

AVALIAÇÃO FÍSICO-QUÍMICA DA ÁGUA DE CONDENSAÇÃO PARA FINS DE REAPROVEITAMENTO: UM ESTUDO DE CASO NA UNIVERSIDADE FEDERAL DO MARANHÃO

PHYSICOCHEMICAL EVALUATION OF CONDENSATION WATER FOR REUSE PURPOSES: A CASE STUDY AT THE FEDERAL UNIVERSITY OF MARANHÃO

EVALUACIÓN FÍSICOQUÍMICA DEL AGUA DE CONDENSACIÓN PARA FINES DE REUTILIZACIÓN: UN ESTUDIO DE CASO EN LA UNIVERSIDAD FEDERAL DO MARANHÃO

Dainara Farias Viana¹
Ismael Carlos Braga Alves²
Paulo Roberto Brasil de Oliveira Marques³

Resumo: O aproveitamento da água de processo de condensação é uma possibilidade viável. O artigo objetivou avaliar a qualidade físico-química da água de aparelhos de ar-condicionado com distintas capacidades de refrigeração, sendo efetuado análises de pH, condutividade elétrica, salinidade, dureza, alcalinidade e oxigênio dissolvido, bem como quantificar a vazão, para reuso em fins não potáveis dessas águas. O volume de água produzido por dia, em que se considerou cada potência averiguada, foi de 24.620 L por ano. Os resultados da análise laboratorial dos parâmetros físico-químicos indicaram estar todos em conformidade com a Portaria n. 888 do Ministério da Saúde.

Palavras-chave: Água de Condensação. Parâmetros Físico-químicos. Medidas de Vazão. Reuso da Água.

Abstract: The use of water from the condensation process is a viable possibility. The article aimed to evaluate the physicochemical quality of water from air conditioners with different cooling capacities, carrying out pH, electrical conductivity, salinity, hardness, alkalinity and dissolved oxygen analyses, as well as quantifying the flow rate, for non-reuse purposes. drinking waters. The volume of water produced per day, considering each verified potency, was 24.620 L per year. The results of the laboratory analysis of the physical-chemical parameters indicated that they were all in compliance with Ordinance No. 888 of the Ministry of Health.

Keywords: Condensation Water. Physical-Chemical parameters. Flow Measurements. Water Reuse.

¹ Graduanda do Curso de Licenciatura em Ciências Naturais/Biologia. Universidade Federal do Maranhão. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9866-9807> E-mail: dainara.farias@discente.ufma.br

² Doutorando e Técnico em Química do Curso de Licenciatura em Ciências Naturais/Biologia. Universidade Federal do Maranhão. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9331-3457> E-mail: ismael.cba@ufma.br

³ Doutor em Química analítica. Professor do Curso de Licenciatura em Ciências Naturais/Biologia. Universidade Federal do Maranhão. ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-28600417>. E-mail: paulo.brasil@ufma.br

Resumen: El uso de agua del proceso de condensación es una posibilidad viable. El artículo tuvo como objetivo evaluar la calidad fisicoquímica del agua de acondicionadores de aire con diferentes capacidades de enfriamiento, realizando análisis de pH, conductividad eléctrica, salinidad, dureza, alcalinidad y oxígeno disuelto, así como cuantificar el caudal, para fines de no reutilización. aguas El volumen de agua producido por día, considerando cada potencia verificada, fue de 24.620 L por año. Los resultados del análisis de laboratorio de los parámetros físico-químicos indicaron que todos cumplieron con la Ordenanza N° 888 del Ministerio de Salud.

Palabras-clave: Agua de Condensación. Parámetros Físico-químicos. Mediciones de Flujo. Reutilización de Agua.

Submetido 24/01/2023

Aceito 24/08/2023

Publicado 11/09/2023

Introdução

A água do nosso planeta cobre aproximadamente 70 % de toda a superfície terrestre e, sendo uma das substâncias mais comuns na natureza, pode ser encontrada sob diferentes estados da matéria, principalmente no estado líquido (BARD; CANN, 2011). Entre todas as substâncias disponíveis, ela é a que possui maior importância para a biodiversidade e manutenção da vida em geral, o que a torna um recurso com o qual se deve dispor de maiores cuidados no uso e manejo, visto que o seu ciclo hidrológico é uma forma de reciclagem natural no sistema aquático do planeta e que impacta em todos os compartimentos ambientais, seja água, solo ou ar. No entanto, com o progressivo aumento do consumo e da poluição, esse recurso tem sofrido com escassez e impactos em sua qualidade, e há também, uma crise de governança em relação à sua gestão. Surge assim, uma necessidade crescente de gerenciamento eficiente, que englobe tanto a recuperação de sua qualidade e quantidade, como de sua distribuição justa e equitativa (BARLOW, 2015).

Essas dificuldades relacionadas à água nas sociedades se iniciaram desde sua distribuição planetária, tendo em vista que aproximadamente 97,5 % da água deste planeta está presente nos oceanos e mares, em forma de água salgada, ou seja, imprópria para consumo. Dos 2,5 % restantes, que perfazem o total de água doce existente, dois terços estão armazenados nas geleiras e calotas polares. Apenas 0,77 % de toda a água está disponível para o consumo, sendo encontrada na forma de rios, lagos, água subterrânea, inclui-se, ainda, a água presente no solo, na atmosfera (umidade) e na biota (LIU et al, 2017; GRASSI, 2001).

A América do Sul é o continente mais rico do planeta em recursos hídricos e o Brasil é considerado privilegiado, pois possui uma bacia hidrográfica extensa, assim como um subsolo extremamente rico em água potável, dispondo de cerca de 12 % das reservas de água doce do mundo (BARLOW, 2015; CUNHA et al, 2015). Todavia, ainda existem muitos municípios brasileiros que não dispõem de sistemas de abastecimento de água e tratamento de efluentes, nos quais a população vive em condições subumanas e utiliza água proveniente de fontes que não apresentam níveis aceitáveis de qualidade. Isto pode acarretar doenças, o que faz com que recursos sejam despendidos pelo sistema de saúde e que vidas sejam perdidas (JACOBI; GRANDISOLI, 2017).

