

Avaliação das variáveis físico-químicas da água de chuva submetida à filtração em carvão ativado de caroço de açaí, areia e carvão ativado de caroço de açaí com areia

Evaluation of the physicochemical variables of rainwater subjected to filtration in activated carbon from açai seeds, sand, and activated carbon from açai seeds with sand

DOI: 10.34188/bjaerv6n3-005

Recebimento dos originais: 05/05/2023

Aceitação para publicação: 30/06/2023

Marina Scarano Corrêa

Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará - UFPa
Instituição: Universidade Federal do Pará - UFPa
Endereço: R. Augusto Corrêa, 01 - Guamá, Belém - PA
E-mail: marina_scarano@ymail.com

Antônio Jorge Silva Araújo Junior

Professor do Ensino Básico Técnico e Tecnológico - IFPA
Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará – UFPa
Instituição: Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará - IFPA
Endereço: Av. Couto Magalhães, 1649 - Universitário, Conceição do Araguaia – PA

Ian Rocha de Almeida

Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre -RS
E-mail: ianrochalmeida@gmail.com

Ligia Conceição Tavares

Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul - UFRGS
Instituição: Universidade Federal do Rio Grande do Sul
Endereço: Av. Bento Gonçalves, 9500 – Porto Alegre -RS
E-mail: ligiacontavares@gmail.com

Luiza Carla Girard Mendes Teixeira

Professora Titular da Universidade Federal do Pará - UFPa
Doutora em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido pela Universidade Federal do Pará – UFPa
Instituição: Universidade Federal do Pará - IFPA
Endereço: Av. Augusto Correa, 01 - Guamá, Belém - PA
E-mail: luiza.girard@gmail.com

RESUMO

O uso crescente de água proveniente de fontes pluviais como alternativa para suprir a demanda hídrica tem gerado interesse nos últimos anos. No entanto, a qualidade da água de chuva frequentemente não é adequada para consumo humano. Este estudo teve como objetivo avaliar a eficiência de três materiais filtrantes diferentes, a saber: carvão ativado de caroço de açaí (filtro 1), areia (filtro 3) e uma combinação de carvão ativado de caroço de açaí com areia (filtro 2), em um sistema experimental de captação e tratamento de água de chuva localizado na Universidade Federal

do Pará, Brasil. As variáveis físico-químicas analisadas incluíram pH, turbidez, cor aparente e condutividade elétrica. Os resultados foram analisados utilizando estatística descritiva com base nas médias, mínimos, máximos e desvio padrão. A eficiência de remoção da cor aparente foi maior no filtro de areia, com uma média de remoção de 22%. No entanto, essa eficiência não atingiu o valor máximo permitido (VMP) de 15 UC conforme indicado pela literatura de referência. O filtro 2 apresentou a maior eficiência na remoção de turbidez, com uma média de 50 %, porém também não atingiu o padrão estabelecido na literatura de referência. A variação média de pH foi de 5,1 a 8,3.

Palavras-chave: Águas pluviais, Filtro, Tratamento de Água.

ABSTRACT

The increasing use of rainwater as an alternative source to meet water demand has gained interest in recent years. However, the quality of rainwater is often inadequate for human consumption. This study aimed to evaluate the efficiency of three different filtering materials: activated carbon from açai seeds (filter 1), sand (filter 3), and a combination of activated carbon from açai seeds with sand (filter 2), in an experimental rainwater collection and treatment system located at the Federal University of Pará, Brazil. The analyzed physicochemical variables included pH, turbidity, apparent color, and electrical conductivity. The results were analyzed using descriptive statistics based on means, minimums, maximums, and standard deviations. The removal efficiency for apparent color was highest in the sand filter, with an average removal rate of 22%. However, this efficiency did not meet the maximum allowable value (MAV) of 15 UC as indicated by the reference literature. Filter 2 showed the highest efficiency in turbidity removal, with an average removal rate of 50 %, but it also did not meet the standard established in the reference literature. The average pH ranged from 5.1 to 8.3.

