



Impacto da variabilidade climática intra e interanual no aproveitamento de água de chuva: um estudo de caso

Impact of intra and interannual climate variability on rainwater harvesting: a case study

Impacto de la variabilidad climática intra e interanual en la captación de agua de lluvia: un estudio de caso

SILVA, Maycon Breno Macena da¹
GALVÃO, Carlos de Oliveira²
RIBEIRO, Márcia Maria Rios³

¹Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Campina Grande, Paraíba, Brasil
sbrenomacena@gmail.com
ORCID: 0000-0002-3526-5442

²Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Campina Grande, Paraíba, Brasil carlos.galvao@ufcg.edu.br
ORCID: 0000-0002-0800-7085

³Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil e Ambiental, Campina Grande, Paraíba, Brasil marcia.ribeiro@ufcg.edu.br
ORCID: 0000-0002-3446-6752

Recebido em 24/02/2023. Aceito em 01/08/2023



Resumo

Este artigo apresenta o potencial de economia de água potável de um edifício universitário ao fazer uso de sistema de aproveitamento de água de chuva (SAAC) e como esse indicador varia intra e interanualmente, isto é, entre os meses do ano e entre diferentes anos de uma série histórica, respectivamente. Para isso, utilizaram-se simulações do balanço hídrico do SAAC com diferentes cenários de demandas e reservatórios, em passo de tempo diário, como método. Como resultados constatou-se que com reservatórios entre 23 e 33 m³ é possível economizar entre 90,84 e 193,68 m³ (9,5% e 20,2%) de água potável por ano apenas na edificação estudada. Percebeu-se também que quanto maior a demanda por água de chuva maior é a variação do potencial de economia de água potável. Conhecer essa variação é importante para o planejamento de recursos hídricos, mas não diminui o potencial e a atratividade dessa tecnologia social para edificações como a que aqui foi estudada.

Palavras-Chave: Água da chuva, edifícios públicos, variações sazonais, mudança climática.

Abstract

This article presents the potable water savings potential of a university building using a rainwater harvesting system (SAAC) and how this indicator varies intra and interannually, that is, between the months of the year and between different years of a historical series, respectively. For this, simulations of the water balance of the SAAC with different scenarios of demands and tanks, in a daily time step, were used as a method. As a result, it was found that with tanks between 23 and 33 m³ it is possible to save between 90.84 and 193.68 m³ (9,5% and 20,2%) of potable water per year in the building studied. It was also noticed that the greater the demand for rainwater, the greater the variation in the potential for saving potable water. Knowing this variation is important for water resources planning, but it does not diminish the potential and attractiveness of this appropriate technology for buildings such as the one studied here.

Key-Words: Rainwater, public buildings, seasonal variations, climate change.

Resumen

Este artículo presenta el potencial de ahorro de agua potable de un edificio universitario al utilizar un sistema de captación de agua de lluvia (SAAC) y cómo este indicador varía intra e interanualmente, es decir, entre los meses del año y entre diferentes años de una serie histórica, respectivamente. Para ello se utilizó como método simulaciones del balance hídrico del SAAC con diferentes escenarios de demandas y tanques, en un paso de tiempo diario. Como resultado se encontró que con tanques entre 23 y 33 m³ es posible ahorrar entre 90,84 y 193,68 m³ (9,5% y 20,2%) de agua potable al año solo en el edificio estudiado. También se percibió que cuanto mayor es la demanda de agua de lluvia, mayor es la variación en el potencial de ahorro de agua potable. Conocer esta variación es importante para la planificación de los recursos hídricos, pero no disminuye el potencial y el atractivo de esta tecnología social para edificios como el aquí estudiado.

Palabras clave: Agua de lluvia, edificios públicos, variaciones estacionales, cambio climático.

1. Introdução

Os sistemas de recursos hídricos têm estado sob estresse crônico por diversos motivos, como o aumento da população, crescente demanda para produção de bens de consumo e *commodities*, e os efeitos das mudanças climáticas. Este último motivo tem impacto direto na variabilidade climática, podendo aumentar a frequência e intensidade de eventos de secas e cheias (IPCC, 2021). Para lidar com esse cenário, a adaptação dos sistemas humanos e naturais deve ser discutida. Essa adaptação nos sistemas humanos é a capacidade de se adequar ao clima real ou esperado e seus efeitos, podendo ser antecipatória ou reativa (IPCC, 2022). Uma das maneiras que podem ser discutidas para essa finalidade nos sistemas hídricos é a adoção de fontes alternativas de água, como a coleta e aproveitamento de água de chuva (LIN *et al.*, 2019). A utilização dessa tecnologia social ganha ainda mais notoriedade diante das atuais e necessárias discussões para a universalização do serviço de abastecimento de água.

Os sistemas de aproveitamento de água de chuva (SAAC) também podem auxiliar no cumprimento de muitos dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) das Nações Unidas. Para Amos *et al.* (2020), quando o uso dessa tecnologia é agregado à agricultura familiar consegue-se afetar positivamente o atendimento de pelo menos oito dos 17 ODS. Além disso, Marinho, Galvão e Miranda (2020) e Barbosa, Marinho e Galvão (2019) discutem como a implantação de SAAC pode diminuir a centralização do sistema de abastecimento de água e tornar as cidades mais sensíveis à água, isto é, minimizando a importação de água e a exportação de águas residuárias.

No contexto das mudanças climáticas, autores apontam que os SAAC podem continuar atrativos diante de possíveis cenários simulados que levam em consideração a alteração do clima (IMTEAZ; PAUDEL; SANTOS, 2021; LIN *et al.*, 2019; MUSAYEV *et al.*, 2018; SANTOS *et al.*, 2020). Outros apontam que pode haver alguma redução de desempenho, seja por características intrínsecas do clima da região analisada, das dinâmicas dos usuários ou da edificação, como do tamanho de área de captação (PREETI; HADDAD; RAHMAN, 2022; ROCHA *et al.*, 2022; TOOSI *et al.*, 2020; ZHANG *et al.*, 2019). Santos *et al.* (2020) mostram, ainda, que as mudanças climáticas podem fazer a adoção de SAAC se tornar mais atrativa economicamente. Além disso, os SAAC podem ser úteis também para diminuir os impactos das mudanças climáticas na drenagem urbana (CARVALHO; SOUZA FILHO; SABÓIA, 2020).