Assim, a crise de água constitui um grave e urgente problema enfrentado pelo homem nas últimas décadas, comprometendo a garantia de um direito social básico, ou seja, do direito

à saúde e do direito fundamental ao meio ambiente, cuja posse é garantida à coletividade indistintamente. Diante disso, atualmente é sugerido o reaproveitamento como meio de garantir água de qualidade durante o ano todo para a população. Essa questão perpassa o conceitual e a importância ambiental e se insere em questões de necessidade econômica e social. A reutilização da água derivada de diversos sistemas se destaca como alternativa para o seu uso racional (MACÊDO, 2001).

Neste âmbito, uma das fontes alternativas é o reaproveitamento de água proveniente dos aparelhos de ar condicionado, que são amplamente utilizados em prédios comerciais, industriais e habitacionais. Sua utilização gera o gotejamento de água, derivada da umidade do ar, condensada pelo aparelho quando este resfria o ar do ambiente interno. Considerando a utilização em larga escala de aparelhos de ar-condicionado, o volume de água que goteja é significativo, decorrente do seu mecanismo de funcionamento, e, na maioria dos casos, é lançada ao ambiente de forma inapropriada, o que pode gerar patologias às edificações, tais como acúmulo de água e resíduos, proliferação de mosquitos, calçadas escorregadias e incômodo aos pedestres que transitam pelo local (SOARES; SOUZA JUNIOR; SILVA, 2021).

Desse modo, a reutilização destas águas é uma proposta viável para contrapor o problema de escassez. Como exemplo, a água captada pode ser utilizada para outros fins, tais como: domésticos, de paisagismo, de higiene, urbanismo, entre outros. Essa atitude pode reduzir o consumo de água potável e assim gastos, promovendo ainda a preservação do meio ambiente. (SANTOS et al, 2019).

Para que a água seja considerada potável é necessário que haja um tratamento adequado, seguindo normas do Ministério da Saúde da Portaria GM/MS n. 888, de 04 de maio de 2021, que trata da qualidade da água para consumo humano e o seu padrão de potabilidade (BRASIL, 2011). Assim como, pela resolução 357, de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente – CONAMA, em consonância com a finalidade de uso da água (BRASIL,2005).

As análises físico-químicas e as microbiológicas são métodos práticos de se avaliar a qualidade da água de condensação tanto ao aproveitamento humano quanto para consumo não potável. Esses parâmetros são indicadores da qualidade da água e constituem fatores determinantes para estabelecer determinado uso (ROLF, 2009).

Sendo assim, o reaproveitamento da água de drenagem dos aparelhos de ar-condicionado é de suma importância para consolidação da consciência ecológica dos usuários,

pois, a vazão que emana desses equipamentos pode suprir a necessidade de repartições públicas, instalações comerciais e outras, quanto ao consumo humano (RODRIGUES et al., 2020).

O presente estudo objetivou a análise físico-química e medidas de vazão da água proveniente da condensação da água em aparelhos de ar-condicionado na Universidade Federal do Maranhão-Campus Codó, para fins de reuso.

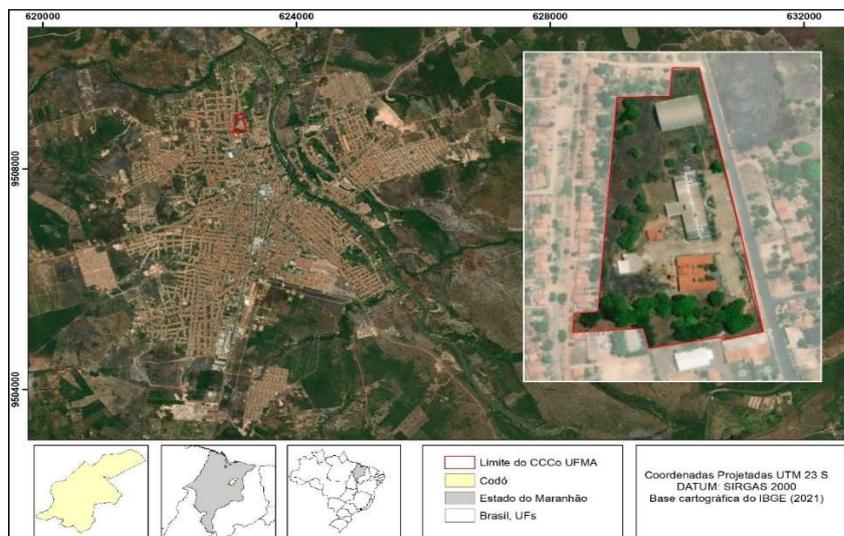
Área de Estudo

O presente estudo foi efetuado no Centro de Ciências de Codó-CCCO, na área do Campus VII da Universidade Federal do Maranhão, cidade de Codó-MA, como apresentado na Figura 1. Na área estão abrigados 5 edifícios, sendo denotados de Prédio I, Prédio II, Restaurante Universitário-RU, Cantina e Quadra de Esportes.

Realizou-se um levantamento quantitativo dos aparelhos de ar-condicionado, sendo totalizados 77 em uso (100 %); destes 31 (40 %) localizados no Prédio I e 46 (60 %), no Prédio II. Fez-se a seleção desses aparelhos para estudo, a fim de contemplar os vários tipos em funcionamento, bem como uma distribuição espacial nas áreas de maior movimentação diuturna.

Para o estudo foram selecionados 14 aparelhos (18 %), definidos numericamente de 1 a 14 e distribuídos entre os dois prédios citados. A Figura 2 apresenta a distribuição espacial dos aparelhos utilizados no estudo.