Keywords: Rainwater, filter, water treatment

1 INTRODUÇÃO

A água sempre foi considerada uma necessidade vital para a humanidade ao longo dos tempos. No entanto, o desafio da escassez de água é uma das questões mais prementes da atualidade, com tendência a se agravar no futuro (WANG et al. (2019).

De acordo com a Organização das Nações Unidas, a escassez de água afeta mais de 40% da população mundial (ONU, 2016) e até 2050, pelo menos uma a cada quatro pessoas deverá viver em um país afetado pela escassez crônica de água doce (ONU, 2018).

Segundo Moreira e Seo (2021), as elevadas taxas de aquecimento e a diminuição da precipitação em regiões do Brasil, resultam em alterações significativas do meio ambiente. Tais fatores, assim como as mudanças climáticas, o crescimento populacional e o uso insustentável da água na agricultura, indústria e outras atividades antropogênicas têm levado a uma redução na disponibilidade de água tanto para os ecossistemas naturais quanto para o consumo humano (KHATRI et al., 2018).

Diante desse contexto, o desenvolvimento de novas fontes de água, como a água da chuva, é muito importante para garantir que não haja escassez de água no futuro. Com a demanda em constante crescimento. A implementação de um sistema de captação de água da chuva nos edifícios

é uma forma eficaz de minimizar o uso de água tratada para fins não potáveis (CHE-ANI et al., 2009)

Segundo Camara et al. (2019), sistemas de captação de águas pluviais possuem boa relação de custo-benefício, sendo um aliado contra a escassez, além de promover a redução no custo de aquisição de água potável e garantir a sustentabilidade a todo o sistema.

Em 2015, as Nações Unidas (ONU) propuseram 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável para 2030, que incluem o acesso à água limpa (Objetivo 6), energia acessível e limpa (Objetivo 7), cidades e comunidades sustentáveis (Objetivo 11) e ações para evitar os impactos das mudanças climáticas (Objetivo 13). O sistema de captação de água da chuva é uma tecnologia promissora para contribuir com a realização dos objetivos citados (SILVA et al., 2022).

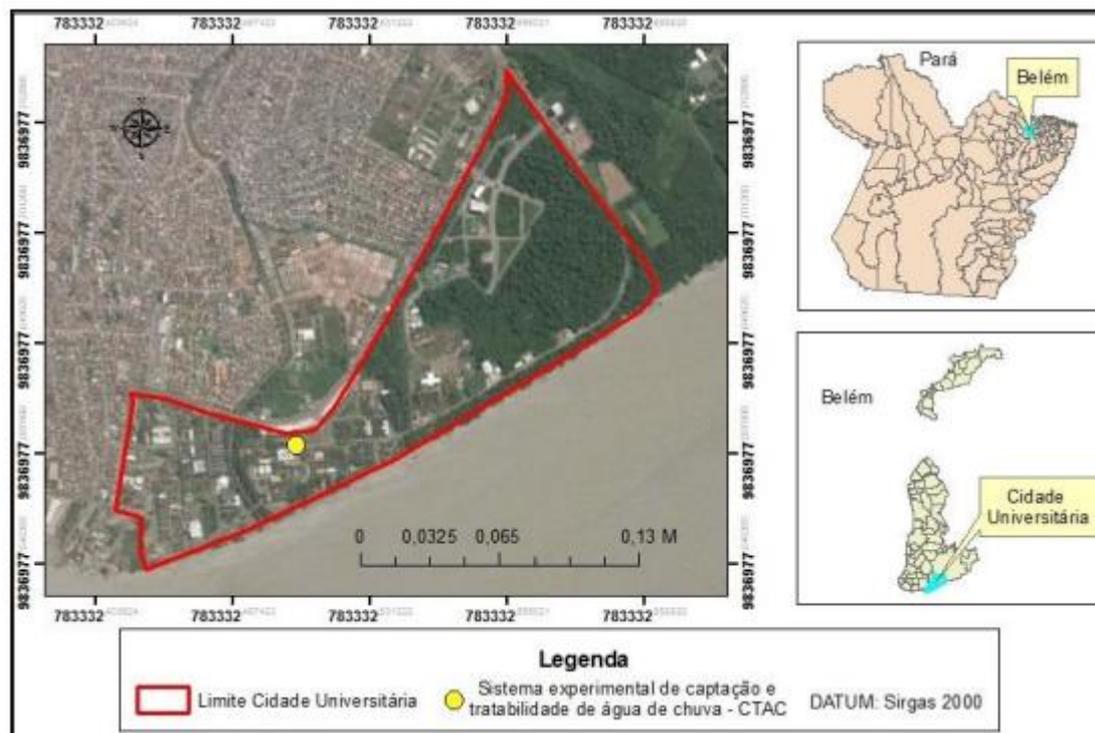
Aliado a isso, há grande iniciativa de produção de materiais filtrantes a partir de biomassa, visando a sustentabilidade da cadeia de produção. Tradicionalmente, o carvão ativado é feito a partir do carvão mineral ou carvão vegetal. No entanto, produzir carvão ativado a partir de recursos renováveis é mais intrigante porque é sustentável (KHORASGANI, 2020). A abundância e diversidade de bio-recursos são outras razões para a preparação de novo carvão ativado a partir de madeiras, cascas e folhas de árvores, gramíneas e raízes (GAN, 2021).

