

# Águas Renováveis: Viabilidade do Uso da Água de Ar-Condicionado em Laboratórios de Ensino de Instituições Superiores

## Renewable Water: Feasibility of Using Air-Conditioning Water in Teaching Laboratories at Higher Education Institutions

Pedro Moreira de Sousa Júnior,<sup>a,\*</sup> Tatiane da Silva Oliveira,<sup>a</sup> Pollyana Gomes Ribeiro,<sup>a</sup> Simone de Fátima Pinheiro Pereira,<sup>b</sup> Orivan Marques Teixeira,<sup>c</sup> Kelson do Carmo Freitas Faial,<sup>d</sup> Ricardo Narciso Vieira Romariz,<sup>a</sup> Namory Méité<sup>b</sup>

<sup>a</sup>Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA), Campus Capanema, Capanema-PA, Brasil

<sup>b</sup> Universidade Federal do Pará (UFPA), Avenida Augusto Corrêa nº 01, Guamá, Belém-PA, Brasil

<sup>c</sup> EMBRAPA, Amazônia Oriental, Tv. Dr. Enéas Pinheiro s/n, Marco, Belém-PA, Brasil

<sup>d</sup> Instituto Evandro Chagas, Rodovia BR-316, km 7 s/n, Levilândia-PA, Brasil

\*E-mail: [pedro.junior@ufra.edu.br](mailto:pedro.junior@ufra.edu.br)

Submissão: 10 de Agosto de 2024

Aceite: 9 de Novembro de 2024

Publicado online: 26 de Novembro de 2024

Distilled water is a necessity in every teaching or research laboratory. They usually use equipment such as reverse osmosis systems, distillers and deionisers to ensure analytical safety in laboratory tests. The aim of this research was to assess the feasibility of using condensed water from the air-conditioning in the laboratories of the Federal Rural University of Amazonia - Capanema/PA campus as a substitute for distilled water, as an alternative to the recurrent interruptions in the distillation system used. The following parameters were assessed: Temperature, pH, Electrical Conductivity, Total Dissolved Solids, Salinity, Turbidity, Al, Fe, Cu and Zn in the condensed water collected from the appliances, totalling 188 samples. The results were compared with reference values established by the ASTM D1193-06/2018, ISO - BS No. 3696/95, Distilled Water standards and those found by other authors, in order to ensure that the measurements met all the quality criteria for the purpose of use proposed in the research. The results showed that some parameters, such as Electrical Conductivity, pH and Fe, increased in relation to the reference standards, but these are not levels that make it unfeasible to use condensed water in laboratory analytical processes as a substitute for distilled water, when necessary, without affecting the results in terms of teaching activities.

**Keywords:** Condensed water recovery; distilled water; viability.

## 1. Introdução

A gestão sustentável dos recursos hídricos tem se tornado uma questão central nas agendas ambientais e acadêmicas, dada a crescente escassez de água potável em diversas regiões do mundo. O uso consciente da água é particularmente relevante em ambientes onde o consumo é elevado, como em laboratórios de ensino de instituições de Ensino Superior. Esses laboratórios demandam grandes volumes de água para uma variedade de atividades, desde experimentos de química até processos de resfriamento e limpeza de equipamentos. Nesse contexto, a busca por fontes alternativas de água renovável desponta como uma alternativa viável para minimizar o consumo de água potável e mitigar o impacto ambiental.<sup>1</sup>

Autores como Tzanakakis *et al.*,<sup>2</sup> e Matarneh *et al.*,<sup>3</sup> contribuem nesse debate ao destacarem que a condensação da água do ar em sistemas de climatização, como aparelhos de ar-condicionado, oferece uma fonte promissora de água renovável. Em locais de clima quente e úmido, esses sistemas podem gerar quantidades consideráveis de água destilada, que, sob condições adequadas, pode ser aproveitada para diferentes finalidades dentro de laboratórios, como a preparação de soluções, lavagem de vidrarias e outros processos que não requerem necessariamente água de grau ultrapurificado.

No entanto, Ricart *et al.*,<sup>4</sup> a viabilidade técnica e a qualidade dessa água precisa ser rigorosamente avaliadas antes de sua adoção em ambientes laboratoriais, especialmente no que diz respeito à sua pureza química, compatibilidade com equipamentos e conformidade com os padrões exigidos para práticas laboratoriais. Ainda sobre o tema, Scruggs e Heyne<sup>5</sup> e Matarneh *et al.*,<sup>3</sup> traçam um paralelo ao citar países como Estados Unidos, Singapura, Austrália, Bélgica e Reino Unido que lideram as pesquisas sobre “Colheita de Água Atmosférica(CAA)”, onde o foco é a sistematização das fontes alternativas de água com fins potáveis e não potáveis e países como a Jordânia que apresentam inúmeros problemas sociais, econômicos e ambientais, impedindo o avanço em pesquisas sobre o tema, embora apresentem uma das menores disponibilidades per capita de água do mundo.

Nesse contexto, um dos exemplos com relevância dentro dos objetivos de CAA é a pesquisa acerca da água gerada por equipamentos de ar-condicionado, no qual destacamos estudos conduzidos por Soares *et al.*,<sup>6</sup> Melo *et al.*,<sup>7</sup> Dalmora *et al.*,<sup>8</sup> e Jurga *et al.*<sup>9</sup> Estes estudos apresentam experiências exitosas como a utilização da água gerada para consumo potável, na utilização para irrigação de cultivares de pequeno porte, uso doméstico entre outros.

Embora seu uso mostre-se diversificado, a pesquisa destaca investigações realizadas em instituições de ensino superior como é o caso dos trabalhos conduzidos por Miranda<sup>10</sup> e Soares *et al.*,<sup>6</sup> onde a água proveniente da condensação do ar-condicionado foi reaproveitada para fins de reservatórios de proteção contra incêndios, lavatórios e descarga de banheiros e para irrigação de área com paisagismo de plantas. Almeida *et al.*,<sup>11</sup> Dhamodharan *et al.*,<sup>1</sup> e Viana *et al.*,<sup>12</sup> corroboram com a discussão, quando ressaltam o quanto essas práticas contribuem para o combate ao desperdício de água dentro das Instituições de Ensino Superior (IES).

Nas IES, os laboratórios experimentais destinados ao ensino e pesquisa são espaços com grande fluxo de atividades, abrangendo desde experiências acadêmicas, até pesquisas de ponta. Viana *et al.*,<sup>12</sup> ressaltam que nos laboratórios há um consumo grande de água destilada e que constantemente o reator para destilação é acionado para garantir o volume suficiente em atendimento às demandas laboratoriais.

O processo de destilação, segundo Morais *et al.*,<sup>13</sup> caracteriza-se por demandar um volume de água elevado, de 11 a 150 L para produzir 1 L de água destilada. De acordo com Sousa *et al.*,<sup>14</sup> trata-se de um procedimento oneroso sob a ótica sustentável e enfatiza que as IES devem apresentar alternativas sustentáveis a fim de minimizar os impactos ambientais e econômicos causados por essas outras operações culmumentes realizadas nos laboratórios.

Simões *et al.*,<sup>15</sup> e Morais *et al.*,<sup>13</sup> explicitam a importância da aplicação e multiplicação de práticas sustentáveis seja em cidades, centro comerciais, órgãos governamentais e Instituições de Ensino Superior, pois elas necessitam materializar essa política de sustentabilidade, sobretudo em seus Planos de Desenvolvimento Institucional (PDI) ou realizando ações que sejam comprovadamente exitosas e que sirvam de modelo para a sociedade civil.

Balizado por esta narrativa, a pesquisa se propõe em avaliar a viabilidade do uso da água oriunda do ar-condicionado, como alternativa sustentável, em substituição a água destilada em laboratórios de ensino da Universidade Federal Rural da Amazônia (UFRA) *campus* Capanema, a partir de análises de alguns parâmetros químicos e Físico - Químicos.

A justificativa da pesquisa foi de atendimento a problemática do *campus* universitário no que concerne aos frequentes danos dos aparelhos de destilação em função do elevado teor de cálcio nas águas subterrâneas da região na qual a instituição está localizada, o que pode inviabilizar a disponibilidade contínua da água destilada aos laboratórios.