Figura 1. Localização do Campus da UFMA na cidade de Codó-MA.



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2022.

Figura 2. Localização dos aparelhos de ar-condicionado no Campus da UFMA.



Fonte: Adaptado de Google Earth, 2022.

Foram preparadas fichas de coleta elaboradas com a finalidade de abrigar de forma segura os dados das medidas efetuadas para cada parâmetro, reunindo as de vazão, das análises físico-químicas, localização, capacidade de refrigeração em Unidade Térmica Britânica (British Thermal Unit -BTH), tempo de uso diário, marca e tipo de aparelho.

Coleta e Amostragem

As coletas das amostras de água foram realizadas entre os meses de setembro e outubro do ano de 2022, sendo efetuadas nos períodos matutino e vespertino. Para tanto, montou-se um dispositivo de encaixe com uma mangueira de adaptação, que conduziu o fluxo da água condensada direto para frascos de polietileno com tampa (500 mL), previamente lavados com detergente líquido e água destilada e secagem à temperatura ambiente. Após realizadas as coletas, as amostras logo foram transportadas ao Laboratório de Química da UFMA para análises imediatas. A Figura 3 apresenta imagens de alguns procedimentos de coleta realizados.

Figura 3: A) Coleta na sala dos professores; B) Coleta na sala da direção; C) Coleta na sala do Núcleo de Assistência Estudantil.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Material e Métodos

Materiais

Para as análises físico-químicas dos parâmetros pH, condutividade, salinidade e oxigênio dissolvido foi utilizado o aparelho multiparâmetro AK88, da marca AKSO, já para as medidas de cor, utilizou-se o aparelho AK530, também da mesma marca. Os aparelhos foram calibrados uma vez por semana, conforme indicado no manual do fabricante, com soluções padrões próprias, com exceção da sonda de oxigênio dissolvido, visto que a recomendação do fabricante era de calibração no dia de uso (AKSO, 2022).

Os reagentes utilizados foram: alaranjado de metila, eriocromo black T, ácido sulfúrico, etilenodiaminotetraacetato de sódio (EDTA sódico), cloreto de amônia e hidróxido de amônia. Todos os reagentes usados, tanto nas análises de dureza, quanto de alcalinidade foram da marca Isofar. Todas as soluções foram preparadas em água destilada, sendo acondicionadas em geladeira a 4 °C ou temperatura ambiente, de acordo com as especificações da análise.

Métodos

Para as medições de vazão, foi cronometrado o tempo em que o aparelho em análise levou para preencher um volume de 250 mL (proveta) e, posteriormente, convertido para o tempo base de uma hora (SOBRINHO, 2011). Foram efetuadas medições de temperatura com

termômetro de vidro, na parte interna e externa da sala em que se encontrava o aparelho em funcionamento.

As medidas de alcalinidade e dureza total seguiram o Manual de Análise de Água FUNASA (BRASIL, 2013). Para as avaliações de alcalinidade utilizou-se a técnica de titulação com ácido sulfúrico $0,02 \text{ mol L}^{-1}$, em presença de solução indicadora de alaranjado de metila com 50 mL da amostra e titulando até a mudança de cor amarela para alaranjada. Para as avaliações de dureza total, aplicou-se a técnica de titulação com EDTA $0,01 \text{ mol L}^{-1}$, em presença de tampão amoniacal, indicador eriocromo black-T, 25 ml da amostra e titulando até o desaparecimento da cor púrpura avermelhada e o aparecimento da cor azul.

Para as medições de pH, condutividade, salinidade e oxigênio dissolvido, o equipamento AK88 é equipado com sondas (eletrodos) de medidas a partir de métodos eletroquímicos específicos para os analitos. Para as medidas, tomou-se 40 mL da amostra em um béquer, mergulhou-se a sonda respectiva ao parâmetro de interesse a ser analisado, esperou-se a leitura ser estabilizada, fazendo as anotações posteriormente. O aparelho AK530 trabalha com medição através da interação com luz ultravioleta e visível (UV-Vis) em comprimentos de onda específicos, efetuando suas medições através do método platina-cobalto. Para as medidas foram utilizados 10 ml de amostra na cubeta do equipamento, leitura e anotações.

Para todos os métodos aplicados neste estudo efetuaram-se medições em triplicata. Após a obtenção dos dados das análises dos parâmetros esses foram tabulados em planilha Excel© para análises estatísticas da média aritmética, desvio padrão e coeficiente de variação. Para comparação das vazões em relação ao tipo de potência do aparelho, valeu-se da análise de variância (ANOVA), utilizando-se um nível de significância de 0,05 (VIEIRA, 2018).

Resultados e Discussões

Medidas de Vazão dos Aparelhos

Os resultados obtidos das medidas de vazão estão dispostos na Tabela 1, que apresenta o quantitativo agrupado de aparelhos analisados e suas respectivas potências de refrigeração em BTU.

Tabela 1. Quantidade de aparelhos agrupados e suas respectivas potências (BTU).

BTU	9000	12000	18000	24000	36000	Total
Quantidade	5	2	4	1	2	14

Fonte: Autoria própria, 2022.

Para as medidas de vazão foram selecionados 9 aparelhos, tendo contempladas todas as potências citadas. É importante frisar que, no momento da coleta das medidas de vazão, a temperatura indicada nos aparelhos variou entre 18 ° e 25 °C, as temperaturas internas das salas no momento da medida variaram entre 23 ° e 29 °C e as temperaturas externas, entre 28 ° e 36 °C. Foram averiguados também, o tempo de uso diário em todos os aparelhos analisados para a vazão, o qual variou entre 8 e 24 h. A Tabela 2 apresenta a vazão média de água gerada para cada potência de aparelho, desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 2. Quantificação da vazão média de água gerada em função da potência de refrigeração em BTU.