Diante desse contexto, este trabalho objetivou avaliar as características físico-químicas da água da chuva captada no Sistema Experimental de Captação e Tratabilidade de Água da Chuva, pré e pós filtração, utilizando, paralelamente, um filtro de carvão ativado de caroço de açaí, um filtro de carvão ativado de caroço de açaí, e um filtro de areia.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

O Sistema Experimental de Captação e Tratabilidade de Água de Chuva (CTAC) foi instalado no Campus Profissional da Cidade Universitária José Silveira Neto, da Universidade Federal do Pará, próximo ao Laboratório de Engenharia Sanitária e Ambiental, em uma área influenciada por vegetação (Figura 1).

Figura 1: Localização do CTAC, Campus Profissional, Universidade Federal do Pará, Belém – PA, Brasil.



Fonte: Autores (2023)

O Sistema Experimental de Captação e Tratamento de Água de Chuva (CTAC) foi uma estrutura construída para replicar uma área de captação de água de chuva. Esse sistema foi projetado para incluir um mecanismo de separação dos primeiros volumes de água, que frequentemente contêm as impurezas mais concentradas, e direcionar a água restante para um reservatório de fibras. Por outro lado, o reservatório fornecia água aos três filtros. O CTAC possibilitou a realização de experimentos e análises para avaliar a eficácia desses materiais na melhoria da qualidade da água de chuva.

O estudo envolveu a coleta de amostras em diferentes pontos de monitoramento. Esses pontos foram designados da seguinte forma: o ponto 1 correspondeu ao reservatório, que tinha uma capacidade de 500 L; o ponto 2 correspondeu ao Filtro 1, que consistia em carvão ativado de caroço de açaí; o ponto 3 correspondeu ao Filtro 2, que era composto por carvão ativado de caroço de açaí e areia; e o ponto 4 correspondeu ao Filtro 3, que consistia apenas de areia. A localização desses pontos pode ser visualizada na Figura 2.

Figura 2: CTAC e seus pontos de monitoramento



Fonte: Autores (2017)

Após a instalação do sistema, realizou-se a caracterização da qualidade da água por meio de análises laboratoriais dos parâmetros físico-químicos e bacteriológicos. As metodologias de coleta, preservação e análise seguiram as diretrizes estabelecidas pelo Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2012).