## 2. Experimental

A pesquisa foi desenvolvida em caráter quantitativo, marcada por uma revisão da legislação que normatiza os padrões de qualidade em laboratórios de ensino e pesquisa e das normativas que regulamentam a água destilada para esses fins. No segundo momento foi desenvolvido um planejamento experimental das atividades analíticas (amostragem, coleta, procedimentos analíticos aplicados) no intuito de garantir a análise e a interpretação dos dados com maior confiabilidade, conforme sugerido por Neto *et al.*<sup>16</sup>

### 2.1. Local da pesquisa

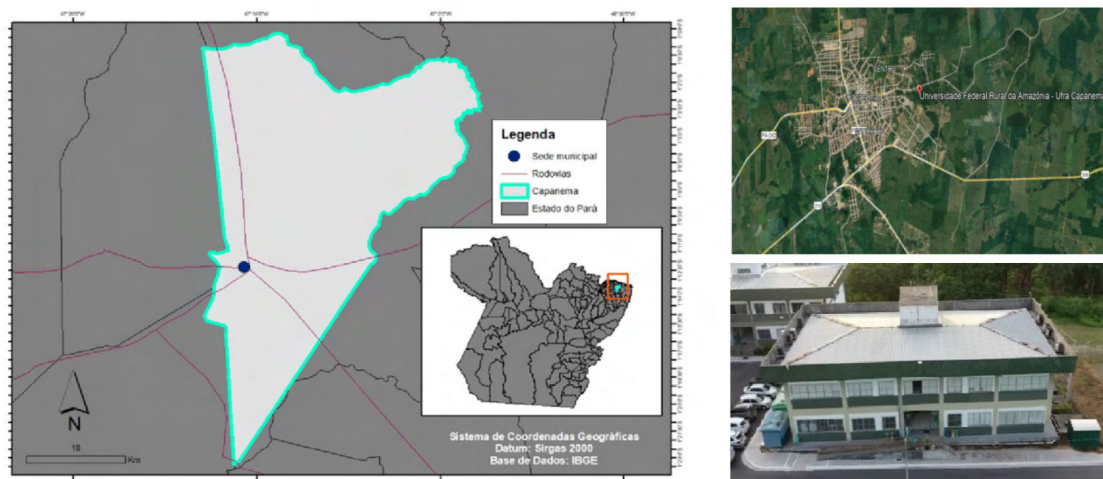
Os locais utilizados como objeto da pesquisa foram os laboratórios multidisciplinares presentes na IES. Atualmente a instituição conta com 4 laboratórios onde são desenvolvidas atividades de ensino e pesquisa, organizados da seguinte forma: Laboratório 1 (Água e Meio Ambiente), Laboratório 2 (Genética e Microbiologia), Laboratório 3 (Solos) e Laboratório 4 (Entomologia). Esta instituição conta, atualmente, com seis cursos de graduação, sendo eles: Administração, Agronomia, Bacharelado em Biologia, Licenciatura em Biologia, Ciências Contábeis, Engenharia Ambiental. Sua sede está localizada na Avenida Barão de Capanema, s/nº, bairro Caixa D'água, Capanema-PA.

O município de Capanema (Figura 1), onde está localizada o *campus* da UFRA está a 160 km distante de Belém, capital do Estado do Pará, na Microrregião Bragantina. Devido a sua posição geográfica, a cidade é conhecida como polo da microrregião. O município se destaca pela presença de indústrias de extração e beneficiamento de calcário para produção de cimento, em virtude da composição geoquímica do solo ser caracterizada pela Formação Pirabas, composta por rochas carbonáticas depositadas durante o Mioceno Inferior.<sup>17-18</sup>

Este solo influencia de forma importante a qualidade da água dos lençóis freáticos facilitando a liberação de substâncias químicas da família dos sais como carbonatos de Ca, Na e Mg presentes na composição do solo, conforme citado por Santos *et al.*,<sup>19</sup> e Nascimento *et al.*<sup>20</sup>

Para manutenção das atividades, a Universidade utiliza água subterrânea proveniente de poço artesiano para o abastecimento do complexo. No que toca sua estrutura, o *campus* divide-se em dois prédios de dois andares, um deles conta com sala para docentes, coordenadores, sala de estudos e fins administrativos e outro com 4 salas de ensino teórico, 1 laboratório de informática e os 4 laboratórios acima descritos. Na pesquisa foram considerados apenas 4 aparelhos de ar-condicionado, referente aos laboratórios de ensino e pesquisa, com funcionamento diário de 12 horas.

A água utilizada nas atividades de ensino e pesquisa nos laboratórios é proveniente do processo de destilação gerado por um destilador tipo Pilsen 1, com capacidade de 5 a 10 litros e vazão de 60 minutos. No sistema Pilsen 1, a água



**Figura 1.** Mapa do local da pesquisa - *Campus* da UFRA - cidade de Capanema-PA. Fonte: Sandim e Rosa<sup>21</sup>, Google Earth, 2024, Foto: Prof. Dr. João Fernandes.

entra na caldeira, sendo pré-aquecida e, em seguida, chega ao ponto de ebulição e condensa na tampa. Posteriormente, é gotejada no recipiente coletor de água destilada, produzindo água química e bacteriologicamente apropriada para atividades laboratoriais.<sup>15</sup> Porém, esse processo de destilação normalmente é interrompido devido ao excesso de incrustações calcárias que impedem a destilação adequada, acarretando na queima do equipamento.

## 2.2. Coleta e amostragem

As coletas ocorreram entre os meses de maio a junho de 2023 de forma periódica a fim de garantir representatividade eficiente. O planejamento amostral ocorreu da seguinte forma: ao longo de 12 h foram coletadas 4 amostras com intervalo de 3 h, de segunda à sexta-feira, que corresponde ao período de funcionamento da IES. A amostragem alcançada durante os meses estabelecidos foram de 188 amostras. Todo procedimento de coleta e amostragem foi baseado em pesquisas semelhantes, como destaque para Simões *et al.*,<sup>15</sup> e Moraes *et al.*,<sup>13</sup> onde os autores sugerem que o procedimento amostral ocorra de forma sistematizada para que seja possível identificar alterações no comportamento das variáveis analisadas.<sup>22</sup>

Para determinação da vazão utilizou-se o procedimento de cronometragem, a fim de identificar o tempo médio para preencher o volume de 1 litro de amostra, com auxílio de uma proveta volumétrica, conforme indica Almeida *et al.*<sup>11</sup>

Para a determinação dos metais, as amostras foram coletadas em garrafas de polietileno de 100 mL. As garrafas foram previamente tratadas com uma solução de ácido nítrico (HNO<sub>3</sub>) a 10% (v/v) e, em seguida, enxaguadas com água deionizada. Após o envase, as amostras foram refrigeradas a 4°C, encaminhadas ao Laboratório de Solo e Água da EMBRAPA Amazônia Oriental, filtradas em papel de filtro grau qualitativo (marca Whatman; espessura: 215 µm), além da acidificação com HNO<sub>3</sub> (1:1) e resfriamento a -20°C até a determinação analítica dos elementos segundo

o procedimento da EPA - US *Environmental Protection Agency*.<sup>23</sup>

## 2.3. Procedimentos analíticos

### 2.3.1. Análises físico-químicas

As análises foram realizadas seguindo recomendações da *Standard Methods* APHA (2023), protocolo padrão de procedimentos para análise de água, além do uso da recomendação de autores como Simões *et al.* (2020). As coletas foram realizadas *in loco*, diretamente do reservatório de armazenamento desta água com controle de temperatura acoplado, com auxílio de uma sonda multiparâmetros (modelo: HI98194, marca Hanna, Limena, Itália), com precisão de ± 0,15 °C para Temperatura, ± 0,02 para pH, ± 1% para CE, ± 1% para TDS e ± 2% para Salinidade. A Turbidez também foi avaliada com turbidímetro digital portátil (modelo: 2100Q, marca Hach, Dusseldorf, Alemanha), com uma precisão de ± 2%. Antes das leituras, os equipamentos foram calibrados com soluções de calibração e sua operação correta foi verificada, conforme metodologia indicada pelo fabricante e replicada por autores como Sousa Jr. *et al.*<sup>24</sup>

### 2.3.2. Análises químicas

No que diz respeito à análise de metais, a metodologia utilizada foi fundamentada a partir da sistematização orientada pelo *Standard Methods* (APHA<sup>25</sup>) e relatos de autores como Leiva-Tafur *et al.*,<sup>26</sup> que desenvolveram sua pesquisa utilizando equipamento semelhante ao da pesquisa.

Para detecção e quantificação dos metais foi utilizado um espectrômetro de plasma de micro-ondas (MP-AES) (modelo: 4100, marca *Agilent Technologies*, Califórnia, Estados Unidos). Esse instrumento foi equipado com uma tocha padrão, um nebulizador *OneNeb* e uma câmara de pulverização ciclônica de vidro de passagem dupla (marca *Agilent Technologies*, Califórnia, Estados Unidos). O nitrogênio necessário foi obtido do ar usando um gerador

de nitrogênio (modelo: 4107, marca Agilent Technologies, Califórnia, Estados Unidos).

