

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE
PERNAMBUCO - IFPE CAMPUS CARUARU BACHARELADO EM ENGENHARIA
MECÂNICA**

JOÃO CARLOS DA SILVA SANTOS

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA DO
CONDENSADO PROVENIENTE DOS AR-CONDICIONADOS DO BLOCO
ADMINISTRATIVO DO IFPE-CAMPUS CARUARU.**

Caruaru – PE

2023

JOÃO CARLOS DA SILVA SANTOS

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA DO
CONDENSADO PROVENIENTE DOS ARES-CONDICIONADOS DO BLOCO
ADMINISTRATIVO DO IFPE-CAMPUS CARUARU.**

Atividade apresentada ao Instituto Federal de Pernambuco/*Campus* Caruaru como instrumento parcial para obtenção do grau de Engenheiro Mecânico.

Orientador: Prof. Dr. Marcos César de Lima Cordeiro

Caruaru – PE

2023

S237a

Santos, João Carlos da Silva

Análise de viabilidade do aproveitamento da água do condensado proveniente dos ar-condicionados do bloco administrativo do IFPE - campus Caruaru/ João Carlos da Silva Santos; orientação de Marcos César de Lima Cordeiro. – Caruaru, 2023.

64 f.

Trabalho de Conclusão de Curso – (Graduação em Engenharia Mecânica) Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Departamento de Engenharia Mecânica, Curso de Engenharia Mecânica, 2023.

1. Ar - Condicionado – Refrigeração. 2. Ar - Condicionado – água condensada. 3. Ar-condicionado – Viabilidade Hídrica. 4. Água – classificação. 5. Água – reuso urbano. 6. Água – Reaproveitamento. 7. Psicrometria. 8. Mecanismo de Transferência de Calor. 9. Engenharia Mecânica - IFPE. I. Cordeiro, Marcos César de Lima. II. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco. III. Trabalho de Conclusão de Curso. IV. Título.

CDD: 621.56

CDU: 621.5

JOÃO CARLOS DA SILVA SANTOS

**ANÁLISE DE VIABILIDADE DO APROVEITAMENTO DA ÁGUA DO
CONDENSADO PROVENIENTE DOS AR-CONDICIONADOS DO BLOCO
ADMINISTRATIVO DO IFPE-CAMPUS CARUARU.**

Trabalho de conclusão de Curso apresentado ao Curso de Engenharia Mecânica do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco – Campus Caruaru, como requisito para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Mecânica.

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado e APROVADO em 28 de Dezembro de 2023 pela banca examinadora:

Marcos Cezar Lima Cordeiro
Orientador

Igor Cavalcanti da Silveira
Examinador

Thiago Luis Costa Cavalcanti Novaes
Examinador

Caruaru – PE
2023

AGRADECIMENTOS

A princípio, agradeço a Deus por ser meu consolador nos momentos de aflições pelos quais passei ao longo de todas as etapas deste curso, ao qual sempre encontrei forças meditando nas santas palavras (Bíblia Sagrada).

À minha família, em especial Mãe e Esposa por sempre ficarem ao meu lado e por amor a mim sempre me direcionando com conselhos para nunca desistir.

Agradeço também ao meu Orientador Dr. Marcos César de Lima Cordeiro por depositar em mim a sua confiança e sempre está disposto a ajudar quem o procura.