BTU	Vazão Média (L/h)	Dp	CV (%)	Aparelho
9000	0,72	0,03	4,81	01
9000	0,92	0,05	5,50	05
12000	1,37	0,13	9,15	02
12000	1,69	0,02	1,37	14
18000	1,65	0,09	5,59	04
18000	1,66	0,10	5,92	03
24000	1,13	0,11	9,73	11
36000	6,81	0,26	3,83	08
36000	7,54	0,26	3,42	09

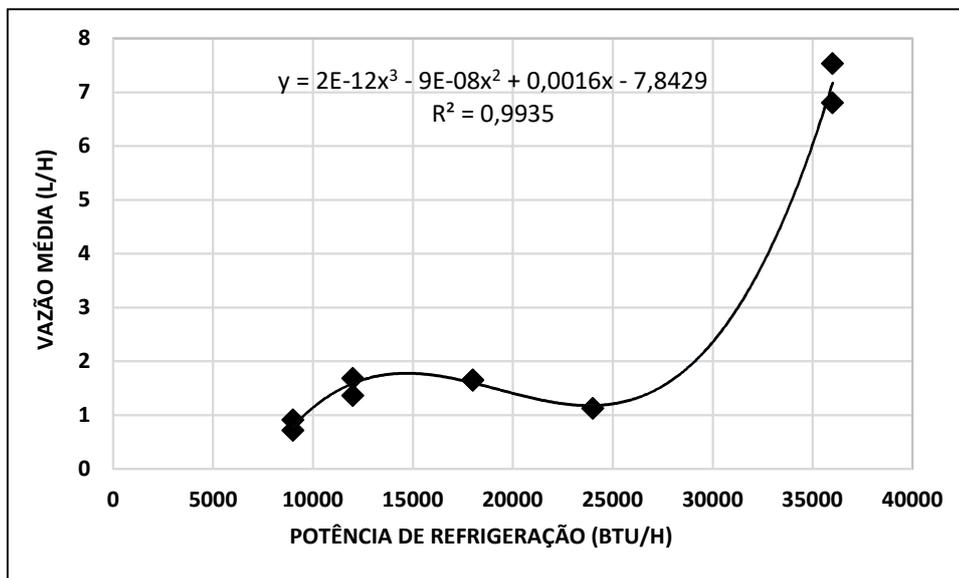
Dp=desvio padrão; CV=coeficiente de variação. **Fonte:** Autoria própria, 2022.

Observou-se que os menores valores para vazão foram de $0,72 \pm 0,034$ L/h e $0,92 \pm 0,050$ L/h, para os aparelhos 01 e 05, respectivamente, referindo-se à menor capacidade de refrigeração dentre os aparelhos em estudo (9000 BTU). Conseqüentemente, os maiores valores foram de $6,81 \pm 0,261$ L/h e $7,54 \pm 0,258$ L/h, para os aparelhos 08 e 09 respectivamente, ambos de maior potência estudada (36000 BTU).

Os valores médios de vazão apresentaram coeficientes de variação abaixo de 10 %. Constatou-se que o aparelho 11 apresentou maior coeficiente de variação para as medidas 9,73 %, seguido dos aparelhos 2 e 3; e, o menor coeficiente foi obtido para o aparelho 14, de 1,37 %. O gráfico da Figura 6 apresenta a relação entre a potência de refrigeração e a vazão para o sistema em estudo.

Pode-se notar uma correlação polinomial de grau 3 (linha contínua) entre os valores da vazão em relação ao aumento da potência de refrigeração. Essa correlação é positiva, pois indica que, quanto maior o valor em BTU, maior a vazão e, conseqüentemente, maior volume de água que pode ser gerado e coletado no processo. Isso provavelmente ocorreu devido à potência do aparelho estar associada diretamente com a área a ser refrigerada. A equação apresentou coeficiente de correlação $R^2=0,9935$, valor bem próximo à unidade, o que indica forte correlação polinomial.

Figura 6: Gráfico de correlação entre o aumento da vazão média em função da capacidade de refrigeração.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Efetuiu-se uma análise de variância para comparar as médias das vazões dos aparelhos de ar-condicionado. A hipótese testada foi a da existência de variação significativa entre os tipos de potência, na qual se buscou entender a variabilidade nos dados distintos de vazão para

diferentes tipos de aparelhos. Os dados foram digitados em planilha Excel© e avaliados a partir da ferramenta “análise de dados”, por ANOVA de fator duplo, tendo a hipótese compatível a partir da obtenção de p -valor abaixo de 0,05, e valor de F muito maior que F crítico, o que indicou que existem diferenças significativas entre os valores obtidos da vazão e a variação de potência.

Rocha (2017), ao estudar a possibilidade de reuso dessas águas no Centro de Tecnologia da Universidade Federal do Rio Grande do Norte, constatou que as vazões obtidas em aparelhos de 7000 a 22000 BTU foram de aproximadamente 1 L/h, valor este que também foi constatado por Rigotti (2014), após seu estudo com aparelhos de ar-condicionado de 12000 BTU.

Enfatiza-se que a vazão de água condensada não demonstra proporcionalidade somente com a potência do aparelho, estando também relacionada com o teor de umidade existente, o tamanho da área edificada e a movimentação de entrada e saída de pessoas no ambiente, fatores que podem gerar maior elevação da temperatura no espaço refrigerado, e assim, aumentar a carga de trabalho do aparelho (SOUSA et al., 2016).

A umidade relativa do ar é um parâmetro que pode afetar fortemente a vazão. Sobrinho (2011) estudou a relação entre a umidade relativa do ar e o coeficiente de *performance* de um sistema de ar-condicionado. Sua pesquisa indicou que somente a partir de uma umidade relativa do ar acima de 65% o rendimento no sistema pode ser significativo, e aumentar em até 70 % a condensação e, conseqüentemente, a vazão do sistema.