Antes da leitura, foram definidos intervalos de velocidade e tempo respectivamente: 15 rpm velocidade da bomba, 15 s para o tempo de consumo, 65 s para a estabilização da tocha e 30 s para o tempo de enxágue e a duração da leitura foi de 15 s.<sup>27</sup> O equipamento foi calibrado com solução padrão multielementar, preparada a partir da solução com concentração de 50 mg L<sup>-1</sup> para os metais Al, As, Ba, Fe, Cd, Co, Cr, Cu, Mn, Mo, Ni, Pb, Se, Sr, Zn e concentração de 500 mg L<sup>-1</sup> para K, conforme especificações contidas no frasco da solução padrão (Agilent Technologies, Part N<sup>o</sup>: 6610030000, Lot.: 0013953201, Validade: 31/03/2025).

Na Tabela 1 estão representados os elementos analisados e seus respectivos parâmetros analíticos de qualidade. Para determinação dos parâmetros Limite de Detecção (LD) e Limite de Quantificação (LQ), foram utilizadas as seguintes equações: LD= 3,3(DP/S), onde DP é p Desvio Padrão do sinal do branco e S é a inclinação ou coeficiente angular da curva analítica, no caso do LQ = 10(DP/S). Todas as informações foram extraídas do software de gestão analítica (MP *Expert software*) utilizado no MP – AES 4100 anteriormente citado.

#### 2.4. Análise e interpretação de dados

No tratamento dos dados foi utilizado o software SPSS® Statistical 21, devido sua versatilidade quanto sua aplicação em diferentes vertentes científicas, além da robustez do pacote estatísticos contido no programa.<sup>24</sup> Os testes estatísticos adotados nesta pesquisa envolveram análise de Média, Mediana, Desvio Padrão, Coeficiente de Variação, Correlação Bivariada e análise por *Box Plot*, a fim de identificar padrões de comportamento das variáveis analisadas, conforme sugerido por De Souza e Cordeiro<sup>28</sup> e Matarneh *et al.*<sup>3</sup>

Os resultados estatísticos tiveram como balizamento, a comparação com as diretrizes de qualidade estabelecidas

pela ISO 3696/95 da *British Standard (British Standard - CIC/26 e DC, 1995)*, ASTM D1193-06/2018 Sociedade Americana de Testes e Materiais (sigla em inglês ASTM) que regulamenta requisitos para água utilizadas em laboratório (água Tipo II)<sup>29</sup>, resultados experimentais da água destilada produzida no laboratório da instituição, além de autores com pesquisas semelhantes, quando pertinente.

Sobre a análise de volume gerado pelos equipamentos, o cálculo utilizado foi o mesmo proposto por Sousa *et al.*,<sup>14</sup> em pesquisa, onde foi realizada análises Físico-Químicas e Microbiológicas das águas condensadas de aparelhos de ar-condicionado visando potencial reutilização. Neste estudo o autor utilizou a Equação 1 para o cálculo do volume:

$$VE = \frac{(QC \times TD)}{TC} \quad VE = \frac{(QC \times TD)}{TC} \quad (1)$$

onde: VE = Volume Estimando por hora; QC = Quantidade Coletada (L); TD = Tempo considerado para parâmetro (tempos adotado 1 h); TC = Tempo de Coleta (h).

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1. Quantificação do volume total estimado de água condensada

Os valores dos volumes estimados obtidos na etapa da captação da água condensada estão representados na Tabela 2. O intuito desta análise foi avaliar a viabilidade, em termos de volume de água coletado diariamente gerada pela condensação dos aparelhos, a fim de identificar se o volume armazenado atende as necessidades dos laboratórios.

Para o cálculo do volume, foram considerados 4 aparelhos tipo split (58.000 BTUS) com funcionamento diário de 12 h, 5 dias por semana e cada saída apresenta 1 dreno. Nesta análise, constatou-se que o grupo de aparelhos participantes da pesquisa, necessitou de 2 horas

**Tabela 1.** Controle de qualidade analítico para os elementos químicos nas amostras investigadas.

Elementos	$\lambda^a$ (nm)	LD <sup>b</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	LQ <sup>c</sup> (mg L <sup>-1</sup> )	Recuperação (%)
Al	396,152	0,007	0,002	101,8
Fe	371,993	0,005	0,001	98,0
Cu	324,754	0,003	0,002	101,0
Zn	213,857	0,005	0,016	100,4

<sup>a</sup> $\lambda$ : Comprimento de onda; <sup>b</sup>LD: Limite de Detecção; <sup>c</sup>LQ: Limite de Quantificação.

**Tabela 2.** Vazão média do ponto de coleta.

Potência das Splits em BTUS	Quantidade de Aparelhos	Volume Estimado por Equipamento (L h <sup>-1</sup> )	Volume Total Estimado (L h <sup>-1</sup> )	Volume Total Estimado Diariamente <sup>a</sup> (L)
58.000	4	0,5	2	24

<sup>a</sup> Volume Total Estimado Diariamente considerando 12 h de funcionamento.



para completar o volume de 1 L e com base na Equação 1, o Volume Estimado (VE) por hora será de 0,5 L por equipamento e o Volume Total Estimado foi de 2 L a cada hora, considerando o conjunto de equipamentos.

Embora o Volume Total Estimada (VTE) apresente valores menores quando comparados aos resultados registrados por Sousa *et al.* (2016) com 2,6 L h<sup>-1</sup> para equipamentos 48.000 BTUs e Rodrigues *et al.*<sup>30</sup> com 2,97 L h<sup>-1</sup> para equipamentos de 30.000 BTUs, ainda assim representa uma alternativa viável para o *campus*, uma vez que o volume estimado de água destilada utilizado diariamente nos laboratórios seja de 8 litros. Estes resultados tornam-se mais valorosos quando comparado ao sistema de destilação tipo Pilsen 1, tradicional, que necessita de 25 a 30 L de água para produzir 1 L de água destilada, conforme indicado no manual do equipamento.

O resultado também alerta para uma análise sobre a eficiência energética dos equipamentos, haja vista que os valores determinados possam ter relação com a falta de periodicidade de manutenção dos equipamentos e a desobstrução dos drenos. Galindo<sup>31</sup> e Soares *et al.*,<sup>6</sup> relatam em suas pesquisas que a negligência na manutenção dos equipamentos de ar-condicionado, tem reflexo imediato no aumento do consumo de energia elétrica da instituição, tendo em conta a necessidade do trabalho forçado dos aparelhos, indo na contramão das políticas institucionais de sustentabilidade.

### 3.2. Estatística descritiva dos resultados analíticos

Na Tabela 3 estão descritos os resultados dos parâmetros elencados nesta pesquisa. Nela estão apresentados valores de média, desvio padrão e coeficiente de variação e foram balizados a partir de normativas nacionais, internacionais e autores com trabalhos que trataram do objeto desta pesquisa. Como o foco da investigação buscou avaliar a viabilidade da água condensada para fins laboratoriais, optou-se pela apresentação dos resultados de forma unificada, sem a diferenciação dos pontos de coleta.

Dessa forma, sobre os resultados físico-químicos, os parâmetros que não estiveram em conformidade com os padrões de referência estabelecidos, foram a Condutividade Elétrica (CE) (14,98±5,66 μS cm<sup>-1</sup>) com um aumento de 96,66% em relação à ISO - BS n° 3696/95 (5,00 μS cm<sup>-1</sup>), com a ASTM D1193-06/2018 (5,00 μS cm<sup>-1</sup>) onde o aumento foi da ordem de 1298% e para Água Destilada foi de 556,56%. Outro parâmetro que está em desacordo é o pH (7,69±0,69) com um percentual de 2,39% acima do que preconiza à ISO - BS n° 3696/95 (5,0 - 7,5), com 11,28% acima do valor determinado para água destilada, mas dentro do intervalo estabelecido pela ASTM D1193-06/2018 (6,0 - 8,0).

Sobre o resultado de CE, a divergência identificada entre as regulamentações adotadas na pesquisa, está relacionada à carência de normativas, nacional e internacional, que regulamentem de forma clara os padrões para água destilada.

O uso de tais normas se deu por conta de seus conteúdos mencionarem o padrão de água apropriado para o uso em laboratórios, como no caso da ISO - BS n° 3696/95, que estabelece na classificação Grupo 3 (água utilizada em laboratórios químicos e preparo de soluções) e a ASTM D1193-06/2018 que também estabelece padrões de água proveniente da destilação para utilização em laboratório, e para esta pesquisa enquadra-se o Tipo II. Tais valores serão explicitados como padrões de referência para esta pesquisa na Tabela 3.