A partir de estudos de revisão, percebe-se que têm se dedicado a explorar, em maior proporção, o uso de SAAC em edificações residenciais uni e multifamiliares (TESTON *et al.*, 2022; CAMPISANO *et al.*, 2017), mas é necessário que, para todo tipo de edificação, se conheça o potencial de racionalizar o uso de água por meio de fontes alternativas como a coleta de água de chuva. Karim *et al.* (2021) expõem que ainda são escassos os estudos que investigam a implantação de SAAC em edificações públicas e comerciais.

Somado a isso, os resultados geralmente aparecem em valores médios de economia de água, mas o potencial de economizar água está atrelado, dentre outros fatores, à precipitação, que apresenta variabilidade intra e interanual, em maior proporção em regiões áridas e semiáridas. Com as possíveis mudanças climáticas essa característica dos regimes de precipitações pode ser intensificada consideravelmente (PENDERGRASS *et al.*, 2017; WOOD *et al.*, 2021). Diante disso, cabe investigar o impacto dessa variabilidade no potencial de economia de água potável, observando como esse indicador varia ao longo dos meses do ano e em anos distintos. Responder a lacunas como essas pode ser uma forma de fortalecer a orientação para adoção de SAAC nos meios urbanos, tornando-os mais resilientes.

Assim, este artigo tem como objetivos principais apresentar a quantidade de água que poderia ser economizada em uma edificação pública, tomando como caso um edifício situado na Universidade

Federal de Campina Grande (UFCG), ao fazer uso de SAAC e analisar como varia a economia de água potável de forma intra (entre os meses do ano) e interanual (entre diferentes anos de uma série histórica).

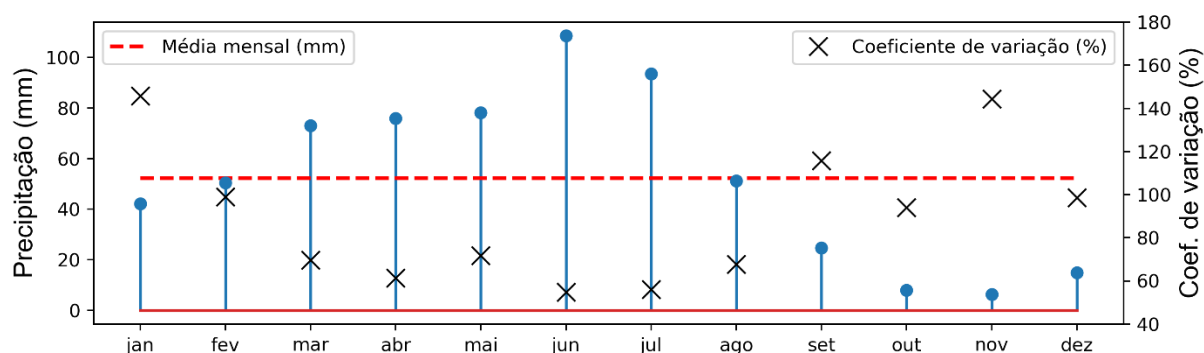
2. Área de Estudo

A edificação que teve o SAAC simulado neste estudo é um edifício universitário chamado CAA, que serve como central de aulas no campus sede da UFCG, localizado em Campina Grande, Paraíba (Figura 1). Este município está situado na porção semiárida paraibana e possui a segunda maior população do Estado. É um importante polo econômico, tecnológico e educacional. Possui um regime de precipitação característico do semiárido, com volumes precipitados mensais que dificilmente ultrapassam os 100 milímetros (Figura 2).

Figura 1: Mapa de localização de Campina Grande e do bloco estudado.



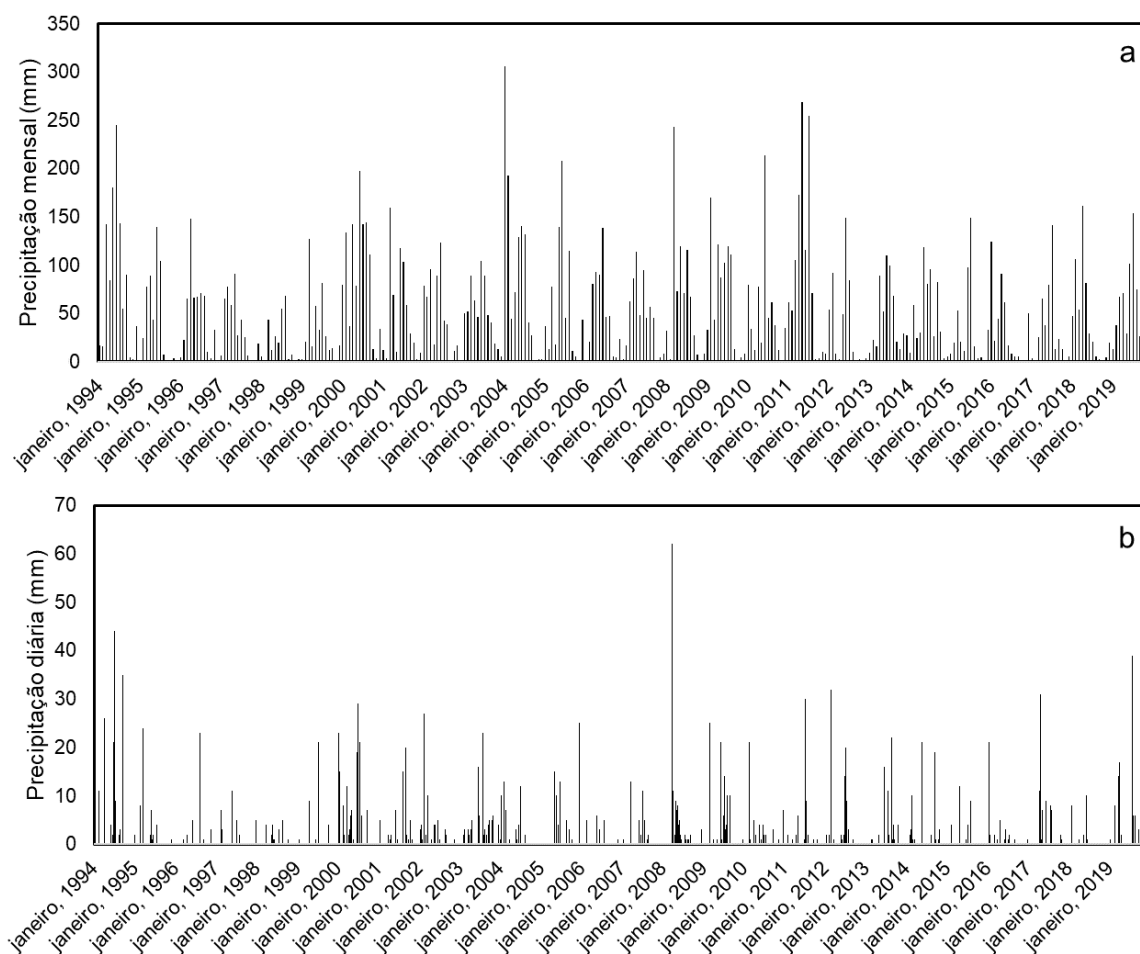
Figura 2: Precipitações médias mensais para Campina Grande no período 1994-2019.