RESUMO

A água, um recurso natural de inestimável valor e limitado, desempenha um papel vital na existência e sobrevivência da humanidade. Devido às frequentes estiagens ocorridas nos últimos anos em Caruaru, Pernambuco, e ao considerável desperdício de água potável em prédios públicos, causado pela falta de consciência e estudos aprofundados para otimizar o uso da água o estudo busca por abordagens eficazes na gestão de águas residuais, as quais, não necessitando de alta qualidade, podem ser aplicadas em diversas atividades, como a irrigação de plantas, a limpeza de áreas externas, pisos, calçadas, vidros, entre outras utilizações. Por isso, esse trabalho teve como objetivo realizar um estudo aprofundado da média de produção de água condensada nos aparelhos de refrigeração do bloco administrativo do IFPE – Campus Caruaru. À vista disso, foi realizada uma pesquisa bibliográfica e posteriormente cálculos estimativos e captação em diferentes horários in loco da água condensada de dois aparelhos de marcas diferentes, para obter os resultados da pesquisa. Isso se deu com auxílio de dois termo-higrômetros e software Computer Aided Thermodynamic Tables 3, que por meio deles e equações matemáticas conseguimos saber a média possível de litros de água que pode ser produzido e uma hora de funcionamento dos ares-condicionados. Através desses resultados, foi possível fazer uma discussão entre este trabalho e duas pesquisas que durante o seu desenvolvimento houveram uma grande discrepância entre a quantidade de água teórica e coletada, dando acima de 20% de diferença. Diante desse cenário, foi possível inferir que as duas pesquisas levam em consideração que o fluxo de ar sai do evaporador com 100% de Umidade Relativa, fato que não condiz com a realidade. Como evidenciado neste trabalho, o sensor de saída do evaporador mostrou o fluxo de ar com umidade relativa abaixo de 100%, confirmando o que alega o estudo da psicrometria. Logo, esse trabalho trouxe uma diferença da quantidade de volume estipulado e coletada próxima de 10%, haja visto, que usou os dados do termo-higrômetro, assim podendo justificar a diferença motivada pela falta de precisão dos termo-higrômetros. Continuando, foi estimado uma média de volume que pode ser produzido pelos 17 aparelhos de ar-condicionado no bloco administrativo, caso sejam ligados durante o expediente, totalizando mais de 16 metros cúbicos de água por mês. Esse volume representa aproximadamente 20% do consumo mensal do IFPE - Campus Caruaru. É essencial considerar não apenas o aspecto econômico, mas

também associá-lo aos benefícios ambientais ao avaliar a viabilidade deste projeto, pois esse é o princípio fundamental que norteia sua concepção.

Palavras-chave: Reaproveitamento. Água. Ar-Condicionado. Viabilidade Hídrica.

ABSTRACT

Water, a natural resource of inestimable value and limited, plays a vital role in the existence and survival of humanity. Due to the frequent droughts that have occurred in recent years in Caruaru, Pernambuco, and the considerable waste of drinking water in public buildings, caused by a lack of awareness and in-depth studies to optimize the use of water, the study searches for effective approaches in wastewater management, which, without requiring high quality, can be applied to various activities, such as watering plants, cleaning external areas, floors, sidewalks, glass, among other uses. Therefore, this work aimed to carry out an in-depth study of the average production of condensed water in the refrigeration devices of the IFPE administrative block – Campus Caruaru. In view of this, a bibliographical research was carried out and subsequently estimated calculations and capture at different times on site of condensed water from two devices of different brands, to obtain the research results. This was done with the help of two thermo-hygrometers and Computer Aided Thermodynamic Tables 3 software, which through them and mathematical equations we were able to know the possible average number of liters of water that can be produced and one hour of air conditioning operation. Through these results, it was possible to discuss this work and two studies that during their development there was a large discrepancy between the amount of theoretical and collected water, giving a difference of over 20%. Given this scenario, it was possible to infer that both studies take into account that the air flow leaves the evaporator with 100% Relative Humidity, a fact that does not match reality. As evidenced in this work, the evaporator outlet sensor showed air flow with relative humidity below 100%, confirming what the psychrometric study claims. Therefore, this work brought a difference in the amount of volume stipulated and collected close to 10%, as it used data from thermo-hygrometers, thus being able to justify the difference caused by the lack of precision of thermo-hygrometers. Continuing, it was possible to estimate an average volume that can be produced by the 17 air conditioning units in the administrative block, if they are turned on during working hours, totaling more than 16 cubic meters of water per month. This volume represents approximately 20% of the monthly consumption of IFPE - Campus Caruaru. It is essential to consider not only the economic aspect, but also associate it with environmental benefits when evaluating the viability of this project, as this is the fundamental principle that guides its conception.