De Melo *et al.*,<sup>7</sup> ao analisarem a água de condensação para fins não potáveis em um hospital privado, constataram que determinados parâmetros físico-químicos tendem a apresentar valores elevados (CE = 26,20 μS cm<sup>-1</sup>), mas que não influenciam de forma significativa na sua qualidade. Sabnis *et al.*,<sup>32</sup> ao analisar aparelhos de ar-condicionado domésticos para fins potáveis, nas cidades indianas de Bandra (66,8 μS cm<sup>-1</sup>), Andheri (108,5 μS cm<sup>-1</sup>), Vashi (31,2 μS cm<sup>-1</sup>), Govandi I e II (20 μS cm<sup>-1</sup>), Goreagon (71,2 μS cm<sup>-1</sup>), Kalina (78,2 μS cm<sup>-1</sup>), Kharghar (18 μS cm<sup>-1</sup>), Pune I (45 μS cm<sup>-1</sup>), Symbiosis (17 μS cm<sup>-1</sup>), Pune II (15 μS cm<sup>-1</sup>), Kochi (20 μS cm<sup>-1</sup>) e Anjar (51,3 μS cm<sup>-1</sup>) também identificaram elevados valores de condutividade, mas que não influenciaram diretamente na sua qualidade, tanto para fins potáveis quanto não potáveis.

Viana *et al.*,<sup>12</sup> ao analisarem água de ar-condicionado para fins de reuso da Universidade Federal do Maranhão, identificaram o valor médio de CE igual a 23,3 μS cm<sup>-1</sup>. O autor ainda reforça que esse comportamento é esperado e a justificativa esta relacionada à falta de manutenção dos equipamentos, causando desgaste dos componentes metálicos, aumentando a condutividade da água condensada. Valentini *et al.*,<sup>33</sup> na pesquisa desenvolvida no Instituto Federal do Mato Grosso, detectou o valor médio de CE igual a 15,62 μS cm<sup>-1</sup>, justifica que a provável causa para o valor determinado esteja relacionada a fatores externos (material particulado na atmosfera) devido os equipamentos também filtrarem o ar atmosférico. Dessa forma, todo material particulado, sobretudo em locais de elevada umidade concentra-se no equipamento e conseqüentemente é depositado na água formada.

No que tange aos resultados sobre a variabilidade amostral, ao qual tanto a Condutividade Elétrica (CV = 14,44%) quanto os Sólidos Totais Dissolvidos (CV = 16,87%) apresentaram certa oscilação, a justificativa se alinha a discussão apresentada anteriormente e ratificada por Ahmed e Calucag<sup>34</sup> e Al Ghamdi *et al.*,<sup>35</sup> que ao realizarem pesquisas semelhantes na casa de verão do Rei do Bahrein e na região sul da cidade Jeddah na Arábia Saudita, respectivamente, onde foi constatado que questões ambientais e umidade influenciam na instabilidade dos parâmetros supracitados.

No que diz respeito ao resultado do pH que apresentou um percentual de 2,39% acima das normativas adotadas na pesquisa, a justificativa pode estar relacionada a uma variabilidade estatística, uma vez que o valor do desvio

padrão e coeficiente de variação foram de  $\pm 0,69$  e  $9,01\%$ , respectivamente, fazendo com que os valores oscilem dentro da faixa de  $5,5 - 7,5$  adotada pela ISO - BS n° 3696/95 ainda que encontre -se no intervalo preconizado pela ASTM D1193-06/2018 ( $6,0 - 8,0$ ) que prioriza uma condição específica para água proveniente de processo de destilação, conforme mencionado anteriormente na discussão acerca da Condutividade Elétrica.

Outra possibilidade é levantada por Junior *et al.*,<sup>36</sup> ao identificar em sua pesquisa sobre qualidade da água de ar-condicionado no Instituto Federal da Paraíba, *campus* Sousa, que a sazonalidade é um fator relevante uma vez que, seus resultados de pH no período de estiagem (setembro - novembro) apresentou um valor médio de  $7,1$  e o valor médio no período chuvoso (março - maio) foi de  $7,7$ , semelhante ao resultado encontrado nesta pesquisa (pH =  $7,69$ ).

Sousa *et al.*,<sup>14</sup> em pesquisa realizada com água de ar-condicionado em blocos de sala de aula do Centro de Ciências Tecnológicas da Universidade de Fortaleza (CCT-UNIFOR) determinou que o valor de pH variou entre  $7,3 - 7,7$  e a justificativa alegada refere-se a problemas com a manutenção dos equipamentos. Essa informação coaduna com a justificativa já exposta nesta investigação quanto se discutiu o Volume Total Estimado de água condensada gerada pelos aparelhos pesquisados.

Sobre os resultados físico-químicos de CE e pH que, embora tenham apresentados valores acima dos estabelecidos pela ISO-BS n° 3696/95, ASTM D1193-06/2018 e da Água Destilada também determinada na pesquisa, ainda sim podem ser classificados como satisfatórios, uma vez que o foco da pesquisa é avaliar a viabilidade da água proveniente de condensação como alternativa a ausência da Água Destilada para utilização em laboratório para práticas de

ensino não específicas e atividades básicas do laboratório. Ao comparar com outros autores, essa tese se sustenta, tanto para CE quanto para o pH no que tange a valores mais flexíveis. Diante disso, a avaliação é que os resultados alcançados na pesquisa, atendam os quesitos necessários para a finalidade da investigação.

Em relação a não conformidade dos metais, o Fe foi o único elemento em evidência decorrente dos altos teores com aumento percentual de  $360\%$  em relação à normativa adotada na pesquisa. Ainda que o valor seja considerado elevado sob essa perspectiva, autores como Siam *et al.*,<sup>37</sup> ao analisar 65 amostras de água de ar-condicionado nas cidades de Ramallah e Jericho para finalidade semelhante, determinou valores acima (Fe =  $1,60 \text{ mg L}^{-1}$ ) dos determinados na pesquisa, tanto para água condensada ( $0,92 \pm 0,250 \text{ mg L}^{-1}$ ) quanto para água destilada ( $0,89 \text{ mg L}^{-1}$ ). Dessa forma, o resultado experimental torna-se razoável, uma vez que a proposta vislumbra uma alternativa viável para substituir a água destilada quando necessário.

A presença de teores elevados de Ferro pode ser explicada ao analisar pesquisa de autores como Miranzadeh *et al.*,<sup>38</sup> que constatou, ao analisar a qualidade da água de 72 aparelhos de ar-condicionado na área comercial de Kashan no Irã, que a presença de metais em concentrações elevadas em águas dessa natureza são esperados, em virtude da alta umidade e da presença desses elementos na atmosfera. Algarni *et al.*,<sup>39</sup> reforça que a solubilidade dos poluentes atmosféricos na água e a reatividade da água com componentes metálicos dos instrumentos pode causar a presença de metais potencialmente tóxicos na água condensada. Manirathnam *et al.*<sup>40</sup> esclarece que a tubulação de equipamentos de ar-condicionado apresentam em sua composição de óxidos metálicos de Fe em virtude do melhoramento de sua eficiência no desempenho.

**Tabela 3.** Resultados físico-químicos e químicos das amostras analisadas.

Parâmetros	Média $\pm$ DP <sup>a</sup>	CV <sup>b</sup> (%)	Mediana	Água destilada <sup>c</sup>	ISO-BS n° 3696/95 <sup>d</sup>	ASTM D1193-06/2018 <sup>e</sup>
Temperatura (°C)	27,63 $\pm$ 2,11	7,63	27,45	26,0	-	-
Condutividade ( $\mu\text{S cm}^{-1}$ )	<b>14,98<math>\pm</math>5,66</b>	14,44	15,45	1,98	5,00	1,0
pH	<b>7,69<math>\pm</math>0,69</b>	9,01	7,51	6,91	5,0-7,5	6,0-8,0
STD <sup>f</sup> ( $\text{mg L}^{-1}$ )	8,26 $\pm$ 2,65	16,87	7,98	10,41	1000	--
Salinidade (PSU) <sup>g</sup>	0,01 $\pm$ 0,01	100	0,01	0,01	--	--
Turbidez (UNT)	0,11 $\pm$ 0,11	100	0,11	0,25	5,00	--
Parâmetros	Média $\pm$ DP <sup>a</sup>	CV <sup>b</sup> (%)	Mediana	Água destilada <sup>c</sup>	Siam <i>et al.</i> (2019) <sup>h</sup>	
Al ( $\text{mg L}^{-1}$ )	1,18 $\pm$ 0,110	9,32	1,20	1,73	2,96	---
Fe ( $\text{mg L}^{-1}$ )	<b>0,92<math>\pm</math>0,250</b>	27,17	0,93	0,89	1,60	---
Cu ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0,05 $\pm$ 0,020	40,00	0,05	0,42	0,96	---
Zn ( $\text{mg L}^{-1}$ )	0,06 $\pm$ 0,005	8,33	0,05	0,17	0,21	---

Valores em negrito indicam a não conformidade, <sup>a</sup> Valor admitido por julgar o metal Cobre como representante do grupo de resíduos de metais pesados definido pela normativa. <sup>b</sup> DP: Desvio Padrão; <sup>c</sup> CV: Coeficiente de Variação; <sup>d</sup> Valores médio dos parâmetros físico-químicos e metais de água destilada obtidos experimentalmente após o processo de destilação de rotina no laboratório, <sup>e</sup> Normativa Internacional que regulamenta a qualidade da água exigida para laboratórios (Grupo 3 - direcionado a laboratórios químicos e preparo de soluções) (British Standard, 1995); <sup>f</sup> Normativa da Sociedade Americana de Testes e Materiais (sigla em inglês ASTM) que regulamenta requisitos para água utilizadas em laboratório (água Tipo II); <sup>g</sup> STD: Sólidos Totais Dissolvidos; <sup>h</sup> PSU: Escala Prática de Salinidade; <sup>i</sup> Autores com pesquisas semelhantes.