Na Figura 2 percebe-se que os meses com maior volume de chuva vão de março até julho e que as maiores variações nos acumulados estão entre os meses de setembro a fevereiro, meses com menor volume de chuva. O coeficiente de variação para as precipitações anuais é de 36,5%. A Figura 3 também

ajuda a visualizar a variabilidade da precipitação ao longos dos anos, seja em escala mensal ou diária.

Figura 3: Série histórica de precipitações para o período de 1994-2019 em escala (a) mensal e (b) diária.



Campina Grande é um município que se apresenta bastante vulnerável hidricamente. Tem se tornado comum o uso de medidas reativas e não preventivas para os períodos de secas, como os racionamentos de água, que contribuem para um cenário de injustiça hídrica na zona urbana da cidade (GRANDE *et al.*, 2016). De acordo com Cordão *et al.* (2020), 37,8% das edificações de toda zona urbana de Campina Grande estão sob risco alto ou muito alto de falta de água. Quando consideramos apenas as edificações institucionais, como as da UFCG, esse valor reduz para 23,5%, mas ainda é um percentual considerável e que indica certa criticidade.

O abastecimento de água de Campina Grande é bastante centralizado (MARINHO; GALVÃO; MIRANDA, 2020) e depende de um único corpo hídrico, o Reservatório Eptácio Pessoa, localizado no município de Boqueirão, no mesmo Estado. O reservatório passou por duas crises hídricas bastante severas nas duas últimas décadas, desencadeadas sobretudo por ausência de uma eficiente governança da água, e que ameaçaram colapsar o serviço de abastecimento de muitas cidades, inclusive o de Campina Grande (RÊGO *et al.*, 2017).

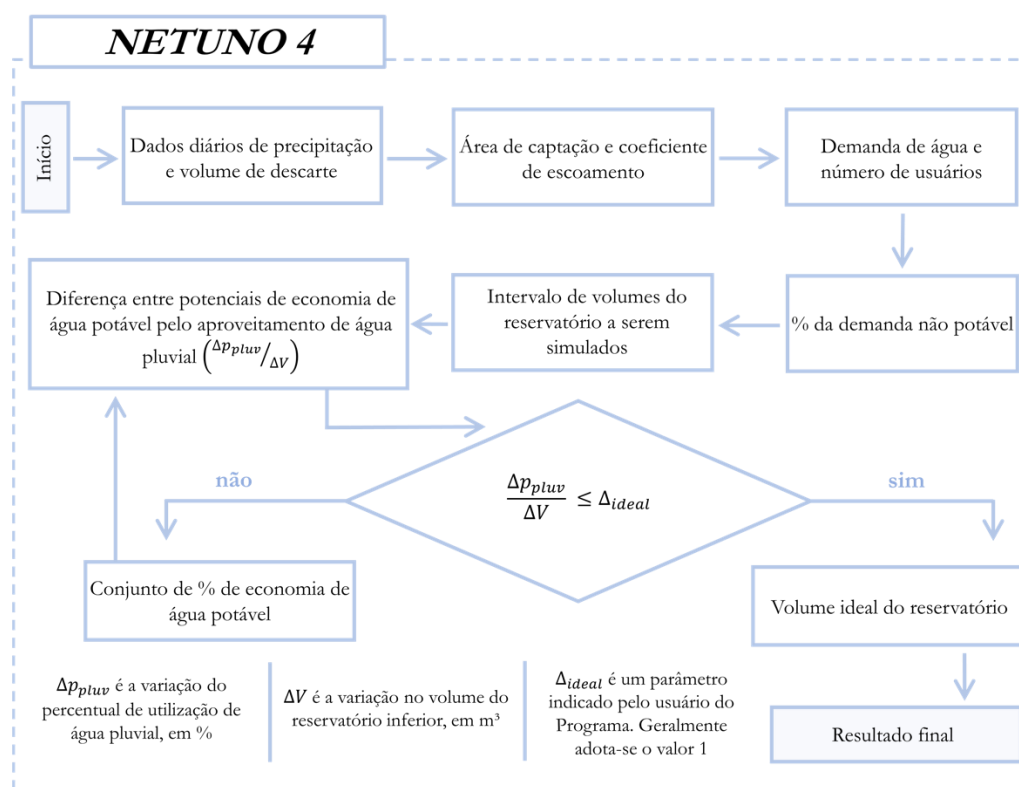
Nos últimos anos, a UFCG tem adotado medidas para racionalizar o consumo de água por meio do Projeto Reestruturação do Sistema de Abastecimento de Água da UFCG (2019). Algumas das medidas adotadas foram: adoção de equipamentos poupadores de água, combate de perdas por vazamentos e

campanhas educativas de água. Além disso, o uso de SAAC nas edificações da instituição foi sugerido por Soares (2012) e é reforçado neste estudo, como uma forma de diminuir a dependência da instituição do sistema centralizado de abastecimento.

3. Metodologia

Foram realizadas simulações para o aproveitamento de água de chuva exclusivamente para fins não potáveis. Para dimensionar o reservatório para armazenar água de chuva e analisar a variação no potencial de economia de água potável foi utilizado o *software* Netuno 4 (GHISI; CORDOVA, 2014). O algoritmo utilizado está resumido na Figura 4 e foi validado por Rocha (2009). O *software* oferece como saídas: o volume mais adequado para o reservatório que irá acumular água de chuva, o potencial médio de economia de água potável para todo o período simulado e para cada mês do ano (Equação 1), e permite realizar também análises financeiras (que não será alvo de discussão neste estudo). Mais detalhes sobre o Netuno 4, incluindo as equações utilizadas, podem ser encontrados em Rocha (2009).

Figura 4: Algoritmo do *software* Netuno 4 para definir o volume ideal do reservatório.