Os parâmetros de qualidade da água monitorados foram pH, condutividade, cor aparente e turbidez. O período de monitoramento abrangeu um ano, de janeiro a dezembro de 2017, totalizando 32 campanhas de coleta de amostras. Para cada variável analisada, foram calculados os valores máximo, mínimo, médio e desvio padrão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir das análises realizadas, foram obtidos os resultados da Tabela 1. Vale ressaltar que a pesquisa se estenderá até dezembro de 2017, dessa forma, os dados apresentados são parciais.

Tabela 1. Valores médios, mínimos, máximos e dispersão das análises de Cor aparente, Turbidez, Condutividade e pH dos filtros em estudo.

Parâmetro	Ponto de Monitoramento	Média	Mínimo	Máximo	Desv.Pad
Cor (uC)	Reservatório	29,9	1,7	98	20,4
Cor (uC)	Filtro 1	25,2	3,9	72	16,2
Cor (uC)	Filtro 2	23,9	2,5	55,4	15,5
Cor (uC)	Filtro 3	23,2	2,1	54	13,1
Turbidez (uT)	Reservatório	5,7	0,4	16,4	4,3
Turbidez (uT)	Filtro 1	3,7	0,3	17,8	3,3
Turbidez (uT)	Filtro 2	2,8	0,1	8,6	1,8
Turbidez (uT)	Filtro 3	3,1	0,3	7,7	1,7
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Reservatório	19,6	3,8	54,5	14,9
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Filtro 1	22,2	4,1	53,7	15,1
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Filtro 2	31,2	4	82,4	23,1
Condutividade ($\mu\text{S cm}^{-1}$)	Filtro 3	30,2	4,6	93	22,8
pH	Reservatório	6	7,2	5,1	5,9
pH	Filtro 1	5,9	7,8	5	5,6
pH	Filtro 2	6,6	8,3	5,7	6,4
pH	Filtro 3	6,6	7,8	5,9	6,6

Fonte: Autores (2023)

A análise dos valores de "Cor" nos diferentes pontos de monitoramento - reservatório, filtro 1, filtro 2 e filtro 3 - revela informações importantes sobre a qualidade da água. No reservatório, a média de cor aparente é de 29,9 uC, indicando uma coloração visivelmente perceptível na água coletada. Após passar pelo filtro 1, observa-se uma redução na cor aparente, com média de 25,2 uC, correspondendo a uma remoção de aproximadamente 15,72%. Esse resultado sugere que o carvão ativado de caroço de açaí contribui para a remoção de impurezas responsáveis pela cor da água.

Já o filtro 2, composto por carvão ativado de caroço de açaí em combinação com areia, apresenta uma média de cor aparente de 23,9 uC, correspondendo a uma remoção de aproximadamente 20,07%. O filtro 3, que consiste em um filtro de areia, também contribui para a melhoria da cor aparente, apresentando uma média de 23,2 uC, correspondendo a uma remoção de aproximadamente 22,41%. No entanto, é importante destacar que, mesmo com a filtração, nenhum dos pontos de monitoramento atinge o valor máximo permitido de 15 uC, conforme indicado por Brasil (2021).

Ao comparar os resultados de cor aparente nos diferentes pontos de monitoramento, observa-se que o filtro 3, composto por areia, apresentou o melhor resultado em termos de redução da cor na água de chuva. A cor aparente na água da chuva pode ser atribuída à presença de partículas suspensas e substâncias dissolvidas, como matéria orgânica e compostos inorgânicos. Os filtros 1 e 2, também apresentaram eficiência na remoção da cor, porém em menor grau. Esses resultados sugerem que a presença da areia no filtro 3 foi mais eficiente que os demais filtros, comprovado

pela menor variabilidade dos resultados, indicada pelo menor desvio padrão, e pelo valor máximo de cor aparente alcançado, que também foi menor quando comparado aos outros filtros. Essa constatação reforça a superioridade do filtro 3 na remoção da cor aparente em relação aos demais filtros analisados.