Ao analisar os relatos de pesquisadores que desenvolveram pesquisas semelhantes, há o entendimento de que os valores determinados mostram-se em conformidade quando comparados as referências supracitadas e tal motivo atende a necessidade imposta de avaliar, por meio de análises químicas e físico-químicas a viabilidade da água condensada como pretensão alternativa a ausência da água destilada.

A seguir serão apresentados alguns resultados de testes estatísticos com intuito de confirmar a hipótese da viabilidade da água condensada como fonte alternativa para o uso em atividades em laboratórios de ensino. Na intenção de ratificar os resultados apresentados na estatística descritiva, optou-se pela análise exploratória de *Box Plot* e Correlação Bivariada conforme sugerido por Leiva-Tafur *et al.*<sup>26</sup>

### 3.3. Análise exploratória de dados e correlação dos resultados analíticos

Na Figura 2 foram destacados os parâmetros pH e Condutividade Elétrica, onde o primeiro apresenta uma variabilidade baixa, representada pela pequena altura da caixa e a mediana representada pela linha central próxima do 1º quartil, indicando que 25% dos valores estão próximos a mediana (7,51), isto é, maior parte dos resultados encontram-se próximos a média. Sobre a CE, a representação mostra uma caixa média com mediana igual a 15,45  $\mu\text{S cm}^{-1}$ , indicando a proximidade ao 3º quartil, ou seja, 75% dos valores são menores ou iguais à mediana. A maior variabilidade dos resultados também foi verificada para a CE, de todos os resultados dos parâmetros físico-químicos o de menor variabilidade foi a salinidade e a turbidez. Não houve resultados extremos nos resultados apenas um resultado anômalo para o STD.

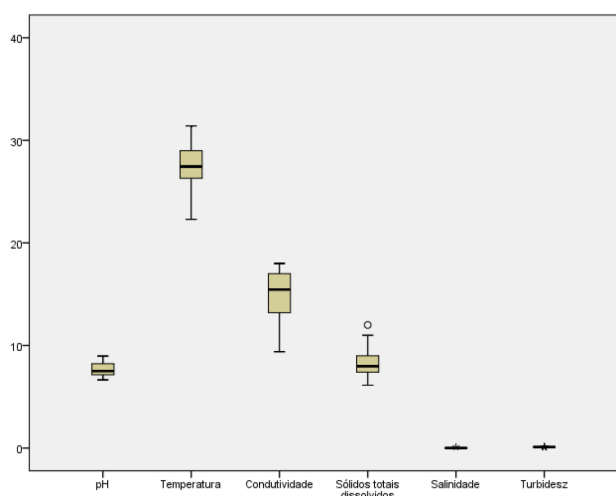


Figura 2. Gráfico *box plot* dos parâmetros físico-químicos na água condensada de ar-condicionado

Com base na Figura 3, foi possível analisar o comportamento estatístico dos metais por meio de um *box plot*. O ferro (Fe) apresentou pouca variabilidade,

com um valor anômalo e outro extremo. A mediana foi de 0,93 mg/L, com 75% dos valores amostrais sendo menores ou iguais a essa mediana. Todos os resultados do Fe estiveram em não conformidade com a legislação brasileira. A maior variabilidade entre os elementos foi atribuída ao Al, onde destaca-se o valor de mediana (1,20 mg L<sup>-1</sup>) próximo ao 3º quartil, indicando que 75% das amostras apresentam valores próximo ao da mediana e, portanto, maior variabilidade nos resultados.

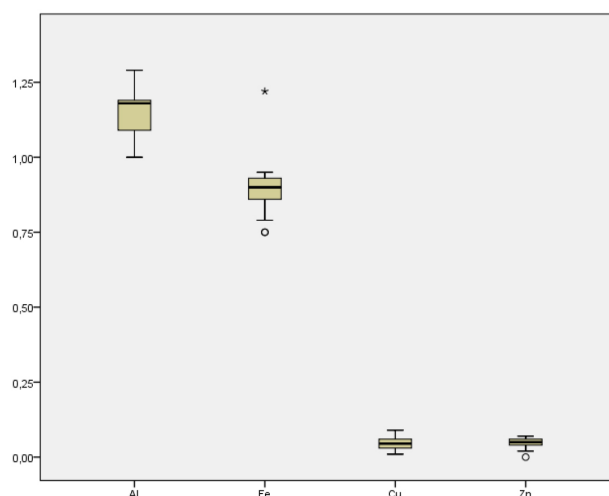


Figura 3. Gráfico *box plot* dos elementos químicos na água condensada de ar-condicionado (mg L<sup>-1</sup>)

Na Tabela 4 estão representados os resultados da correlação bivariada entre os parâmetros utilizados na pesquisa. Nela destacam-se as correlações de Pearson com nível de 95% de intensidade, que corresponde a uma significância ( $p$ ) menor ou igual a 0,05. Diante disso, foram selecionadas as seguintes relações lineares: pH e temperatura (CP = 0,402), temperatura e salinidade (CP = 0,406), temperatura e Fe (CP = -0,402), CE e STD (CP = 0,470), salinidade e Cu (CP = -0,461) e Al e Cu (CP = -0,466).

Sobre a primeira correlação pH e Temperatura, o resultado mostra uma relação diretamente proporcional. Segundo Cidreira-Neto *et al.*,<sup>41</sup> esses dois parâmetros estão intrinsecamente interligados a ponto de elevação da temperatura em influenciar o aumento do pH. Tavares *et al.*,<sup>42</sup> corroboram na discussão ao citar que, partindo de uma condição ideal ( $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $\text{pH} = 7$ ) a medida que a temperatura aumenta ( $T = 27,63 \pm 2,11$ ) o pH também sofrerá um leve aumento em seu valor ( $\text{pH} = 7,69 \pm 0,69$ ).

Na interação entre temperatura e salinidade a justificativa apresentada parte dos relatos de pesquisa de Silva *et al.*,<sup>43</sup> onde os autores citam que em regiões de estuário a salinidade na atmosfera é aumentada em virtude dos processos de evapotranspiração, onde a temperatura tem total influência. Essa justificativa torna-se plausível uma vez que a cidade de Capanema está incluída na região de estuário dos Caetés que naturalmente apresenta valores elevados. Os resultados determinados na pesquisa

**Tabela 4.** Correlação de Pearson entre os parâmetros investigados.

	pH	T	CE	STD	Salinidade	Turbidez	Al	Fe	Cu	Zn
<b>pH</b>	1									
<b>T</b>	<b>0,402</b>	1								
<b>CE</b>	-0,006	-0,052	1							
<b>STD</b>	-0,026	-0,272	<b>0,470</b>	1						
<b>Salinidade</b>	0,340	<b>0,406</b>	-0,119	-0,212	1					
<b>Turbidez</b>	0,086	-0,024	-0,245	-0,035	0,092	1				
<b>Al</b>	0,047	-0,241	0,084	0,346	0,178	0,266	1			
<b>Fe</b>	-0,273	<b>-0,402</b>	0,220	0,331	-0,371	0,275	0,327	1		
<b>Cu</b>	-0,282	-0,219	0,238	-0,134	<b>-0,461</b>	-0,122	<b>-0,466</b>	0,009	1	
<b>Zn</b>	0,046	-0,036	0,059	-0,044	0,226	0,290	0,272	-0,209	-0,064	1

Em negrito a correlação significativa ( $\alpha$ ) no nível  $<0,05$  (2 extremidades), pH= potencial Hidrogeniônico, T = Temperatura, CE = Condutividade Elétrica, STD = Sólidos Totais Dissolvidos, Al = Alumínio, Fe = Ferro, Cu = Cobre e Zn = Zinco.

coadunam com o padrão regional ao indicar valor de umidade relativa em torno de 98% e temperatura igual a 28,63 °C, ambas coletadas com auxílio da mini estação meteorológica instalada no *campus* (modelo: Vantage Pro2 Plus e marca Davis, Hayward, Estados Unidos). Dessa forma, a probabilidade desta salinidade ser atmosférica é considerável.