Fonte: Silva, Lima e Ribeiro (2021) adaptada de Cardoso, Blanco e Duarte (2020).

A metodologia utilizada pelo Netuno 4 é baseada em modelos comportamentais (FEWKES, 2000) e muito se assemelha ao método da simulação para o dimensionamento de reservatórios apresentado pela versão revogada da NBR 15.527, de 2007, mesmo que em nenhum momento os desenvolvedores do *software* façam menção a este método. A versão atualizada da NBR 15.527 (ABNT, 2019) não apresenta qualquer método de dimensionamento, ficando a critério do projetista. Apesar disso, se faz a recomendação de que o dimensionamento leve em consideração a área de captação, o regime pluviométrico do local e a demanda não potável a ser atendida. Esses parâmetros são considerados pelo Netuno 4.

Na Figura 4 são apresentados os dados de entrada necessários para que as simulações possam ser realizadas. Na Tabela 1 são apresentados os valores adotados para esses dados na edificação estudada e as fontes de coleta para as informações.

Tabela 1: Dados e fontes consideradas para o estudo.

Informação	Valor considerado	Fonte
Dados diários de precipitação	26 anos de dados diários (1994-2019) (Figura 3)	AESA (2019)
Volume de descarte	2 mm	NBR 15.527 (ABNT, 2019)
Área de captação	1106,77 m ²	Plantas digitais da UFCG
Coeficiente de escoamento*	0,8	Rocha (2009)
Demanda de água	19,93 m ³ por semana	Projeto Reestruturação do Sistema de Abastecimento de Água da UFCG (2019)
% da demanda de água não potável**	10% (Cenário I), 20% (Cenário II) e 30% (Cenário III)	-
Intervalo de volumes do reservatório a serem simulados***	Reservatórios até 50 m ³	-

* Valor apresentado por Rocha (2009) como boa estimativa para representar perdas do volume de chuva precipitado;
 ** Não há informações para esta edificação da porcentagem do consumo de água que é destinada aos fins não potáveis, dessa forma, foram adotados os percentuais apresentados;
 *** Valor condicionado ao espaço disponível para implementação.

A série histórica de precipitação tem um comprimento adequado para o tipo de simulação realizada (SANTOS *et al.*, 2018). A série (Figuras 2 e 3) apresenta: média anual de precipitação de 627,1 mm, coeficiente de variação anual de 36,52%, média mensal de 52,3 mm, média diária de 1,71 mm, 58% dos dias sem chuva, 23,94% de dias com chuva menor ou igual ao volume inicial de descarte (2 mm) e 18,06% com chuva maior que 2 mm.

Os dados de consumo da edificação foram coletados entre os anos de 2016 e 2017 pelo Projeto Reestruturação do Sistema de Abastecimento de Água da UFCG (2019). Para o CAA o consumo foi monitorado por 24 semanas (Figura 5), resultando em um valor médio semanal de 19,93 m³ e com um desvio padrão de 5,89 m³. Foi utilizado como dado de entrada de consumo diário o valor médio semanal (19,93 m³) dividido pelos cinco dias úteis da semana em que a edificação é utilizada intensamente. Assume-se, assim, que nos fins de semana o consumo de água é zero, de modo a evitar o subdimensionamento do sistema.

Foram realizadas três simulações com a série histórica completa de dados de chuva e alterando os percentuais da demanda de água não potável (Cenário I, II e III). Em seguida a série histórica foi dividida em 26 séries de um ano de dados diários cada e foram realizadas mais 78 simulações, alterando para cada uma das séries o percentual da demanda de água não potável. Todo esse processo está ilustrado na Figura 6. Ao fim de cada simulação foi registrado o volume mais adequado para o reservatório, o potencial médio de economia de água potável e a porcentagem do tempo em que a demanda não foi atendida.

Com os resultados obtidos pelas simulações para cada ano e para cada mês da série histórica foi possível observar como a economia de água potável variou de forma intra e interanual.

Figura 5: Dados do consumo semanal monitorados no CAA.

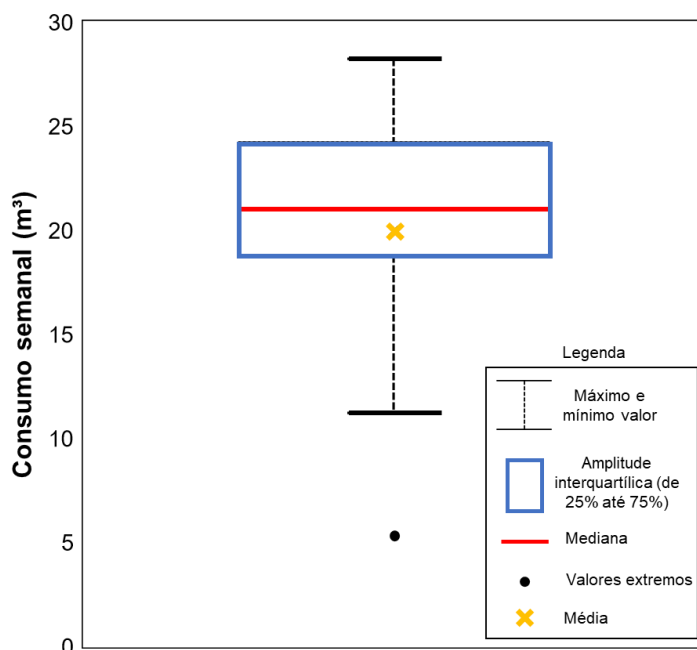
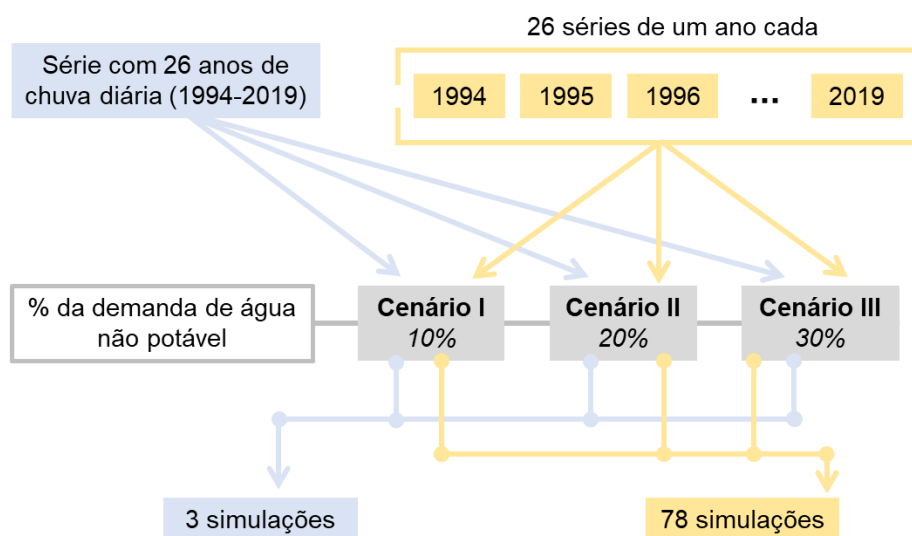


Figura 6: Fluxograma da composição de cada uma das simulações realizadas.