Keywords: Reuse. Water. Air conditioning. Water Viability.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Bacias hidrográficas brasileiras.....	14
Figura 2 - Retirada de água no Brasil.....	15
Figura 3 - Principais aplicações de acordo com as classes.	19
Figura 4 - Parâmetros para Classe 1	21
Figura 5 - Parâmetros para Classe 2.	21
Figura 6 - Parâmetros para Classe 3.	22
Figura 7 - Parâmetros para Classe 4.	22
Figura 8 - Diagrama Psicrométrico de Carrier.	29
Figura 9 - Princípio de funcionamento do ar-condicionado.	30
Figura 10 - Tipos de Aparelhos de Ares-Condicionados.....	31
Figura 11 - Localização do bloco A, IFPE - Campus Caruaru.	35
Figura 12 - Coletor de cada dreno.....	38
Figura 13 - Becker de Vidro.....	38
Figura 14 - Coleta de Dados.	39
Figura 15 - Termo-Higrômetro.	41
Figura 16 - Ponto de Coleta A e B.....	42
Figura 17 - Instalação dos Termo-Higrômetros no evaporador.....	42
Figura 18 - Dados obtidos no Ponto de Coleta 2.....	44
Figura 19 - Propriedades psicrométrica.	45
Figura 20 - Volume Teórico x Volume Coletado.....	46
Figura 21 - Dados obtidos do Ponto de Coleta B.	46
Figura 22 - Propriedades psicrométrica.	47
Figura 23 - Volume Teórico x Volume Coletado.....	48
Figura 24 - Informações dos artigos de RIGOTTI, 2014 e MARQUES, 2022.	49
Figura 25 - Volume estipulado x coletado.	50
Figura 26 - Margem de Erro (%).	50
Figura 27 - Propriedades para o caso ilustrados.	53
Figura 28 - Aplicação da consideração de Rigotti e Marques no Ponto 1.	53
Figura 29 - Margem de erro quando aplicada as considerações de Rigotti e Marques no Ponto 1.....	54
Figura 30 - Total de água condensada em um dia de funcionamento dos aparelhos.	55
Figura 31 - Resultados da análise físico-química do trabalho Cunha et. all. (2014)..	56
Figura 32 - Resultados físico-químicos, Tenorio (2019).	57
Figura 33 - Propriedades da Água Saturada.....	66

LISTA DE TABELA

Tabela 1 - Quantitativos obtido pela bibliografia.....	32
Tabela 2 - Quantidades de aparelhos no Bloco A.....	36

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
1.1 Considerações Iniciais.....	14
1.2 Justificativa.....	16
1.3 Objetivo Geral.....	16
1.4 Objetivos Específicos	16
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	18
2.1 Classificação das Águas	18
2.2 Tipos de Reuso das Águas no Brasil	19
Reuso potável.....	20
Reuso Urbano Para Fins Não Potáveis	20
Padrão da Qualidade Da Água de Reuso	21
2.3.1 Conceitos e Propriedades da Termodinâmica.....	23
2.3.1.1 Conceitos Termodinâmicos.....	23
2.3.1.2 Propriedades Termodinâmicas	24
2.3.2.2 Mecanismos de Transferência de Calor	25
2.3.3 Psicometria	26
2.3.3.1 Propriedades Importantes do Ar Úmido.....	27
2.3.3.2 Processos Psicrométricos	28
2.4 Ar-Condicionado	29
2.4.1 Definição de Ar-Condicionado	29
2.4.3 Tipos de Aparelhos de Ares-Condicionados	31
2.4.4 Água Condensada no Evaporador do Ar-Condicionado.....	32
2.4.4.1 Qualidade de Água Condensada do Ar-Condicionado	32
2.5 Sensor Térmico	33
2.5.1 Termo-Higrômetro	33
3 METODOLOGIA	34
3.1 Método de Pesquisa.....	34
3.2 Unidade Administrativa - Bloco A.....	34
3.3 Contagem dos Aparelhos de Ar-Condicionado	36
3.4 Definição dos Pontos de Coletas.....	37
3.5 Formulas Utilizadas.....	39
3.6 Procedimentos Para Coletas de Dados.....	40
4 RESULTADOS	44
4.1 Ponto de Coleta A.....	44