A temperatura de condensação se eleva com o aumento da temperatura ambiente, já a capacidade de refrigeração diminui com o aumento da temperatura de evaporação. Para esse estudo não foi possível avaliar os efeitos da temperatura, visto que esse parâmetro foi medido a partir dos aparelhos em uso comum diário e não pôde ser controlado pela pesquisa, mas certamente influenciou os dados de vazão obtidos.

Estimativa de Volume para Reuso

Considerando-se os dados de uso de vazão obtidos, estabeleceu-se uma média de 10 h diárias de uso por aparelho, no Campus, como padrão para estimar volumes captados. A Tabela 3 apresenta o levantamento dos volumes de vazão de água estimados para cada potência de aparelhos analisados, em estimativas diárias, semanais, mensais e anuais.

Tabela 3. Vazões diárias, semanais, mensais e anuais estimadas para os aparelhos do CCCO no Campus VII da UFMA.

BTU	Vazão média (L/h)	Estimativa /Litros			
		Diário	Semanal	Mensal	Anual
9000	0,82	8,2	41,0	164	1.640
12000	1,53	15,3	76,5	306	3.060
18000	1,66	16,6	82,8	331	3.310.
24000	1,13	11,3	56,5	226	2.260
36000	7,18	71,8	358,8	1.435	14.350
Somatório		123,1	615,5	2.462	24.620

Fonte: Autoria própria, 2022.

Tomando-se os valores obtidos para um aparelho de cada potência, a vazão diária (10 horas de uso) pode variar entre 8,2 e 71,8 litros coletados; a semanal (5 dias de expediente) ficaria entre 41,0 e 358,8 litros; a mensal (4 semanas) entre 164 e 1.435 litros; e, a anual (10 meses letivos) pode ter valores entre 1.640 e 14.350 litros de água obtidas diretamente da coleta e reserva a partir da condensação dos aparelhos de ar-condicionado.

O somatório dos dados para um aparelho de cada potência (5 aparelhos) indica que podem ser coletados até 24.620 litros anuais. A estimativa total do Campus não foi feita por conta de não ter sido possível efetuar o mapeamento das potências de todos os 77 aparelhos, por questões de acesso.

Campos et al. (2019), em estudos sobre captação de águas condensadas em aparelhos de uma universidade particular, constataram uma vazão estimada de 1.512 L/mês para 37 aparelhos em uso. Ferreira e Tose (2016), ao verificar a vazão em aparelhos do Instituto Federal do Espírito Santo, com potências entre 7.500 e 80.000 BTU, encontraram uma vazão de 8.759,64 L/semana, portanto, 172.780,72 litros de água por ano letivo.

Esses valores de vazão estimados, tanto no presente estudo, quanto nos estudos da literatura, são expressivos quando se pensa na demanda atual de água para fins não potáveis, onde o consumo para algumas atividades acaba por gerar grandes desperdícios de água potável. Dessa forma, a implementação de um sistema de reuso no Campus pode ser uma experiência bastante proveitosa, pois com esse volume de água gerada através desses aparelhos, a sua utilização pode ser feita, objetivando suprir a demanda em locais que, costumeiramente,

utilizam água potável com diferentes necessidades e associações, como reserva de proteção contra incêndio, irrigação dos jardins da própria universidade, gramados, árvores, arbustos, lavagem de pisos e calçadas, dentre outros.

Resultados das Análises Físico-químicas

A Tabela 4 apresenta os dados obtidos para as análises físico-químicas das amostras de água provenientes dos aparelhos de ar-condicionado, e seus respectivos valores médios, desvio padrão e coeficiente de variação.

Tabela 4. Resultados das análises físico-químicas dos aparelhos de ar-condicionado do CCCO.

Aparelho	pH	Cond. ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	Sal. (ppt)	OD (%)	OD (mg/l)	Alca. (mg/l)	Dur. (mgCaCO ₃ /l)
1	6,62	14,6	0,01	79,5	6,4	15,3	0
2	7,21	13,6	0,00	76,7	5,9	12,0	0
3	6,87	17,0	0,01	81,4	6,5	24,0	14,7
4	6,53	18,6	0,01	83,9	6,9	16,0	0
5	6,98	21,4	0,01	76,3	6,1	18,7	0
6	6,97	18,8	0,01	78,0	6,3	12,0	0
7	6,45	48,8	0,02	79,9	6,5	27,3	8,0
8	6,40	43,0	0,02	80,6	6,5	18,0	0
9	6,11	49,2	0,02	80,5	6,5	11,3	10,0
10	6,86	17,3	0,01	76,1	6,2	13,3	0,0
11	6,43	12,4	0,00	77,8	6,4	17,3	0
12	7,50	17,0	0,01	74,5	5,7	14,0	0
13	7,54	14,0	0,00	76,6	6,0	15,3	0
14	7,04	20,8	0,01	75,4	5,8	13,3	0
Vmédio	6,82	23,3	0,01	78,37	6,3	16,3	2,33
Dp	0,42	13,2	0,01	2,67	0,3	4,6	-
CV (%)	6,20	56,43	67,94	3,40	5,30	28,38	-

Cond.=condutividade, Sal.=Salinidade, OD=oxigênio dissolvido, Alca.=alcalinidade, Dur.=dureza Vmédio = média geral do parâmetro; DP=desvio padrão; CV=coeficiente de variação. **Fonte:** Autoria própria, 2022.

Medidas de pH

O valor médio geral do parâmetro pH foi de $6,82 \pm 0,42$ (CV=6,20 %), o que indica um caráter levemente ácido, próximo à neutralidade. Dez aparelhos apresentaram valores ácidos e 4, valores básicos, O menor valor encontrado foi de 6,11 para o aparelho 09 e o maior foi de 7,54 para o aparelho 13, o que atribui uma leve oscilação entre acidez e basicidade entre as amostras nos diferentes aparelhos.