4. Resultados e Discussão

Na Tabela 2 são apresentados os principais resultados das simulações para o CAA. Nota-se inicialmente que os volumes dos reservatórios para os três cenários são bastante aceitáveis levando em consideração a dimensão da edificação (1106 m² e 3 andares) e o espaço disponível para implementação (cerca de 1090 m²). O maior reservatório está associado ao Cenário II e não ao Cenário III, como poderia ser esperado. Isto ocorre porque ao aumentar o volume do reservatório no Cenário III para além de 23 m³, não se consegue ter um ganho em economia de água potável que seja proporcional ao aumento. Esta condição também é explicada por Soares (2012), que ainda expõe que há ganhos em fazer uso de grandes reservatórios se não houver chuvas volumosas o suficiente para enchê-los.

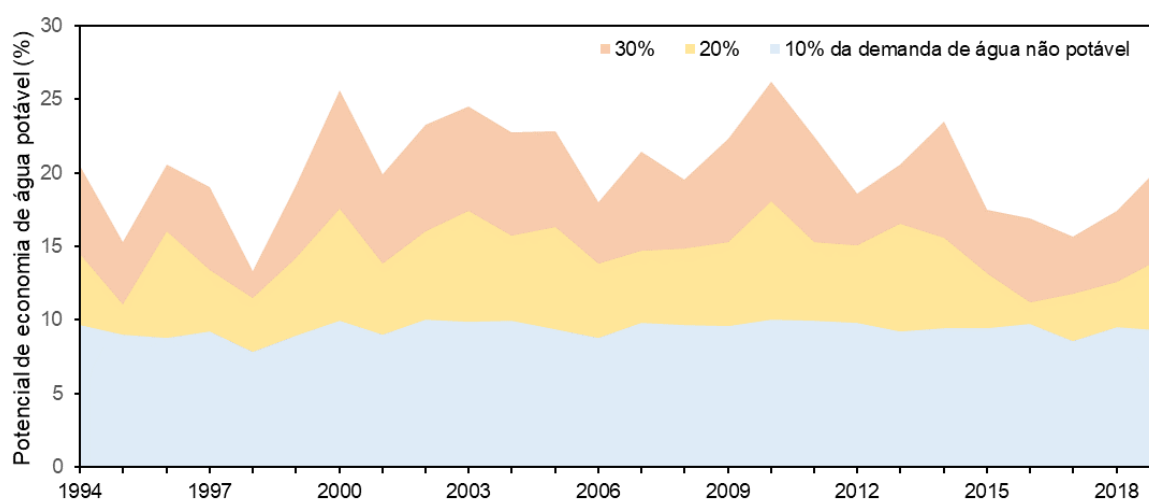
Tabela 2: Resumo dos resultados dos SAAC simulados para o CAA.

% da demanda de água não potável	Volume mais adequado para o reservatório	Potencial médio de economia de água potável	% do tempo com demanda não atendida	Volume estimado de água potável economizado por ano
10% (Cenário I)	26 m ³	9,49%	32,09%	90,84 m ³
20% (Cenário II)	33 m ³	16,48%	40,79%	157,68 m ³
30% (Cenário III)	23 m ³	20,24%	51,13%	193,68 m ³

O potencial médio de economia de água potável chega mais próximo à demanda de água de chuva no Cenário I. Ao aumentar essa demanda, diminui o percentual atendido. Este tipo de comportamento dos SAAC é esperado, pois, ao aumentar a demanda por água de chuva, menor é a chance de que essa demanda seja atendida totalmente nos meses em que ocorre estiagem. Isto é demonstrado no tempo em que a demanda não é atendida para os sistemas simulados, apresentado na Tabela 2. Esse percentual é maior para o Cenário III do que para os outros dois cenários. Apesar disso, nota-se que o ganho ambiental é maior para o Cenário III, isto é, maior quantidade de potável poupada.

Com os resultados, percebe-se que para o CAA é possível atender a uma demanda de água não potável menor com o aproveitamento de água de chuva se comparado com simulações realizadas em edifícios universitários em outras regiões do Brasil, com maior volume de chuvas e distribuídas de forma mais homogênea ao longo do ano. No Pará, Cardoso, Blanco e Duarte (2020) analisaram sistemas de aproveitamento de água de chuva para dois edifícios universitários com áreas de captação de 1.216,47 m² e 300 m², demandas de água bastante superiores a do CAA (5,5 m³/dia para o primeiro e 11,2 m³/dia para o segundo) e submetidos a uma precipitação média mensal de 272 mm por mês. Os autores estimaram um potencial médio de economia de água potável de 80% e 87% para os edifícios. Em Florianópolis, Ghisi, Thives e Paes (2017) e em Recife, Lima, Nunes e Silva (2017) também chegaram a maiores percentuais de economia de água potável para edificações de ensino. Mas, no caso de Recife isso foi possível com um reservatório maior que os sugeridos para o CAA, 50 m³. Nota-se, portanto, como o regime de chuvas em uma cidade de clima semiárido pode afetar os indicadores de desempenho de um SAAC, ainda que isso não diminua sua importância na descentralização do abastecimento público e na racionalização do uso da água.