Esses resultados indicam que os filtros utilizados no estudo apresentam uma eficiência limitada na remoção das impurezas responsáveis pela cor da água de chuva. Seriam necessárias melhorias ou a implementação de abordagens adicionais para alcançar os padrões desejados de qualidade da água em relação à cor aparente. É importante considerar o desenvolvimento de estratégias de filtragem mais eficientes ou a combinação de diferentes tecnologias de tratamento para atender aos requisitos estabelecidos.

Após tratamento de dados, foram obtidos os gráficos comparativos de remoção média de Cor aparente (Figura 3), e Turbidez (Figura 4).

Figura 3: Percentual de remoção média de Cor aparente.

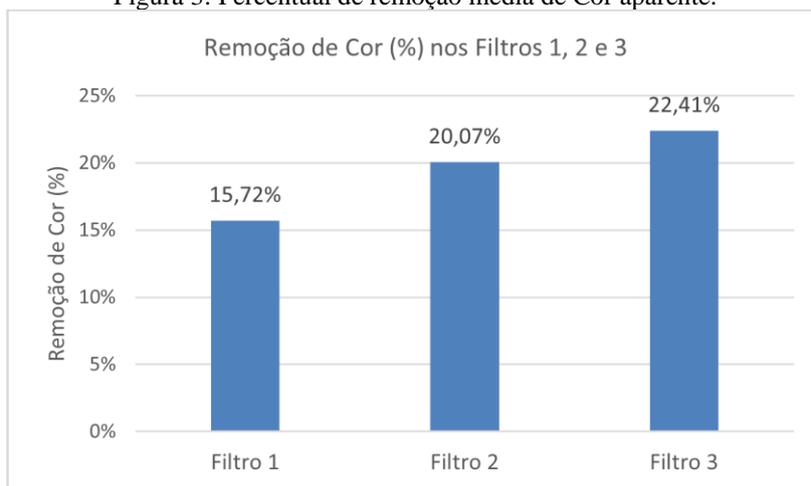
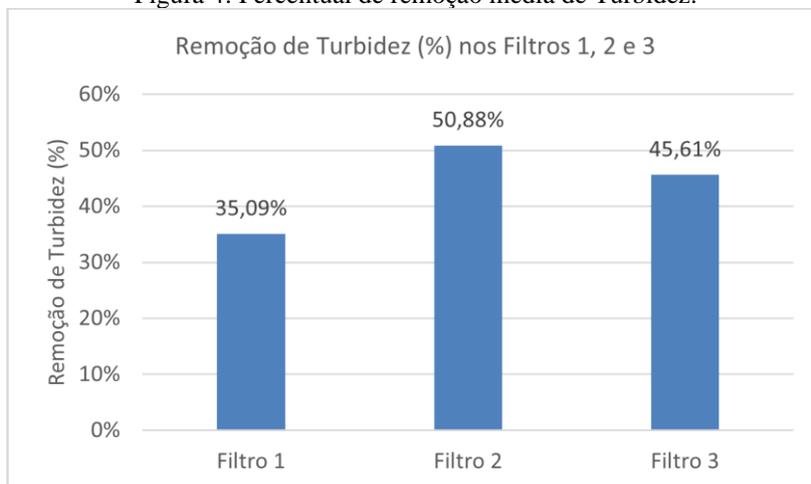


Figura 4: Percentual de remoção média de Turbidez.



De forma análoga, a turbidez possui VMP de 0,5 uT para filtração rápida. O filtro que apresentou maior eficiência na remoção foi o Filtro 2 (50,88%), seguido do Filtro 3 (45,61%) e Filtro 1 (35,09%), de acordo com a Figura 4. Embora o Filtro 3 tenha apresentado menor valor de desvio padrão, o Filtro 2 o superou em aproximadamente 5,30% em relação à remoção de turbidez.