Panzo (2015), em estudos de parâmetros físico-químicos da qualidade da água de condensação na UNILAB, encontrou valores de pH bem próximos à neutralidade, com média de $7,07 \pm 0,67$, analisando os mesmos aparelhos, por 5 dias seguidos.

Almeida (2010) afirma que o intervalo usual de pH da água deve estar entre 6,0 e 8,5 para uso não potável, já nos limites estabelecidos pela Portaria GM/MS n. 888, de 04 de maio de 2021, o pH da água deve estar mantido na faixa de 6,0 a 9,5 (BRASIL, 2011). Posto isto, diante dos dados alcançados para o parâmetro em questão, mostra-se que respeitaram os limites estabelecidos pela legislação e que estão coerentes com os obtidos pela literatura.

Medidas de Condutividade

O valor médio para o parâmetro condutividade foi de $23,3 \pm 13,2 \mu\text{S cm}^{-1}$, (CV=56,43 %). Observou-se um comportamento com menores valores de $12,4 \mu\text{S cm}^{-1}$, que foi para o aparelho 11 e o maior valor de $49,2 \mu\text{S cm}^{-1}$, encontrado para o aparelho 09. Destarte, pode-se afirmar que os dados obtidos para condutividade elétrica estão em concordância com os resultados obtidos pela literatura.

A condutividade elétrica está relacionada com a presença e quantidade de sais ou íons dissolvidos na amostra, ou seja, quanto maior a quantidade de íons dissolvidos, maior será a condutividade (SOUSA et al., 2016). Valentini et al. (2019) estudaram a possibilidade de reuso de águas de condensação, no município de Cuiabá-MT, e encontraram valores de condutividade entre $18,28$ e $26,88 \mu\text{S cm}^{-1}$, evidenciando que uma maior quantidade de material particulado na época da coleta pode ter influenciado os valores obtidos.

Assim, os valores de condutividade encontrados nos aparelhos, apresentados na Tabela 4, podem ter relação tanto com a salinidade, como com questões de manutenção e de sólidos suspensos que aderem a mangueira de descarte da água. O período de coleta do presente estudo está associado a muitos tipos de material particulado na cidade, onde o estudo se localizou (LIMA; VIEIRA JUNIOR, 2022).

Medidas de Salinidade

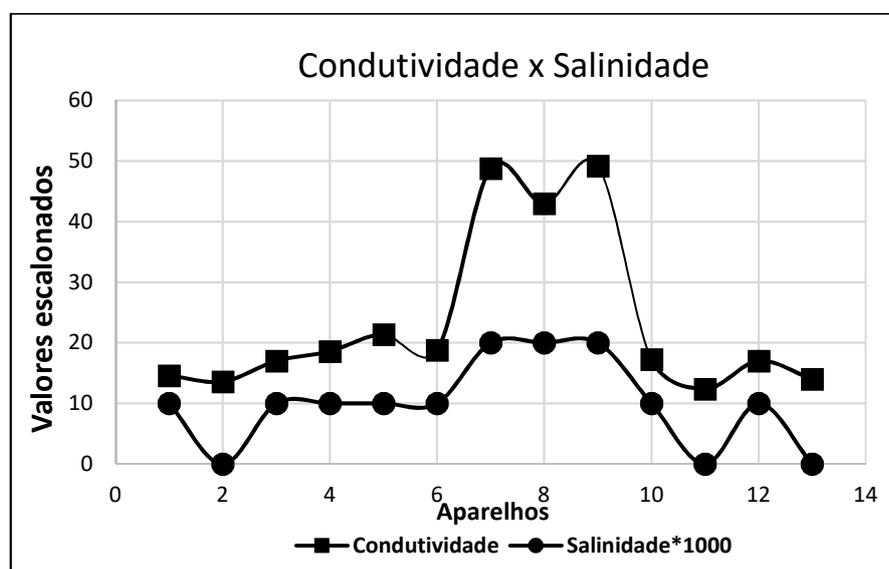
Verificando-se o comportamento dos dados obtidos para o parâmetro salinidade, pode-se observar que o teor de sais foi considerado baixo, com um valor médio de $0,01 \pm 0,01\text{ppt}$ (VC= 67,94 %). O menor valor encontrado para salinidade foi de 0,00 ppt, valor mínimo

possível, e o maior valor encontrado de 0,02 ppt. Rodrigues et al. (2019) em seu estudo de análise quali-quantitativa de águas condensadas geradas por aparelhos de ar-condicionado, afirmaram que, por se tratar de água condensada, a salinidade de todos os aparelhos analisados em sua pesquisa foi igual a zero.

Desse modo, os valores colhidos para salinidade nos aparelhos de ar-condicionado do Campus VII, da UFMA, se encontram em conformidade com os resultados obtidos na literatura e atribuem às amostras a classificação de águas do tipo doce, visto que o percentual da concentração de soluto não ultrapassa a porcentagem exigida pela resolução CONAMA 357/2005 de 0,5 % para o enquadramento nessa tipagem (BRASIL, 2005).

A variação do comportamento da salinidade apresentou relação com os dados obtidos para o parâmetro condutividade, possibilitando uma correlação entre estes dois parâmetros, como apresentado na Figura 7.

Figura 7: Gráfico de relação entre condutividade e a salinidade.



Fonte: Autoria própria, 2022.

Pode se observar a mesma variação para ambos os parâmetros, nos mesmos aparelhos. Essa relação se dá principalmente por conta da condução de carga elétrica está diretamente associada à quantidade de íons em solução, que carregam e conduzem elétrons.