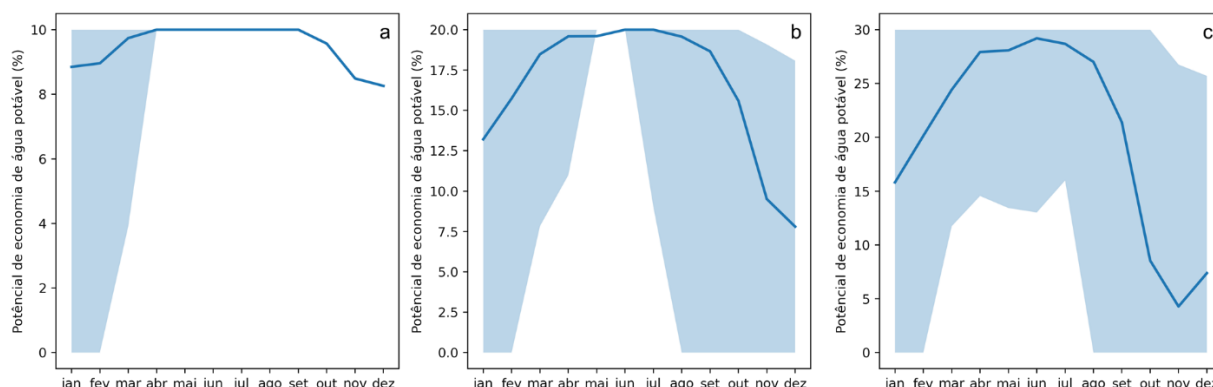
Figura 7: Variação interanual do potencial de economia de água potável.



Na Figura 7 é possível identificar que o percentual médio de economia de água potável foi variando para cada ano da série histórica simulada, modulando a variação interanual desse indicador. É esperado que haja variação nesse indicador visto que ele está diretamente relacionado ao volume e à distribuição das chuvas, características bastante mutáveis, sobretudo diante dos cenários de mudanças climáticas e em regiões em que predomina o clima semiárido, marcado por alta variabilidade anual na precipitação (MARENGO *et al.*, 2011). Nota-se que a amplitude dessa variação é maior para os cenários que utilizam água de chuva para uma demanda maior de usos não potáveis. Isso ocorre porque, quando se tem uma demanda baixa de água de chuva, mesmo nos anos secos é possível atendê-la em maior proporção, o que não ocorre quando essa demanda aumenta.

A variação intra-anual (Figura 8) está bastante relacionada à maneira em que as chuvas se distribuem ao longo dos meses. A área sombreada em azul na Figura 8 indica o intervalo de valores do potencial de economia de água potável para os diferentes meses da série histórica simulada. No Cenário I, o volume armazenado entre os meses chuvosos (abril-agosto) é responsável por prolongar a utilização da água de chuva para fins não potáveis para os próximos meses. Isso acontece para todo o período simulado, por isso não se identifica amplitude (área sombreada) do potencial de economia de água potável entre os meses de abril até dezembro. No Cenário II isso só ocorre entre maio e junho. No Cenário III a variação intra-anual é maior, mas os meses em que o potencial de economia chega a zero são iguais ao Cenário II (agosto até fevereiro).

Figura 8: Variação intra-anual do potencial de economia de água potável para o (a) Cenário I, (b) Cenário e (c) Cenário III.



Conhecer a variação interanual e intra-anual da economia de água potável é importante para os usuários que planejam adotar SAAC, sobretudo se a implantação ocorrer em larga escala, ou seja, muitos edifícios. Isso causaria impacto no consumo e custos de água tratada produzidas pelas companhias de abastecimento e, conseqüentemente, no montante que os usuários finais iriam pagar.

Assim, a variação interanual e intra-anual não necessariamente é um fator que torna menos atrativa a adoção dessa tecnologia, pois ela atuaria como uma fonte complementar ao sistema de abastecimento centralizado (por meio das concessionárias). Ao fazer uso dos SAAC, nos períodos em que a demanda por água de chuva não for atendida ainda se poderá fazer uso da fonte centralizada, sem prejuízo aos usuários. Esse tipo de composição de oferta hídrica com mais de uma fonte de abastecimento, apesar de mais complexo, é o que parece mais racional em um contexto que condiciona todos a planejar e operacionalizar espaços urbanos mais resilientes, capazes de suportar estresses (como as secas) sem perder suas funções básicas (CHELLERI; SCHUETZE; SALVATI, 2015; MUSAYEV *et al.*, 2018).

No caso da UFCG, as simulações neste estudo apresentam potenciais de economia de água ao adotar SAAC apenas para uma das mais de 100 edificações. O impacto da implantação dessa tecnologia social poderia ser ainda maior para a instituição como um todo se mais edificações adotassem essa fonte descentralizada de abastecimento.

Atualmente, alguns prédios da universidade já possuem reservatórios para acumular água de chuva. Mas não há informações institucionais disponíveis sobre quais possuem, os volumes de armazenamento e se são utilizados para demandas não potáveis. Diante disso, este estudo pode se somar ao de Soares (2012) na orientação de adoção de reservatórios para captar água de chuva na UFCG como uma boa maneira de melhorar a gestão de demanda de água. Além disso, a UFCG pode ser um ator importante na governança da implementação de SAAC em todo o município, oferecendo conhecimento para difundir essa tecnologia entre os residentes, como mostra Castro, Ravena e Mendes (2020) para o caso da Universidade Federal do Pará.

Ao fazer isso a UFCG estaria executando um dos instrumentos da Política Estadual de Captação, Armazenamento e Aproveitamento da Água da Chuva (PEAC) do Estado da Paraíba (2013). A PEAC foi criada pela Lei Estadual nº 10033 de 2013. É a única política estadual focada no incentivo a implementação de SAAC (SILVA; DANTAS; RODRIGUES, 2019). Após uma década de sua promulgação continua pouco conhecida no próprio Estado e não foi capaz de incentivar a criação de programas baseados em suas diretrizes. Dentre os instrumentos da PEAC está a implantação de SAAC em prédios públicos e a criação de incentivos econômicos para promover a utilização dessa tecnologia. A experiência do Japão mostra como a utilização de incentivos econômicos foi útil para difundir a captação e aproveitamento de água de chuvas em edificações públicas. Com esses incentivos, 30% dos SAAC em edificações japonesas estão presentes em edifícios universitários e escolas (CAMPISANO *et al.*, 2017).

5. Conclusões

Os sistemas hídricos estão submetidos a estresses crônicos. Diante disso, se apresenta a necessidade de difundir a implementação de fontes alternativas de abastecimento, como os sistemas de coleta e aproveitamento de água de chuva. Sendo assim, este estudo se propôs a investigar os impactos de uso dessa tecnologia em uma edificação pública da UFCG, no semiárido paraibano, e como o potencial de economia de água potável varia intra e interanualmente.

Conclui-se que aumentar a demanda por água de chuva aumenta a variação da quantidade de água potável que poderá ser economizada e que em alguns meses do ano poderá não haver água de chuva suficiente para satisfazer as demandas não potáveis.