4.2 Ponto de Coleta B	46
4.3 Discussões	48
4.3.1 Análise Comparativa	48
4.3.2 Discussão Comparativa.....	49
4.4 Viabilidade Hídrica em Coletar Água	55
4.4.1 Qualidade da Água	56
4.4.2 Sugestão de Captação.....	58
4.4.3 Viabilidade Financeira.....	58
5 CONCLUSÃO	60
REFERENCIAS.....	62
ANEXOS	66

1 INTRODUÇÃO

1.1 Considerações Iniciais

Embora a hidrosfera do planeta seja composta por vastas massas de água, é possível destacar que apenas 2,6% dessa água é doce. No entanto, a esmagadora maioria desta água doce (99,7%) é inacessível, pois existem como calotas polares (76,4%) ou como parte de aquíferos subterrâneos (22,8%). Apenas uma pequena fração (aproximadamente 0,3%) do total de água doce estão prontamente disponível como água de superfície na forma de áreas inundadas, como rios, represas e lagos (VENÂNCIO et al., 2015).

A distribuição desigual dos recursos hídricos representa um desafio significativo para a população. Um exemplo disso, pois várias de suas regiões sofrem com a escassez de água, apesar de ser um dos países com maior disponibilidade hídrica do mundo. Essa questão decorre da má distribuição territorial da água. No Brasil, a região amazônica detém 74% da água doce do país, mas abriga apenas 5% da população, Figura 1. Por outro lado, regiões densamente povoadas como o Nordeste apresentam uma distribuição inadequada dos recursos hídricos (FORGHIERI, 2021).

Figura 1 - Bacias hidrográficas brasileiras.

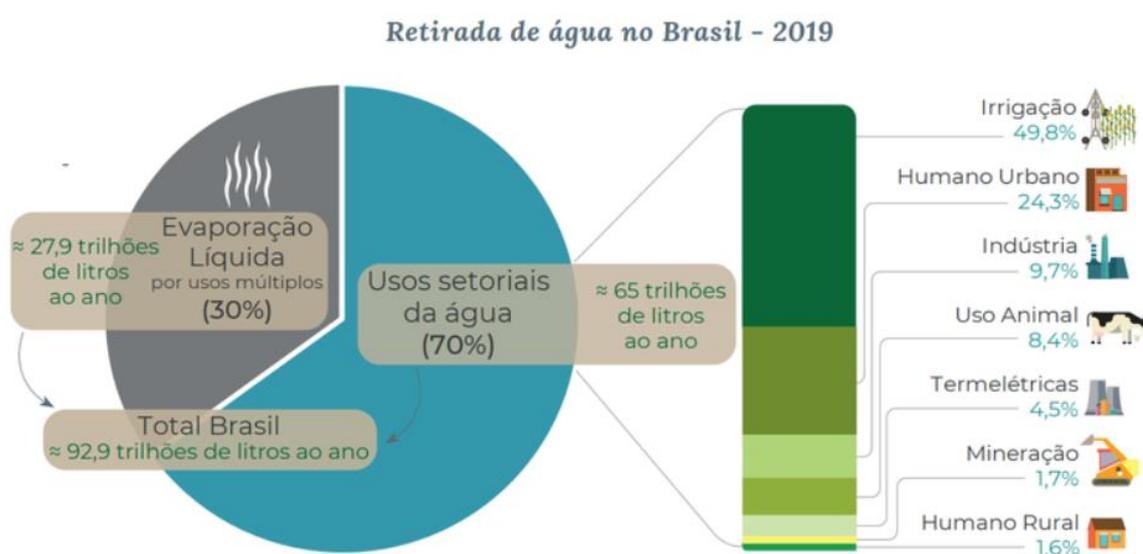
Região	Densidade Demográfica (hab/km ²)	Concentração dos Recursos Hídricos do País.
Norte	4,12	68,50%
Nordeste	34,15	3,30%
Centro-Oeste	8,75	15,70%
Sudeste	8692,00%	6%
Sul	48,58	6,50%

Fonte: IBGE/ Agência Nacional das Águas (2010).