No que diz respeito à interação negativa entre temperatura e Fe, não condiz com o esperado já que em temperatura mais elevada se observa o incentivo da cinética das reações envolvidas na corrosão dos componentes do ar-condicionado aumentando a concentração dos metais na água condensada.<sup>44</sup> Uma explicação para esta anomalia seria a condensação de elementos presentes na atmosfera oriundos de particulados condensados emitidos por fábrica de cimento próxima ao local da pesquisa. O material particulado condensado foi definido por Feng *et al.*,<sup>45</sup> como o material que está na fase de vapor em condições de chaminé, mas que condensa e/ou reage ao resfriar e diluir no ar ambiente para formar material particulado sólido ou líquido imediatamente após a descarga da chaminé.

A correlação positiva entre CE e STD, pode ser explicada devido à relação entre a condutividade e a presença de íons dissolvidos na água condensada. Um aumento no número de íons dissolvidos na água provoca uma elevação da condutividade porque os íons carregam cargas elétricas e são móveis na água. Como os íons carregam uma carga elétrica, quanto mais íons dentro da água, maior a quantidade de corrente que pode ser passada, aumentando o nível de condutância.<sup>46</sup>

A correlação negativa entre a salinidade e Cu condiz com o esperado. Devido à sua alta condutividade térmica, o Cu é frequentemente utilizado em aparelhos de ar-condicionado e outros trocadores de calor. Na atmosfera o Cu e suas ligas formam um revestimento resistente e esteticamente agradável de produtos de corrosão, conhecido como pátina, que realmente protege o metal contra sua deterioração por efeito principalmente da alta salinidade em locais próximos ao oceano.<sup>47</sup> Quanto maior a salinidade mais

pátina é produzida evitando a corrosão do Cu no interior dos aparelhos de ar-condicionado, diminuindo assim sua presença na água condensada.

A presença de Alumínio e Cobre em unidade de ar-condicionado está associada ao evaporador, que apresenta um sistema de tubulação geralmente de Cobre por onde o gás refrigerante circula e aletas de Alumínio que possuem a função de dissipar o calor, mudando o fluido do estado líquido para vapor.<sup>48</sup> Sobre a relação entre ambos, Sugimoto *et al.*,<sup>49</sup> afirmam em sua pesquisa que a taxa de corrosão do Alumínio aumenta conforme o número de reações catódicas presentes no processo. Os autores complementam que o Cobre atua como agente limitante da corrosão do Al em virtude de sua ação direta nas reações catódicas, justificando a relação inversamente proporcional. Uchiyama *et al.*,<sup>50</sup> corrobora na discussão ao afirmar que tanto Al quanto Cu apresentam relativa durabilidade embora seja identificado que nas dobraduras seriam os pontos críticos para o início do processo de corrosão e vai acentuando a medida que o tempo de uso se estende.

### 3.4. Viabilidade da água de ar-condicionado para fins laboratoriais

Diante das análises químicas e físico-químicas constituídas na pesquisa avalia-se que a mesma, embora apresente valores consideráveis para alguns parâmetros, não são teores que apresentem potencial de adulteração das características químicas em processos analíticos laboratoriais. A avaliação que se tem é que a água gerada pela condensação dos aparelhos de ar-condicionado dos laboratórios pesquisados pode ser utilizada em substituição a água destilada, quando necessário, sem que haja prejuízo no que se refere as atividades de ensino.

No entanto, em algumas práticas, especialmente em aulas experimentais de química analítica, a presença de metais como o ferro podem vir a ser comprometidas, no caso de análises mais sensíveis, como por exemplo as



realizadas por absorção atômica ou por plasma. Para o caso da utilização de métodos clássicos como, por exemplo, titulação volumétrica, essa sensibilidade pode ou não ser afetada uma vez que segundo Vogel (2000),<sup>51</sup> em análises por titulação volumétrica envolvendo o analito Ferro (titulação redox com  $\text{KMnO}_4$ ) a concentração mínima detectável varia entre 0,1 e 1  $\text{mg L}^{-1}$  dependendo da exatidão da solução titulante e da precisão na detecção do ponto final da titulação. No caso dos resultados determinados na pesquisa, a sugestão é de não utilização da água condensada, em análises específicas que envolvam o analito Ferro, ainda que sua viabilidade seja considerada para demais ensaios acadêmicos voltados ao ensino.

No que diz respeito às atividades de pesquisa em laboratórios de Solos, Meio Ambiente, Genética, Microbiologia ou qualquer demanda que envolva aspectos biológicos ou análises com maior sensibilidade, recomenda-se processos de filtração como a osmose reversa ou autoclavagem da água, a fim de garantir a ausência de microorganismos, conforme sugerido por Sabnis *et al.*,<sup>32</sup> Alom *et al.*,<sup>52</sup> e Dalmora *et al.*<sup>8</sup>

#### 4. Conclusão

Em termos de sustentabilidade em aspecto mundial, a Colheita de Água Atmosférica desponta como uma alternativa viável de uso da água, em substituição aos recursos hídricos tradicionais. Nessa perspectiva, a água oriunda dos sistemas de ar-condicionado, muitas vezes esquecida, tem potencial de uso elevado seja para uso consultivo quanto para não consultivo.

Esta pesquisa focou na viabilidade da recuperação da água que é gerada por condicionadores de ar na Universidade Federal Rural da Amazônia, *campus* Capanema com intuito de atender as demandas dos laboratórios que necessitam de água destilada para as experiências realizadas nas disciplinas dos cursos atendidos pela Instituição, mas não consegue destilar em virtude do calcário presente no lençol freático que constantemente danifica os destiladores.

A pesquisa revelou que a utilização dessa água para fins laboratoriais é viável, pois os resultados analíticos mostraram - se dentro da conformidade quando comparados a diferentes referências, embora hajam limitações por conta do teor médio de Ferro que inviabiliza seu uso direto em ensaios analíticos que envolvam esse metal ou em análises que necessitem de maior sensibilidade como é o caso de análise por Espectrofotometria UV, Absorção Atômica ou Plasma.

Os resultados do Volume Estimado de água produzido pelos equipamentos pesquisados cancelaram a viabilidade da proposta, uma vez que o Volume Total Estimado diário de 24 L é suficiente para as necessidades dos laboratórios. Se compararmos com o volume de 20 a 25 litros de água descartada para cada litro de água destilada, a proposta da pesquisa apresenta-se como uma alternativa sustentável para

instituição e meio ambiente.

A pesquisa ainda revelou que existe margem para melhoramento do processo, atrelando ao sistema de armazenamento mais etapas como: utilização da água condensada no próprio destilador, filtração por osmose reversa desta água e métodos de desinfecção como utilização de Luz UltraVioleta, que irão garantir uma qualidade ainda melhor, quando comparado à água destilada produzida por métodos tradicionais.

#### Agradecimentos

À Universidade Federal Rural da Amazônia – *campus* Capanema por consentir que a pesquisa fosse realizada, ao Laboratório de Solos da EMBRAPA Amazônia Oriental pela realização das análises e a Divisão de Meio Ambiente do Instituto Evandro Chagas pela colaboração no treinamento dos discentes acerca das atividades analíticas.

#### Contribuições dos Autores

1 – Pedro Moreira de Sousa Junior (Conceitualização, Administração do projeto e Redação do Manuscrito Original) – Foi responsável pela formulação das metas e objetivo da pesquisa, coordenou a execução das atividades e colaborou na redação da obra apresentada;

2 - Tatiane da Silva Oliveira (Curadoria, Análise de Dados e Pesquisa) – Colaborou no gerenciamento e produção dos metadados, aplicação de técnicas estatísticas e realização dos experimentos;

3 - Pollyana Gomes Ribeiro (Curadoria, Análise de Dados e Pesquisa) – Colaborou no gerenciamento e produção dos metadados, aplicação de técnicas estatísticas e realização dos experimentos;

4 – Simone de Fátima Pinheiro Pereira (Metodologia, Supervisão e Redação do Manuscrito Original) – Colaborou na elaboração do desenho experimental da pesquisa, atuou como orientadora externa à equipe principal e colaborou na redação da obra apresentada;

5 - Orivan Marques Teixeira (Metodologia e Recursos) – Colaborou na elaboração na execução da metodologia, forneceu recursos de infraestrutura e instrumentos para realização da pesquisa;

6 - Kelson do Carmo Freitas Faial (Recursos, Validação e Revisão) – Colaborou na disponibilização de instrumentos analíticos para realização da pesquisa, na verificação e certificação dos resultados experimentais e revisou o manuscrito original;

7- Ricardo Narciso Vieira Romariz (Pesquisa) – Colaborou na execução dos experimentos

8 - Namory Méité (Análise dos dados, Redação) - Colaborou no tratamento analítico dos resultados experimentais e na revisão do manuscrito original.