Apesar disso, a adoção dessa tecnologia social continua se mostrando atraente ambientalmente em edificações públicas, como a que aqui foi considerada. Dessa forma, é necessário que haja uma mudança de paradigma: diminuir a procura por novos corpos hídricos para ampliar o atendimento ao abastecimento de água e aumentar a adoção de medidas de gestão de demanda que permita utilizar esse recurso de maneira racional, ao mesmo tempo que permite atender um número maior de pessoas.

No caso do estado da Paraíba, onde já existe uma política específica para incentivar a captação de água de chuva, ações e programas para implementar seus instrumentos pode ser um caminho fortemente recomendado para que se faça a descentralização do abastecimento de água dos municípios e, dessa forma, os espaços urbanos se tornem mais resilientes e sensíveis a água.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece a bolsa de estudo concedida pela Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES). Todos os autores agradecem ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo financiamento dos projetos dos quais esta pesquisa faz parte.

Referências

AGÊNCIA EXECUTIVA DE GESTÃO DAS ÁGUAS DO ESTADO DA PARAÍBA – AESA. **Meteorologia – chuvas**. 2019. Disponível em: <http://www.aesa.pb.gov.br/aesa-website/meteorologia-chuvas/>. Acesso em: 22 abr. 2019.

AMOS, C.; RAHMAN, A.; GATHENYA, J.; FRIEDLER, E.; KARIM, F.; RENZHO, A. Roof-Harvested Rainwater Use in Household Agriculture: contributions to the sustainable development goals. **Water**, v. 12, n. 2, p. 332, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 15527**: Aproveitamento de água de chuva de coberturas para fins não potáveis – Requisitos. Rio de Janeiro, 2019.

BARBOSA, G. A.; MARINHO, S. D. A. M.; GALVÃO, C. O. Potencial de melhoria do metabolismo da água em um empreendimento de habitação popular de grande porte por meio de fontes alternativas. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 23., 2019, Foz do Iguaçu. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2019. p. 1-10.

CAMPISANO, A.; BUTLER, D.; WARD, S.; BURNS, M. J.; FRIEDLER, E.; DEBUSK, K.; FISHER-JEFFES, L. N.; GHISI, E.; RAHMAN, A.; FURUMAI, H. Urban rainwater harvesting systems: research, implementation and future perspectives. **Water Research**, v. 115, p. 195-209, 2017.

CARDOSO, R. N. C.; BLANCO, C. J. C.; DUARTE, J. M. Technical and financial feasibility of rainwater harvesting systems in public buildings in Amazon, Brazil. **Journal of Cleaner Production**, v. 260, p. 121054, 2020.

CARVALHO, T. M. N.; SOUZA FILHO, F. A.; SABÓIA, M. A. M. Performance of rainwater tanks for runoff reduction under climate change scenarios: a case study in Brazil. **Urban Water Journal**, v. 17, n. 10, p. 912-922, 2020.

CASTRO, P. P. C.; RAVENA, N.; MENDES, R. Understanding governance in the implementation of rainwater systems in the Amazon – Belem. **Management of Environmental Quality: An International Journal**, v. 31, n. 1, p. 54-74, 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**, v. 48, p. 122-130, 2015.

CORDÃO, M. J. S.; RUFINO, I. A. A.; ALVES, P. B. R.; BARROS FILHO, M. N. M. Water shortage risk mapping: a gis-mcda approach for a medium-sized city in the Brazilian semi-arid region. **Urban Water Journal**, v. 17, n. 7, p. 642-655, 2020.

FEWKES, A. Modelling the performance of rainwater collection systems: towards a generalised approach. **Urban Water**, v. 1, n. 4, p. 323-333, 2000.

- GHISI, E.; CORDOVA, M. M. **Netuno 4**. Programa computacional. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil. 2014. Disponível em: <http://www.labeee.ufsc.br/>. Acesso em: 20 jul. 2020.
- GHISI, E.; THIVES, L. P.; PAES, R. F. W. Investment feasibility analysis of rainwater harvesting in a building in Brazil. **Water Supply**, v. 18, n. 4, p. 1497-1504, 2017.
- GRANDE, M. H.; GALVÃO, C. O.; MIRANDA, L. I. B.; GUERRA SOBRINHO, L. D. The perception of users about the impacts of water rationing on their household routines. **Ambiente & Sociedade**, v. 19, n. 1, p. 163-182, 2016.
- IMTEAZ, M. A.; PAUDEL, U.; SANTOS, C. Impacts of climate change on weather and spatial variabilities of potential water savings from rainwater tanks. **Journal of Cleaner Production**, v. 311, p. 127491, 2021.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2022: Impacts, Adaptation and Vulnerability**. Suíça: IPCC, 2022.
- INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE – IPCC. **Climate Change 2021: The Physical Science Basis**. Suíça: IPCC, 2021.
- KARIM, Md. R.; SAKIB, B. M. S.; SAKIB, Sk. S.; IMTEAZ, M. A. Rainwater Harvesting Potentials in Commercial Buildings in Dhaka: reliability and economic analysis. **Hydrology**, v. 8, n. 1, p. 9, 2021.
- LIMA, K. L. B. A.; NUNES, L. G. C. F.; SILVA, S. R. Análise da viabilidade de implantação de captação de águas pluviais em escola pública no Recife-PE. **Revista Nacional de Gerenciamento de Cidades**, v. 5, n. 36, p. 1-17, 2017.
- LIN, C.; LIOU, K.; LEE, M.; CHIUEH, P. Impacts of urban water consumption under climate change: an adaptation measure of rainwater harvesting system. **Journal of Hydrology**, v. 572, p. 160-168, 2019.
- MARENGO, J. A.; ALVES, L. M.; BESERRA, E. A.; LACERDA, F. F. Variabilidade e mudanças climáticas no semiárido brasileiro. In: MEDEIROS, S. S.; GHEYI, H. R.; GALVÃO, C. O.; PAZ, V. P. D. (Ed.). **Recursos Hídricos em regiões áridas e semiáridas**. Campina Grande: Instituto Nacional do Semiárido, 2011, p. 385-422.
- MARINHO, S. D. A. M.; GALVÃO, C. O.; MIRANDA, L. I. B. A cidade sensível à água sob a perspectiva do metabolismo urbano e da análise da produção do espaço. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 25, n. 5, p. 727-737, 2020.
- MUSAYEV, S.; BURGESS, E.; MELLOR, J. A global performance assessment of rainwater harvesting under climate change. **Resources, Conservation and Recycling**, v. 132, p. 62-70, 2018.
- PARAÍBA. Lei nº 10.033, de 03 de julho de 2013. **Diário Oficial do Estado da Paraíba de 04/07/2013**. João Pessoa, PB, 2013.
- PENDERGRASS, A. G.; KNUTTI, R.; LEHNER, F.; DESER, C.; SANDERSON, B. M. Precipitation variability increases in a warmer climate. **Scientific Reports**, v. 7, n. 1, p. 1-9, 2017.
- PREETI, P.; HADDAD, K.; RAHMAN, A. Assessing the Impacts of Climate Change on Rainwater Harvesting: a case study for eight australian capital cities. **Water**, v. 14, n. 19, p. 3123, 2022.
- RÊGO, J. C.; GALVÃO, C. O.; ALBUQUERQUE, J. P. T.; RIBEIRO, M. M. R.; NUNES, T. H. C. 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, Florianópolis. **Anais...** Associação Brasileira de Recursos Hídricos, 2017. p. 1-8.