No território brasileiro, a água é empregada primordialmente na irrigação de plantações, fornecimento público, atividades industriais, produção de energia,

extração de minerais, criação de animais aquáticos, navegação, turismo e recreação, como pode ser observado na Figura 2. A cada ano, cerca de 93 trilhões de litros de água são extraídos de fontes superficiais e subterrâneas para suprir uma variedade de usos e consumidores, abrangendo diferentes setores. A evaporação, irrigação, geração de energia termoelétrica e algumas indústrias apresentam variações sazonais acentuadas, resultando em flutuações significativas no consumo de água ao longo dos meses dentro do mesmo ano (ANA, 2019).

Figura 2 - Retirada de água no Brasil.



Fonte: Ana, 2019.

Barros (2005), menciona que a água doce é crucial para qualquer ecossistema, pois é um recurso fundamental para sustentar a vida humana, sustentar a vida animal e vegetal e garantir a sobrevivência de todos os seres vivos. Sem ela, nenhuma forma de vida seria capaz de prosperar. No entanto, o uso descontrolado da água, a poluição por diversos contaminantes e a ausência de chuva em várias regiões do Brasil e do mundo têm causado escassez de água doce, tornando urgente a implementação de práticas racionais e sustentáveis no seu uso.

Com base nisso, é essencial explorar estratégias para reutilizar essa água de forma estratégica, promovendo uma mudança nos hábitos de toda a sociedade para um uso econômico desse recurso natural. O objetivo é reduzir a demanda por fontes de água adicionais, preservando assim o meio ambiente e garantindo a sustentabilidade a longo prazo.

1.2 Justificativa

Devido às frequentes estiagens ocorridas nos últimos anos em Caruaru, Pernambuco, e ao considerável desperdício de água potável em prédios públicos, causado pela falta de consciência e estudos aprofundados para otimizar o uso da água, torna-se imperativo conduzir uma pesquisa sobre a quantidade de água formada nos condensadores de ar condicionado. Propõe-se uma análise comparativa entre os valores teóricos e os quantitativos coletados, estendendo-se essa comparação a outros estudos para compreender e alcançar conclusões substanciais acerca do uso responsável da água condensada, resultante do funcionamento dos sistemas de ar-condicionado. Esse processo será orientado por técnicas e tecnologias que viabilizem o reuso sustentável dessa água de maneira ecologicamente correta.

Os sistemas de condicionamento de ar desempenham um papel interessante na redução da temperatura em ambientes internos, especialmente em áreas como repartições públicas, onde grande número de pessoas se concentra. Com a utilização desses dispositivos, a umidade presente no ar é condensada e expelida para o ambiente externo. Ao analisar as propriedades qualitativas e quantitativas dessa água, ela pode ser destinada a usos mais produtivos, como irrigação de espaços verdes, paisagísticos e descarga de vasos sanitários. Esse trabalho ajuda a garantir a sustentabilidade, ao mesmo tempo em que reduz a demanda por água potável para fins não essenciais.

1.3 Objetivo Geral

Desenvolver um estudo teórico-experimental sobre o volume condensado dos aparelhos de resfriamento de ar do bloco administrativo do IFPE – Campus Caruaru.

1.4 Objetivos Específicos

- Classificação das águas e tipos de utilização;
- Compreender os sistemas de refrigeração por compressão de vapor;
- Analisar a psicometria do ar e sua influência no sistema de compressão;
- Quantificar o volume de água formado por aparelho de ar-condicionado;

- Coletar o volume de água formado no local de funcionamento dos aparelho de ar-condicionado;
- Comparar os métodos usados nesse trabalho com outros autores e lançar conclusões sobre os estudos;
- Estimar quantidade de água gerada no bloco administrativo do Campus Caruaru e economia gerada através do reuso da água.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Classificação das Águas

Os níveis máximos de impurezas permitidos na água são determinados com base em suas aplicações. Esses níveis representam os critérios de qualidade, os quais são estipulados por entidades públicas, com o propósito de assegurar que a água utilizada para um determinado fim não contenha impurezas que possam prejudicá-lo. Os critérios de qualidade da água variam de acordo com cada tipo de uso. Portanto, os padrões de potabilidade (água destinada ao consumo humano) são distintos dos critérios de balneabilidade (água utilizada para recreação com contato direto) (SABBATINI, 2015).