Medidas de Oxigênio Dissolvido - OD

Para o parâmetro OD, os dados foram obtidos em porcentagem de saturação e em miligrama por litro de água condensada. Pode-se observar que os valores obtidos para OD não tiveram grandes variações para ambas as unidades de medidas. O valor médio para saturação (% OD) foi de $78,37 \pm 2,67$ % (CV=3,40 %), tendo 74,5 % com valor mínimo e 83,9 % de valor máximo. Para a concentração de OD no meio, o valor médio foi de $6,3 \pm 0,3$ mg L⁻¹ (CV=5,30 %), sendo os mínimos e máximos de 5,4 e 6,9 mg L⁻¹. Lima et al (2020) encontraram valores de OD entre 1,08 e 4,0 mg L⁻¹ em aparelhos de ar do Instituto Federal de Mato Grosso.

A Resolução CONAMA n. 357/2005 estabelece OD, em qualquer amostra, não inferior a 6 mg L⁻¹ para águas doces de classe I. Dessa forma, os valores obtidos para OD atendem ao estabelecido pela legislação.

Medidas de Alcalinidade

Para as medidas de alcalinidade obteve-se um valor médio de $16,3 \pm 4,6$ mg L⁻¹ (VC=28,38 %), tendo valor mínimo de 11,3 mg L⁻¹ e valor máximo de 27,3 mg L⁻¹. A Portaria GM/MS n. 888, de 04 de maio de 2021 não faz alusão a este parâmetro.

Bolina et al. (2017), em seus estudos sobre o aproveitamento de águas de condensação dos aparelhos em prédios públicos, encontraram resultados médios para alcalinidade de 14,50 mg L⁻¹, estando semelhantes aos valores aqui apresentados. Ramos (2018) apresentou dados de alcalinidade entre 3,5 e 9,5 mg L⁻¹ para seu estudo de qualidade físico-química da água oriunda de aparelhos do Campus da Universidade Federal de Pernambuco, em Caruaru.

Medidas de Dureza

A dureza da água se deve, principalmente, à presença de sais de cálcio e magnésio em solução, dessa forma, a definição atual de dureza se refere à presença desses sais expressada em mg L⁻¹ de CaCO₃ (POHLING, 2009). Desse modo, percebeu-se através dos dados, que a maioria dos aparelhos não apresentou dureza, sendo que somente 3 obtiveram valores para esse parâmetro, tendo o valor máximo de 14,7 mgCaCO₃ L⁻¹. Pode-se afirmar que os valores encontrados para dureza total estão em conformidade com a legislação, tendo em vista que todas as amostras estiveram abaixo do Valor Máximo Permitido (VMP), que segundo a Portaria GM/MS n. 888, de 04 de maio de 2021 deve ser de 500 mg L⁻¹.

Silva (2017) estudando, entre outros parâmetros, a medida de dureza da água de ar-condicionado de uma escola do agreste Pernambucano, encontrou valor médio de 7,90 mgCaCO₃ L⁻¹. A presença, mesmo que baixa, desses sais se deve possivelmente à falta de manutenção e limpeza aos mesmos.

Em um aparelho de ar-condicionado é necessário manter o evaporador sempre limpo, pois com o tempo, a sujeira e poeira podem se acumular sobre ele, e embora seja protegido por um filtro de ar, uma limpeza anual ajuda a manter as bobinas do evaporador nas melhores condições. Quando há acúmulo de poeira sobre elas pode danificar o dreno de condensação do aparelho, o que pode ter gerado os poucos teores de dureza no líquido drenado (TASSINI, 2012).

Considerações finais

A partir dos resultados, pode-se concluir que as menores vazões de água obtidas nesta pesquisa foram para os aparelhos que abrigaram a menor capacidade de refrigeração e consequentemente, as maiores vazões ocorreram nos que continham a maior potência. Estes resultados indicam que a vazão da água pode ser influenciada pela potência do aparelho de ar-condicionado. Esses valores demonstraram que a quantidade de água acumulada no dia, e estipuladas para um acúmulo mensal e anual, é significativa e suficiente para substituir usos de água potável utilizados para atividades cotidianas da universidade, mostrando assim, que o reuso desta água é uma alternativa viável, além de contribuir para a sustentabilidade local.

Para os parâmetros físico-químicos foi evidenciado que estes se encontram em conformidade com os padrões estipulados na legislação para a qualidade da água, em especial pH, salinidade, oxigênio dissolvido e dureza, os quais foram diretamente comparados com os que ela estabelece. É importante ressaltar que essa perspectiva não exclui a necessidade da implementação de medidas que visem a um tratamento mais específico destas águas. Desse modo, através dos resultados das amostras analisadas, tem-se que a utilização desse recurso se enquadra para os objetivos propostos, a ideia de reutilização de água por meio dos condicionadores de ar é uma opção acessível e executável.

Trabalhos futuros de controle de vazão diária (24h de medição) por potência de aparelho e análises microbiológicas podem completar o estudo e indicar novas aplicações de reuso dos sistemas de aparelhos de ar condicionado no Campus Universitário.

Agradecimentos:

FAPEMA - Fundação de Amparo à Pesquisa e ao Desenvolvimento Científico e Tecnológico do Maranhão

Referências

ALMEIDA, O. A. **Qualidade da água de irrigação**. Bahia: Embrapa, 2010.

AKSO. Instrumentos de mediação. **Análise de água**. Multiparâmetros. 2022. Disponível em: <https://www.akso.com.br/produtos/analise-de-agua>. Acesso em: 22 set. 2022.

BARD, C. CANN, M., **Química ambiental**. 4 ed. Porto Alegre: Bookman. 2011.

BARLOW, M. **Água futuro azul**. Como proteger a água potável para o futuro das pessoas e do planeta para sempre. São Paulo: M.Books, 2015.

BOLINA, C. C. et al. Aproveitamento da água proveniente do processo de condensação de aparelhos de ar-condicionado em prédio público. **Revista UniAraguaia**, Goiás, v. 12, n. 12, 2017.

BRASIL. Fundação Nacional de Saúde. **Manual prático de análise de água**. 4. ed. Brasília: Funasa, 2013.