ROCHA, M. S. D.; NÓBREGA, R. L. B.; FARIAS, C. A. S.; GALVÃO, C. O. Impacto das mudanças climáticas em cisternas rurais do nordeste brasileiro. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, p. 5-15, 2022.

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.

SANTOS, C. A. G.; GALVÃO, C. O.; BRASIL NETO, R. M.; MENESES, I. A. Variability of rainfall in the semi-arid region of Brazil. In: International Conference on Hydroinformatics, 13, 2018, Palermo. **Proceedings...** HIC, 2018. p. 1-4.

SANTOS, C.; IMTEAZ, M.A.; GHISI, E.; MATOS, C. The effect of climate change on domestic Rainwater Harvesting. **Science of The Total Environment**, v. 729, p. 138967, 2020.

SILVA, M. B. M.; DANTAS, A. K. E. A.; RODRIGUES, A. C. L. Dispositivos legais relacionados à captação de água de chuva no Brasil. In: I CONIMAS e III CONIDIS, 2019, Campina Grande. **Anais...** Realize Editora, 2019. p. 1-12.

SILVA, M. B. M.; LIMA, D. F.; RIBEIRO, M. M. R. Governança de água e planejamento urbano: aproveitamento de água de chuva para construção de cidades mais resilientes. **Revista de Gestão de Água da América Latina**, v. 18, n. 1, p. 1-14, 2021.

SOARES, A. L. F. **Gerenciamento da demanda de água em ambientes de uso público: o caso da Universidade Federal de Campina Grande**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2012.

TESTON, A.; SCOLARO, T. P.; MAYKOT, J. K.; GHISI, E. Comprehensive Environmental Assessment of Rainwater Harvesting Systems: a literature review. **Water**, v. 14, n. 17, p. 2716, 2022.

TOOSI, A. S.; DANESH, S.; TOUSI, E. G.; DOULABIAN, S. Annual and seasonal reliability of urban rainwater harvesting system under climate change. **Sustainable Cities and Society**, v. 63, p. 102427, 2020.

UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE – UFCG. **UFCG economiza R\$ 1,5 milhão na conta de água em 4 anos**. 2019. Disponível em: <https://www.prefeitura.ufcg.edu.br/images/agua/PU-Dados---Consumo-de-gua-2019-15milho.pdf>. Acesso em: 20 jun. 2022.

WOOD, R. R.; LEHNER, F.; PENDERGRASS, A. G.; SCHLUNEGGER, S. Changes in precipitation variability across time scales in multiple global climate model large ensembles. **Environmental Research Letters**, v. 16, n. 8, p. 084022, 2021.

ZHANG, S.; ZHANG, J.; YUE, T.; JING, X. Impacts of climate change on urban rainwater harvesting systems. **Science of The Total Environment**, v. 665, p. 262-274, 2019.



Maycon Breno Macena da Silva

Doutorando em Engenharia Civil e Ambiental pela Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). Bacharel em Engenharia Civil e mestre em Engenharia Civil e Ambiental também pela UFCG. Foi monitor no componente curricular Ciências do Ambiente, extensionista, pesquisador de iniciação científica e estagiário da Agência Executiva de Gestão das Águas do Estado da Paraíba (AESA). Desenvolve atividades relacionadas à governança das águas e gestão de demanda dos recursos hídricos.

Contribuição de coautoria: Concepção; Curadoria de dados; Análise; Coleta de dados; Metodologia; Redação – rascunho original; Redação - revisão e edição.

Carlos de Oliveira Galvão

Professor Titular da Universidade Federal de Campina Grande, onde é docente desde 1993, é Engenheiro Civil (1984) e Mestre (1990) em Engenharia Civil/Recursos Hídricos pela Universidade Federal da Paraíba/Campina Grande e Doutor em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (1999). Tem atuação principal em hidrologia do semiárido, hidrometeorologia e gestão de recursos hídricos.

Contribuição de coautoria: Concepção; Metodologia; Supervisão; Redação - revisão e edição.

Márcia Maria Rios Ribeiro

Possui graduação em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (1985), mestrado em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (1990) e doutorado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (2000) com um período (sanduíche) na University of East Anglia (Inglaterra). Pós-doutorado no Instituto de Ciências Sociais da Universidade de Lisboa (2010-2011). Pós-Doutorado na Griffith University - Australian Rivers Institute - Austrália (2016-2017). É professora da Universidade Federal de Campina Grande (UFCG). É Editora Associada da Revista Brasileira de Recursos Hídricos (RBRH). Foi Diretora de Comissões Técnicas da Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH). Atua no tema da gestão de recursos hídricos com ênfase para os seus aspectos econômicos, sociais, legais e institucionais abordando, entre outros, os instrumentos de gestão, a análise de conflitos, o gerenciamento da demanda de água, a participação pública.

Contribuição de coautoria: Concepção; Metodologia; Supervisão; Redação - revisão e edição.

Como citar: SILVA, Maycon Breno Macena da; GALVÃO, Carlos de Oliveira; RIBEIRO, Márcia Maria Rios. Impacto da variabilidade climática intra e interanual no aproveitamento de água de chuva: um estudo de caso. Revista Paranoá. N.34, jan/jun 2023. DOI 10.18830/issn.1679-0944.n34.2023.23

Editores responsáveis: Daniel Sant'Ana, Livia Santana, Ronaldo Rodrigues Lopes Mendes, Sílvia Roberto Magalhães Orrico e Thiago Alberto da Silva Pereira.