A análise dos dados de turbidez também inclui a consideração do desvio padrão, que representa a variabilidade dos valores em relação à média. Observa-se que o filtro 2 apresentou o menor desvio padrão, indicando uma maior consistência nos resultados de remoção da turbidez em comparação com os demais filtros. Isso sugere que o filtro 2 teve uma maior estabilidade na eficiência de remoção da turbidez ao longo das medições realizadas.

Por outro lado, os filtros 1 e 3 mostraram valores de desvio padrão um pouco maiores, o que indica uma maior variabilidade nos resultados de remoção da turbidez. No entanto, é importante ressaltar que, apesar dessa variabilidade, ambos os filtros ainda apresentaram uma eficiência satisfatória na remoção da turbidez, como evidenciado pelas médias de remoção de 35,09% e 45,61%, respectivamente.

O desvio padrão nos resultados de remoção da turbidez pode estar relacionado a fatores como a natureza das partículas suspensas na água de chuva, a interação entre as partículas e os meios filtrantes, bem como a variações nas condições de operação dos filtros ao longo do tempo. É importante considerar essas variabilidades ao interpretar os resultados e ao projetar sistemas de filtragem para a remoção da turbidez em águas pluviais.

No geral, os resultados indicam que todos os filtros foram capazes de reduzir a turbidez na água de chuva, sendo o filtro 2 o mais eficiente e consistente em termos de remoção da turbidez. Esses dados demonstram a importância da escolha adequada dos materiais filtrantes e da avaliação contínua da qualidade da água tratada. A redução da turbidez é essencial para garantir uma água de chuva mais limpa e adequada para diferentes usos, contribuindo para a preservação dos recursos hídricos e a promoção da sustentabilidade.

Ao analisar os dados de condutividade nos diferentes pontos de monitoramento, observa-se que a filtração da água de chuva através dos filtros resulta em um aumento progressivo da condutividade. Isso indica a presença de substâncias dissolvidas, como sais minerais, que não são completamente removidas pelos filtros utilizados. Os valores médios de condutividade foram maiores nos filtros 2 e 3 em comparação com o filtro 1, com o filtro 2 apresentando o maior valor. Vale ressaltar que a condutividade não é um parâmetro estabelecido pela portaria de potabilidade do Brasil (2021) para determinar a qualidade da água para consumo humano.

A análise dos dados de pH nos diferentes pontos de monitoramento revela variações nos valores médios, mínimos e máximos. No reservatório, o pH médio foi de 6, com valores mínimos e

máximos de 5,1 e 7,2, respectivamente. No filtro 1, observou-se uma média de pH de 5,9, com valores mínimos e máximos de 5 e 7,8. Tanto o filtro 2 quanto o filtro 3 registraram uma média de pH de 6,6, com variações de 5,7 a 8,3 e 5,9 a 7,8, respectivamente.

Esses resultados indicam que o pH da água de chuva sofreu alterações após a passagem pelos filtros. O filtro 1 apresentou uma ligeira redução no pH, indicando uma leve acidez em comparação com o reservatório. Por outro lado, os filtros 2 e 3 mostraram um aumento no pH, indicando um leve aumento da alcalinidade em relação ao reservatório.

A variação nos valores de desvio padrão entre os filtros também é notável. O filtro 1 apresentou o menor desvio padrão, indicando uma menor variabilidade nos resultados de pH. Já os filtros 2 e 3 mostraram desvios padrão um pouco maiores, indicando uma maior variabilidade nos resultados de pH.

Essas variações no pH podem ser influenciadas por vários fatores, como a natureza dos materiais filtrantes, a reação química entre a água e os meios filtrantes, bem como a interação com substâncias dissolvidas na água de chuva. O pH da água é um indicador importante da sua acidez ou alcalinidade e pode afetar a qualidade da água para diversos usos. No geral, os resultados mostram que a filtração da água de chuva através dos filtros pode afetar o pH da água tratada.