No Brasil, a Resolução nº 357 do Conselho Nacional do Meio Ambiente, datada de 17 de março de 2005, definiu a categorização das águas. Essa resolução estabeleceu a classificação das águas doces (salinidade igual ou inferior a 0,5%), salobras (salinidade superior a 0,5% e inferior a 30%) e salinas (salinidade superior a 30%), que é fundamental para a proteção de seus níveis de qualidade, avaliados com base em condições e padrões específicos, a fim de garantir suas principais aplicações. As águas doces foram classificadas em classe especial e classes de 1 a 4. A Figura 3, demonstra as principais aplicações de acordo com as classes.

Figura 3 - Principais aplicações de acordo com as classes.

Uso preponderante de água	Classificação				
	Classe Especial	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4
Abastecimento doméstico, sem prévia ou com simples desinfecção	X				
Abastecimento doméstico, após tratamento simplificado		X			
Abastecimento doméstico, após tratamento convencional			X	X	
Preservação do equilíbrio natural das comunidades aquáticas	X				
Proteção das comunidades aquáticas		X	X		
Recreação de contato primário (natação, esqui aquático e mergulho)		X	X		
Irrigação de hortaliças que são consumidas cruas e de frutas que se desenvolvem rentes ao solo e que sejam ingeridas cruas sem remoção de película		X			
Irrigação de hortaliças e plantas frutíferas			X		
Irrigação de culturas arbóreas, cerealíferas e forrageiras				X	
Criação natural e/ou intensiva (aquicultura) de espécies destinadas à alimentação humana		X	X		
Dessedentação de animais				X	
Navegação					X
Harmonia paisagística					X
Usos menos exigentes					X

Fonte: SABBATINI, 2015.

2.2 Tipos de Reuso das Águas no Brasil

A Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental (ABES), adotou a classificação do reuso de água em duas categorias: potável e não potável, sendo que

ambos podem ser diretos ou indiretos e destinados a diversos fins. Essa classificação foi apresentada nos “Cadernos de Engenharia Sanitária e Ambiental” do ano de 1992.

Reuso potável

Nesse sentido, Rezende (2016), define a água de reuso em duas categorias:

- **Direta**

Refere-se ao processo em que as águas residuais tratadas por meio de métodos avançados são diretamente reaproveitadas no sistema de abastecimento de água potável.

- **Indireta**

Consiste no tratamento das águas residuais, que são descarregadas em corpos d'água superficiais ou subterrâneos para diluição, purificação natural e posterior captação. Essas águas são tratadas e, por fim, utilizadas como água potável.

Segundo pela mesma classificação da ABES, a Agência Nacional das Águas e Saneamento Básico (ANA) editou uma resolução nº. 54, de 28 de Novembro de 2005, estabelece modalidades de reuso direto não potável, que refere-se à utilização planejada de água reaproveitada, que é conduzida diretamente ao local de uso, sem ser lançada ou diluída previamente em corpos d'água superficiais ou subterrâneos.

Segundo ANA, na resolução nº. 54, de 28 de Novembro de 2005, essa modalidade pode ter diversos fins:

- Reutilização urbana
- Reutilização agrícola e florestal
- Reutilização ambiental
- Reutilização industrial
- Reutilização na aquicultura

Reuso Urbano Para Fins Não Potáveis

Neste trabalho, as aplicações de reuso em ambientes urbanos que não exigem água potável, abrangendo uma ampla variedade de usos. Assim, a prática de reutilização contribuiria de forma significativa para reduzir a pressão sobre os

mananciais e aliviar o tratamento de água destinada ao consumo humano. Podendo então, abranger o reuso de acordo como já mostrado na Figura 3.

