwater-greywater systems in residential buildings. **Resources, Conservation And Recycling**, [s.l.], v. 144, p.100-114, maio 2019.
- MARINOSKI, A. K.; RUPP, R. F.; GHISI, E. Environmental benefit analysis of strategies for potable water savings in residential buildings. **Journal Of Environmental Management**, [s.l.], v. 206, p.28-39, jan. 2018.
- MCMANAMAY, R. A.; DEROLPH, C. R.; SURENDRAN-NAIR, S.; ALLEN-DUMAS, M.. Spatially explicit land-energy-water future scenarios for cities: Guiding infrastructure transitions for urban sustainability. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, [s.l.], v. 112, p.880-900, set. 2019.
- PARKER, D. D.; TSUR, Y. **Decentralization and Coordination of Water Resource Management**. [s. L.]: Kluwer Academic Publishers, 1997.
- PETERS, M. R. **Potencialidade de uso de fontes alternativas de água para fins não potáveis em uma unidade residencial**. Dissertação de Mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.
- RÊGO, J.C.; GALVÃO, C.O.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; RIBEIRO, M.M.R.; NUNES, T.H.C. (2014) Novas considerações sobre a gestão dos recursos hídricos do Açude Epitácio Pessoa - a seca 2012-2014. In: XII SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE, 12., 2014, Natal. **Anais...** [s.l.]: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2014. p. 1 – 10.
- RÊGO, J.C.; GALVÃO, C.O.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; RIBEIRO, M.M.R.; NUNES, T.H.C. (2017). Atribuições e responsabilidades na gestão dos recursos hídricos – o caso do açude Epitácio Pessoa / Boqueirão no Cariri paraibano. In: XX SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 2013, Bento Gonçalves. **Anais...** [s.l.]: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2013. p. 1 – 8.
- RÊGO, J.C.; GALVÃO, C.O.; VIEIRA, Z. M. C. L.; ALBUQUERQUE, J.P.T.; RIBEIRO, M.M.R.; SOUZA, J. A. (2017) A Gestão de recursos hídricos e a transposição de águas do rio São Francisco para o açude Epitácio Pessoa – Boqueirão. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 22., 2017. **Anais...** Porto Alegre: ABRH.

- ROCHA, V. L. **Validação do algoritmo do programa Netuno para avaliação do potencial de economia de água potável e dimensionamento de reservatórios de sistemas de aproveitamento de água pluvial em edificações**. 2009. 166 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.
- SANTANA, A. C. A. **Avaliação do gerenciamento da cisterna calçadão, enquanto tecnologia ambiental utilizada por famílias de agricultores no semiárido pernambucano**. 2015. 122 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru, 2015.
- SANTOS, C. S. M. **Avaliação do desempenho das cisternas de placas para abastecimento humano de água em comunidades rurais no semi-árido brasileiro**. 2008. 135 f. Dissertação 13 (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
- SINAPI - SISTEMA NACIONAL DE PESQUISA DE CUSTOS E ÍNDICES. **Referências de preços e custos**. [2020]. Disponível em: <http://www.caixa.gov.br/poder-publico/apoio-poder-publico/sinapi/referencias-precos-insumos/Paginas/default.aspx>. Acesso em: 20 abr. 2020.
- SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE SANEAMENTO (SNIS). **Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos – 2017**. 2019b.
- SOUZA, T. J. **Potencial de aproveitamento de água de chuva no meio urbano: o caso de Campina Grande – PB**. 2015. 72 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2015.
- STAVENHAGEN, M.; BUURMAN, J.; TORTAJADA, C. Saving water in cities: Assessing policies for residential water demand management in four cities in Europe. **Cities**, [s.l.], v. 79, p.187-195, set. 2018.
- STEC, A.; ZELEŇÁKOVÁ, M. An Analysis of the Effectiveness of Two Rainwater Harvesting Systems Located in Central Eastern Europe. **Water**, [s.l.], v. 11, n. 3, p.458-474, 5 mar. 2019.
- TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva em áreas urbanas para fins não potáveis**. [s.l.]: [s.n.], 2010. Disponível em: http://www.pliniotomaz.com.br/downloads/livros/Livro_aprov._aguadechuva/Livro%20Aproveitamento%20de%20agua%20de%20chuva%205%20dez%202015.pdf. Acesso em: 25 jun. 2019.