## Referências Bibliográficas

- Dhamodharan, P.; Kannappan Ayalur, B.; Prabakaran, R.; Santhosh Kumar, A.; Sang Choi, G.; Chul Kim, S. (2023). Current state of research in air-conditioning condensate utilization and challenges: A review approach. *Applied Thermal Engineering*, 233, 121171. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2023.121171>
- Tzanakakis, V. A.; Paranychiakis, N. V.; Angelakis, A. N. (2020). Water Supply and Water Scarcity. In *Water* (Vol. 12, Issue 9). DOI: <https://doi.org/10.3390/w12092347>
- Matarneh, S.; AlQaraleh, L.; Alkhrrissat, T.; Abdel-Jaber, M. (2024). Assessing water production from air conditioning systems as an unconventional supply source: A focus on water quality and social acceptance perspectives. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 9, 100585. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.csee.2023.100585>
- Ricart, S.; Villar-Navascués, R. A.; Hernández-Hernández, M.; Rico-Amorós, A. M.; Olcina-Cantos, J.; Moltó-Mantero, E. (2021). Extending Natural Limits to Address Water Scarcity? The Role of Non-Conventional Water Fluxes in Climate Change Adaptation Capacity: A Review. In *Sustainability* (Vol. 13, Issue 5). DOI: <https://doi.org/10.3390/su13052473>
- Scruggs, C.; Heyne, C. (2021). Extending traditional water supplies in inland communities with nontraditional solutions to water scarcity. *Wiley Interdisciplinary Reviews: Water*, 8. DOI: <https://doi.org/10.1002/wat2.1543>
- Soares, M. C. D. M.; Souza Júnior, G. D. de.; Silva, S. R. da. (2021). Use of water from air conditioning appliances in public building in the state of Pernambuco. *Research, Society and Development*, 10(16 SE-), e85101623372. DOI: <https://doi.org/10.33448/rsd-v10i16.23372>
- Melo, A.; Soares, M.; Silva, S.; Soares, W. (2022). Quality of water produced by air conditioning equipment for non-potable purposes. *Periódico Eletrônico Fórum Ambiental Da Alta Paulista*, 18. DOI: <https://doi.org/10.17271/1980082718320223360>
- Dalmora, A.; Civeira, M.; Campos, S.; Palma, H. (2023). Use of condensed water from air conditioning equipment as a strategy to face the global scarcity of freshwater: a review. *LADEE*, 3, 13. DOI: <https://doi.org/10.17981/ladee.02.02.2022.4>
- Jurga, A.; Pacak, A.; Pandelidis, D.; Ka mierzczak, B. (2023). Condensate as a water source in terrestrial and extra-terrestrial conditions. *Water Resources and Industry*, 29, 100196. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.wri.2022.100196>
- Miranda, J. (2020). Dimensionamento de Sistema para Captação e Armazenamento de Água proveniente de Ar Condicionado na Faculdade de Iporá (FAI). *Revista Inovação e Sociedade*, 1(1 SE-Planejamento Regional), 40-47. <https://revista.unipora.edu.br/index.php/ies/article/view/6/6>. Acesso em 01/04/2024.
- Almeida, A. P.; Sousa, V.; Silva, C. M. (2021). Methodology for estimating energy and water consumption patterns in university buildings: case study, Federal University of Roraima (UFRR). *Heliyon*, 7(12), e08642. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2021.e08642>
- Viana, D. F.; Alves, I. C. B.; de Oliveira Marques, P. R. B. (2023). Avaliação físico-química da água de condensação para fins de reaproveitamento: um estudo de caso na Universidade Federal do Maranhão. *Revista Brasileira de Iniciação Científica*, 10(SE-Artigos), e023025. <https://periodicoscientificos.itp.ifsp.edu.br/index.php/rbic/article/view/840>. Acesso em 25/02/2024.
- Morais, B.; Oliveira, B.; Oliveira, P.; Teixeira, M. (2021). Implantação e uso na Educação Ambiental de um sistema para reutilização da água de refrigeração de destilador. *Revista Brasileira de Educação Ambiental (RevBEA)*, 16, 142-152. DOI: <https://doi.org/10.34024/revbea.2021.v16.11579>
- Sousa, R. E. B. de.; Rocha, C. M. S.; Abreu, F. O. M. da S.; Moraes, S. G. (2016). Caracterização físico-química e microbiológica das águas condensadas de aparelhos de ar condicionados visando potencial reutilização. *Revista Tecnologia*, 37(1/2 SE-Artigos), 37-54. DOI: <https://doi.org/10.5020/23180730.2016.V37.1/2.37-54>
- Simões, F.; Freitas, C.; Feitosa, R.; Santos, Y. T. D. C.; Alcântara Costa, L.; Pinho, C.; Silva, M.; Pereira dos Santos, S. (2020). Pontencial Reúso das Água de Resfriamento de Destiladores Laboratoriais. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 8, 180. DOI: <https://doi.org/10.9771/gesta.v8i1.36627>
- Neto, B. B.; Scarminio, I. S.; Bruns, R. E. (2010). *Como Fazer Experimentos - 4.ed.: Pesquisa e Desenvolvimento na Ciência e na Indústria*. Bookman. <https://books.google.com.br/books?id=FDnT9ygeOccC>. acesso em 14/05/2024. Acesso em 21/05/2024.
- Chaves, L. S. S. (2013). Impactos Ambientais gerados por mineração no município de Capanema-PA. *IV Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental*. <https://www.ibeas.org.br/congresso/Trabalhos2013/XI-059.pdf>. acesso em 14/02/2024.
- Santos, A. M. A. Dos.; Leite, F. C.; Fontenele, L. L. P.; Souza, M. F. de.; Barbosa, M. T.; Carneiro, F. da S.; & Alves, B. L. A. (2021). Geografia física aplicada com o geoprocessamento nos municípios de Salinópolis e São João de Pirabas. *Natural Resources*, 11(2), 30–40. DOI: <https://doi.org/10.6008/cbpc2237-9290.2021.002.0005>
- Santos, L.; Pereira, S.; Junior, P.; Silva, C. (2020). Avaliação da Qualidade da Água na Amazônia Brasileira: Estudo de Caso na Bacia do Rio Peixe Boi - PA. *Revista SODEBRAS*, 15, 69-75. DOI: <https://doi.org/10.29367/issn.1809-3957.15.2020.180.69>
- Nascimento, S. M.; Júnior, J. A. L.; Júnior, P. M. S.; Faial, K. D. C. F.; Júnior, N. T. V. (2022). Proposal groundwater quality index for irrigation in rural land, eastern amazon, brazil. *Revista Ibero-Americana de Ciências Ambientais*, 13(7), 165-176. DOI: <http://doi.org/10.6008/CBPC2179-6858.2022.007.0013>
- Sandim, D. P. R.; Rosa, A. G. (2021) Gerenciamento de resíduos sólidos orgânicos em restaurante no município de Capanema-PA. Capítulo 3, 28-40 in Silva, C. D. D.; Mota, D. A.; Barbosa, M. S. (2021) Sustentabilidade: princípio de proteção ao ambiente para as futuras gerações - Ponta Grossa - PR: Atena, 130 p. DOI: <https://doi.org/10.22533/at.ed.437212311>
- Fadigas, F.; Eça, G. (2024). Purificação de água de condensação de ar-condicionado para uso em laboratório. In *Editora Licuri* (pp. 32-44). DOI: <https://doi.org/10.58203/Licuri.22183>