BRASIL. Ministério da Saúde. **Portaria n.2914, de 12 de dezembro de 2011**. 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, Brasília, 12 dez. 2011. Disponível em: https://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html. Acesso em: 20 nov. 2022.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução CONAMA n. 357, de 17 de março de 2005**. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasília, 18 mar. 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfeda_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf. Acesso em: 30 out. 2022.

BRASIL. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Vigilância e controle da qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006.

CAMPOS, J. G. et al. Sistema de captação para aproveitamento da água de aparelhos de ar-condicionado. **RENEFARA**, Goiânia, v.4, n. 3, p. 1-11, 2019.

CUNHA, A.H.N., OLIVEIRA, T. H., FERREIRA, R. B., MILHARDES, A. L. M., SILVA, S. M. C. O reúso de água no Brasil: a importância da reutilização de água no país. **ENCICLOPÉDIA BIOSFERA**, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v. 7, n.13; p. 1225-1248, 2011

FERREIRA, E. P., TOSE, M. Uso de água condensada por aparelhos de ar-condicionado para fins não potáveis – um estudo de caso. **AGRARIAN ACADEMY**, Goiânia, v.3, n.06; p.99-107, 2016.

GRASSI, M. T. As águas do planeta Terra. **Cadernos temáticos de química nova na escola**, v.1, n.1, p. 31-40, 2001.

JACOBI, P. R.; GRANDISOLI, E. **Água e sustentabilidade**: desafios, perspectivas e soluções. São Paulo: IEE-USP, 2017.

LIMA, A. S., VIEIRA JUNIOR, B. C. Estudo de áreas queimadas no município de Codó (MA), Brasil. **Boletim Paulista de Geografia**, nº 107, P.1-20, jan.-jun. 2022.

LIMA, S. M, et al. Estudos sobre a água do ar-condicionado. *In* Organização Editora Poisson. **Engenharia do século XXI**. Belo horizonte: Poisson, 2020. Cap. 5, p. 43-49.

LIU, J., YANG, H., GOSLING, S.N., KUMMU, M., FLÖRKE, M., PFISTER, S., HANASAKI, N., WADA, Y., ZHANG, X., ZHENG, C., ALCAMO, J., OKI, T. **Water scarcity assessments in the past, present, and future**. *Earth's Future*. v. 5: p. 545-559. 2017.

MACÊDO, J. A. B. **Águas & Águas**. 1. Ed., São Paulo: Varela, 2001.

PANZO, P. D. **Água condensada por aparelhos de ar-condicionado da UNILAB: caracterização físico-química e reaproveitamento**. Monografia (Graduação em Licenciatura em Ciência da Natureza e Matemática) – Coordenação do Curso de Licenciatura em Ciências da Natureza e Matemática, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-Brasileira, Redenção, 2015

POHLING, R. **Reações químicas na análise de água**. Fortaleza: Arte Visual Gráfica e LTDA- ME, 2009.

RAMOS, F. G. **Avaliação do potencial de aproveitamento de água oriunda de ar-condicionado: estudo de caso para o centro acadêmico do Agreste**. (2018) -Trabalho de Conclusão de Curso. Engenharia Civil. Caruaru 2018.

RIGOTTI, P. **Projeto de aproveitamento de água condensada de sistema de condicionadores de ar**. Monografia (Graduação em Engenharia Mecânica) - Departamento de Ciências Exatas e Engenharias, Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Panambi, 2014.

ROCHA, D. P. B. **Sistema de reuso de água proveniente de aparelhos de ar-condicionado para fins não potáveis: estudo de caso aplicado ao Centro de Tecnologia da UFRN**. 2017. 19f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil), Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2017.

RODRIGUES, J. O. N. et al. Análise quali-quantitativa da água condensada gerada por aparelhos de ar-condicionado. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**, Paraíba, v. 7, n. 2, p. 160-174, 2019.

RODRIGUES G. O. et al. Scenarios for the reuse of water generated by air conditioners from an institution. **Revista Produção Online**. Florianópolis, SC, v.20, n.4, p.1435-1453,2020.

ROLF, P. **Reações químicas na análise de água**. 1 ed. Fortaleza: Arte visual, 2009.

SANTOS, E. B. et al. Coleta e aproveitamento de água de aparelhos de ar-condicionado. **Braz. J. of Develop.**, Curitiba, v. 5, n. 9, p. 16356-16365, sep. 2019.

SILVA, J. B., **Análise quali-quantitativa da água de condensação proveniente dos aparelhos de ar-condicionado: estudo de caso em um colégio do agreste pernambucano.** 2019. 44 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia civil) – Universidade Federal de Pernambuco, 2019.

SOARES, M. C. D. M; SOUZA JÚNIOR, G. D., SILVA, S. R. Aproveitamento de água de aparelhos de ar-condicionado em prédio público do Estado de Pernambuco. **Research, Society and Development**, v. 10, n.16,2021.

SOBRINHO, P. M. **Avaliação do efeito da umidade relativa do ar no coeficiente de performance de um sistema de ar-condicionado.** 2011. 63 f. Tese (Doutorado em Engenharia Térmica) - Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, Universidade Estadual Paulista, 2011.

SOUSA, R. E. B. et al. Caracterização físico-química e microbiológica das águas condensadas de aparelhos de ar-condicionado visando potencial reutilização. **Rev. Tecnol.**, Fortaleza, v. 37, n. 1, p. 37-54, jun. 2016.

TASSINI, J. O. **Eficiência energética em sistemas de refrigeração industrial: estudo de caso.** Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica) – Programa de Pós-graduação em Engenharia Mecânica, Universidade Estadual Paulista. Guaratinguetá, 2012.

VALENTINI, C. M. A., et al. Água de beber: um olhar sobre a possibilidade do reuso da água de ar-condicionado para fins potáveis. **Biodiversidade.**, n. 18, v. 3, p. 1-36, 2019.