4 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base nos dados de cor, turbidez, pH e condutividade, podemos tirar as seguintes conclusões e recomendações:

- Os filtros utilizados foram eficientes na redução da cor aparente da água de chuva. O filtro 3, composto por areia, apresentou o melhor resultado em termos de remoção da cor, seguido pelos filtros 2 e 1, no entanto não suficiente para atender a portaria de potabilidade.
- A remoção da turbidez também foi observada em todos os filtros, com o filtro 2 demonstrando a maior eficiência, seguido pelos filtros 3 e 1, também não sendo suficiente para atender a portaria de potabilidade.
- Os filtros não foram completamente eficazes na remoção de substâncias dissolvidas, o que resultou em um aumento da condutividade da água tratada. O filtro 2 apresentou a maior condutividade, seguido pelo filtro 3 e filtro 1.
- Houve variações nos valores de pH em todos os filtros, mas essas variações foram dentro de uma faixa esperada para a água tratada.

Recomenda-se aprimorar os materiais filtrantes, monitorar e ajustar regularmente as condições de operação dos filtros, considerar tratamentos complementares, realizar mais campanhas para encontrar soluções mais eficazes ao tratamento da água da chuva.

REFERÊNCIAS

APHA (American Public Health Association) 2012. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 22 ed. Washington, DC.

BRASIL. **Ministério da Saúde. Portaria nº 888, de 4 de maio de 2021**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial [da] União, DF, 2021.

CAMARA, C. D.; EDWIGES, T.; GALVAN, C. A.; BASEGGIO, S. Potencial de captação de água da chuva no Colégio Estadual do Campo Dom Pedro II no município de São Miguel do Iguçu - Paraná / Potential of rainwater capturing in Colégio Estadual do Campo Dom Pedro II, a school in the city of São Miguel do Iguçu - Paraná. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, [S. l.], v. 2, n. 4, p. 1464–1472, 2019. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/3222>. Acesso em: 3 jul. 2023.

CHE-ANI, A. I. et al. Rainwater harvesting as an alternative water supply in the future. **European journal of scientific research**, v. 34, n. 1, p. 132-140, 2009.

GAN, Yong X. Activated carbon from biomass sustainable sources. **C – Journal of Carbon Research**, v. 7, n. 2, p. 39, 2021.

KHATRI, K.B et al. Water resources criticality due to future climate change and population growth: Case of river basins in Utah, USA. **Journal of Water Resources Planning and Management**, v.144, n. 8, 2018.

KHORASGANI, Nasrin B.; SENGUL, Ayse B.; ASMATULU, Eylem. Briquetting grass and tree leaf biomass for sustainable production of future fuels. **Biomass Conversion and Biorefinery**, v. 10, p. 915-924, 2020.

MOREIRA, T. M.; SEO, E. S. M. Reúso da água de chuva: uma alternativa sustentável para os períodos de escassez hídrica / Reuse of rain water: a sustainable alternative for the periods water shortage. **Brazilian Journal of Animal and Environmental Research**, v. 4, n. 1, p. 671–683, 2021. DOI: 10.34188/bjaerv4n1-056. Disponível em: <https://ojs.brazilianjournals.com.br/ojs/index.php/BJAER/article/view/24544>. Acesso em: 3 jul. 2023.

ONU, 2016. **Agua limpia y saneamiento: ¿Por qué es importante?** Disponível em: https://www.un.org/sustainabledevelopment/es/wpcontent/uploads/sites/3/2016/10/6_Spanish_Why_it_Matters.pdf. Acesso em: 02 jul. 2023.

ONU, 2018. **La Agenda 2030 y los Objetivos de Desarrollo Sostenible Una oportunidad para América Latina y el Caribe**. Disponível em: https://repositorio.cepal.org/bitstream/handle/11362/40155/24/S1801141_es.pdf. Acesso em: 02 jul. 2023.

SILVA, Ana Carolina Rodrigues de Sá et al. Exploring environmental, economic and social aspects of rainwater harvesting systems: A review. **Sustainable Cities and Society**, v. 76, p. 103475, 2022

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