23. EPA - US Environmental Protection Agency. (1994). *Method 200.7 -Determination of Elements and Trace Elements in Water and Wastes by Inductively Coupled Plasma-Atomic Emission Spectrometry*. <https://www.epa.gov/sites/default/files/2015-12/documents/3005a.pdf>. Acesso em 04/03/2024.
24. Sousa Jr., P. M. de.; Pereira, S. F. P.; Rocha, R. M.; Alves, M. H. D.; Pinheiro, L. S.; Nogueira, D. P.; Teixeira, O. M. M.; Gonçalves, A. C. S. (2021). Integration of Statistical Models and Computer Simulation in Environmental Accidents: A Study on Leakage of Red Mud in the Pará River, Amazon, Brazil. In *Journal of the Brazilian Chemical Society* (Vol. 32). scielo . DOI: <https://doi.org/10.21577/0103-5053.20210091>
25. APHA. Standard Methods for Examination of Water and Wastewater - American Public Health Association, 24 Th ed. Washington, 2023, 1516 p. <https://www.standardmethods.org/doi/book/10.2105/SMWW.2882>. Acesso em 10/02/2024
26. Leiva-Tafur, D.; Rascón, J.; Corroto de la Fuente, F.; Goñas, M.; Gamarra Torres, O. A.; Oliva-Cruz, M. (2024). Spatio-temporal evaluation of metals and metalloids in the water of high Andean livestock micro-watersheds, Amazonas, Peru. *Heliyon*, 10(12), e33013. DOI: <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e33013>
27. Reis Rezende, C.; Viégas Campos, J. C.; Souza Reis Melo, V.; Sampaio Machado, C.; Milla dos Santos Senhuk, A. P.; Carneiro Ferreira, D. (2023). Qualidade da água subterrânea na área urbana de Uberaba-MG: avaliação de risco à saúde. *Scientia Plena*, 19(2 SE-). DOI: <https://doi.org/10.14808/sci.plena.2023.024301>
28. De Souza, N. L.; Cordeiro, L. F. A. (2022). Use of Water from Air Conditioning Equipment for NonDrinking Purposes: A Case Study at the Federal Institute of Pernambuco - Campus Afogados da Ingazeira. *International Journal of Advanced Engineering Research and Science (IJAERS)*, 9(11), 471-481. I. DOI: <https://dx.doi.org/10.22161/ijaers.911.56>
29. ASTM D1193-06. (2018). Standard Specification for Reagent Water. American Society for Testing and Materials. <https://cdn.standards.iteh.ai/samples/99605/37d074ed08d94150b7100a898490578e/ASTM-D1193-06-2018-.pdf> . Acesso em 03/02/2024.
30. Rodrigues, J.; Silva, T.; Athayde Júnior, G. (2019). Análise Quali - Quantitativa da Água Condensada gerada por aparelhos de Ar - Condicionado. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 7, 160. DOI: <https://doi.org/10.9771/gesta.v7i2.30779>
31. Galindo, R. M. Air Conditioning Condensate: A Potential Water Source and a Creeping Destroyer. Proceedings of International Conference (ICTCBW 2019) at Cebu Technological University, Cebu, Philippines. [https://conf.ejikei.org/ICTCBW/2019/proceedings/materials/proc\\_files/GS\\_papers/camerareadymanuscript\\_GS ICTCBW2019\\_A017.pdf](https://conf.ejikei.org/ICTCBW/2019/proceedings/materials/proc_files/GS_papers/camerareadymanuscript_GS ICTCBW2019_A017.pdf). Acesso em 25/05/2024.
32. Sabnis, A.; Kale, M.; Dhanorkar, M.; Kale, S. (2020). Quality Testing of Air Conditioner Condensate and Its Potential in Water Conservation. *Journal of Water Resource and Protection*, 12, 93-101. DOI: <https://doi.org/10.4236/jwarp.2020.122006>
33. Valentini, C. M. A.; de Lima, S. M.; Zaque, R. A. M.; de Souza, F. S. C.; Albano, P. M. F.; Benevento, G. Pietro. (2019). Água de beber: um olhar sobre a possibilidade do reuso da água de ar-condicionado para fins potáveis. *Biodiversidade*, 18(3). <https://periodicoscientificos.ufmt.br/ojs/index.php/biodiversidade/article/view/9401>. Acesso em: 29/03/2024.
34. Ahmed, H. M.; Calucag, L. S. (2023). Exploring the Outdoor Relative Humidity Correlates of Collected Water Condensation: A Statistical Analysis in the Kingdom of Bahrain Environment. *2023 IEEE 8th International Conference on Engineering Technologies and Applied Sciences (ICETAS)*, 1-5. DOI: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:266402356>
35. AlGhamdi, S. A.; Alromi, D.; Jambi, E.; Alzughaihi, T.; Al-Ansari, A. (2024). Heavy metals and microbial assessment of air conditioning condensate water in Jeddah city-Saudi Arabia: concept of sustainable water resources. *Sustainable Water Resources Management*, 10(4), 139. DOI: <https://doi.org/10.1007/s40899-024-01122-2>
36. Junior, E. B. P.; Sousa, J. F.; Lima, C. J.; Hafle, O. M.; Gomes, D. J.; Oliveira, F. T. (2017). Quantidade e qualidade da água dos aparelhos condicionadores de ar no IFPB Campus Sousa, PB. *Revista de Agroecologia no Semiárido*, 1(1), 1-12. DOI: <http://dx.doi.org/10.35512/ras.v1i1.1634>
37. Siam, L.; Al-Khatib, I. A.; Anayah, F.; Jodeh, S.; Hanbali, G.; Khalaf, B.; Deghles, A. (2019). Developing a Strategy to Recover Condensate Water from Air Conditioners in Palestine. In *Water* (Vol. 11, Issue 8). DOI: <https://doi.org/10.3390/w11081696>
38. Miranzadeh, M. B.; Rabbani, D.; Mostafaii, G. R.; Akbari, H.; Arani, M. H.; Mohebbi, F. (2022). A study on quantitative and qualitative characteristics of water obtained from the air conditioning systems. *Desalination and Water Treatment*. DOI: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:251731010>
39. Algarni, S.; Saleel, C. A.; Mujeeb, M. A. Air-conditioning condensate recovery and applications—Current developments and challenges ahead. *Sustainable Cities and Society*, v. 37, p. 263–274, 2018. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2017.11.032>.
40. Manirathnam, A. S.; Senthil Kumar, K.; Prabhu, R.; Sivashankar, M.; Hariharan, N. (2020). Experimental study of the performance of Al2O3/water nanofluid in condensing unit of air conditioner. In *Materials Today: Proceedings* (Vol. 33, pp. 208–213). Elsevier Ltd. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.04.011>
41. Cidreira-Neto, I. R. G.; Guilherme, B. C.; Rodrigues, G. G.; Candeias, A. L. B. (2022). Qualidade da Água no Estuário do Rio Goiana, Nordeste do Brasil: Subsídios para a Conservação. *Revista Brasileira de Geografia Física*, 15(5), 2340–2353. DOI: <https://doi.org/10.26848/rbgef.v15.5.p2340-2353>
42. Tavares, L. C.; Almeida, I. R.; Dias, É. C.; Teixeira, L. G.; Fernandes, L. L. (2019). Avaliação da qualidade da água de abastecimento do campus saúde da cidade universitária José da Silveira Netto, Belém, Pará. *Brazilian Journal of Development*, 5(8), 11392–11404. DOI: <https://doi.org/10.34117/bjdv5n8-017>
43. Silva, L. C. C. da.; Filho, D. O.; Silva, I. R.; Pinto, A. C. V.; Vaz, P. N. (2019). Water sustainability potential in a university building – Case study. *Sustainable Cities and Society*, 47. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101489>
44. Taylor, C.D.; Tossey, B.M. (2021) High temperature oxidation of corrosion resistant alloys from machine learning. *npj Mater*

- Degrad* v. 5, n. 38, p. 1-10. DOI: <https://doi.org/10.1038/s41529-021-00184-3>
45. Feng, Y.; Li, Y.; Cui, L.; Yan, L.; Zhao, C.; Dong, Y. (2019) Cold condensing scrubbing method for fine particle reduction from saturated flue gas. *Energy*, v. 171, p. 1193-1205. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.01.065>.
46. Adjovu, G.E.; Stephen, H.; James, D.; Ahmad, S. (2023) Measurement of Total Dissolved Solids and Total Suspended Solids in Water Systems: A Review of the Issues, Conventional, and Remote Sensing Techniques. *Remote Sens.*, 15, 3534, p. 1-43. DOI: <https://doi.org/10.3390/rs15143534>
47. Núñez, L.; Reguera, E.; Corvo, F.; González, E.; Vazquez, C. (2005) Corrosion of copper in seawater and its aerosols in a tropical island. *Corrosion Science*, v. 47, n. 2, p. 461-484. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.corsci.2004.05.015>.
48. Scariot, T. N.; Makiyama, M. K.; Orso, K. D. F. Análise dos dados coletados no funcionamento de um Split, com 5 anos de uso em relação em relação aos dados fornecidos pelo manual do fabricante. *Anais de Engenharia Mecânica / ISSN 2594-4649*; v. 5 n. 1 (2020): 2020/2, 23 dez. 2020. <https://uceff.edu.br/anais/index.php/engmec/article/view/393>>. Acesso em: 04/05/2024.
49. Sugimoto, K.; Sawada, Y.; Morioka, S. (1972). Effects of Alloying Elements on the Pitting Corrosion of Aluminum. *Transactions of the Japan Institute of Metals*, v. 13, n. 5, p. 345–351. DOI: <https://doi.org/10.1002/maco.202414453>
50. Uchiyama, S.; Uemura, S.; Hayashi, T.; Kimura, Y.; Seki, S. (2024). Corrosion and degradation behavior of bent aluminum and copper pipes for practical use in air conditioning. *Materials and Corrosion*, v. n/a, n. n/a. DOI: <https://doi.org/10.1002/maco.202414453>
51. Vogel, A. I. *Quantitative Chemical Analysis* 6ª ed. Prentice Hall, 2000.
52. Alom, M. M.; Ahsan, A.; Imteaz, M. A. (2021). Quantity and quality of condensate air conditioner water for potential use in drinking purpose. *Desalination and Water Treatment*, 210, 164-169. DOI: <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:234338731>