Padrão da Qualidade Da Água de Reuso

O Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), editou resolução de nº 357, de 17 de Março de 2005, determinando a qualidade das quatro classes de água de reuso não potável, essas classes possuem ligação com a Figura 3, sendo:

Classe 1 - Tarefas como limpeza de vestuário, pavimentos, automóveis, esvaziamento de vasos sanitários e outros similares (fontes, espelhos d'água, entre outros).

Figura 4 - Parâmetros para Classe 1

Parâmetros	Concentração
Coliformes fecais	Não detectáveis
pH	Entre 6,0 e 9,0
Cor (UH)	≤ 10 UH
Turbidez (UT)	≤ 2 UT
Odor e Aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1 mg/L
DBO (mg/L)	≤ 10 mg/L
Compostos orgânicos voláteis ³	Ausentes
Nitrato (mg/L)	< 10 mg/L
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	≤ 20 mg/L
Nitrito (mg/L)	≤ 1 mg/L
Fósforo total ⁴ (mg/L)	≤ 0,1 mg/L
Sólido suspenso total (SST) (mg/L)	≤ 5 mg/L
Sólido dissolvido total ⁵ (SDT) (mg/L)	≤ 500 mg/L

Fonte: CONAMA, 2015.

Classe 2 - Tarefas direcionadas à edificação como higienização de materiais, preparo de argamassa, compactação do terreno e gerenciamento de partículas em suspensão.

Figura 5 - Parâmetros para Classe 2.

Parâmetros	Concentração
Coliformes fecais	≤ 1000/ml
pH	Entre 6,0 e 9,0
Odor e Aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	≤ 1 mg/L
DBO (mg/L)	≤ 30 mg/L
Compostos orgânicos voláteis ³	Ausentes
Sólido suspenso total (SST) (mg/L)	30 mg/L

Fonte: CONAMA, 2005.

Classe 3 - Tarefas relacionadas à umedecimento de espaços naturais e irrigação de áreas ajardinadas, nas quais os critérios de excelência definidos levam em conta substâncias biológicas e químicas que possam causar impactos na saúde humana e no ecossistema.

Figura 6 - Parâmetros para Classe 3.

Parâmetros	Concentrações	
Para irrigação com aspersores	Sódio (SAR)	> ou = 3,0
	Cloretos (mg/L)	< 100 mg/L
	Cloro residual (mg/L)	< 1,0 mg/L
Boro (mg/L)	Irrigação de culturas alimentícias	0,7 mg/L
	Regas de jardim e similares	3,0 mg/L
Nitrogênio total (mg/L) 5 - 30 mg/L		5 - 30 mg/L
DBO (mg/L) < 20 mg/L		< 20 mg/L
Sólidos suspensos totais (mg/L) < 20 mg/L		< 20 mg/L
Turbidez (UT) < 5 UT		< 5 UT
Cor aparente (UH) < 30 UH		< 30 UH
Coliformes fecais (mL) ≤ 200/ 100 L		≤ 200/ 100mL

Fonte: CONAMA, 2005.

Classe 4 - Tarefas direcionadas à reutilização de água em sistemas de refrigeração.

Figura 7 - Parâmetros para Classe 4.

Parâmetros	Sem Circulação	Com Circulação
Sílica	50	50
Alumínio	SR	0,1
Ferro		0,5
Manganês		0,5
Amônia		1
Sólidos Dissolvidos Totais	1000	500
Cloretos	600	500
Dureza	850	650
Alcalinidade	500	350
Sólidos em Suspensão Totais	5000	1000
pH	5,5-8,3	6,8-7,2

Fonte: CONAMA, 2005.

2.3 Fundamentos da Climatização

A refrigeração e o ar condicionado são baseados na utilização direta de componentes que operam com base em princípios físicos, os quais foram desenvolvidos por meio do conhecimento e aplicação da Termodinâmica e Transferência de Calor. Essas disciplinas são definidas como o campo do conhecimento que estuda as relações entre calor e trabalho, bem como suas aplicações no desenvolvimento de máquinas térmicas (ÇENGEL, 2013).

Por outro lado, a Transferência de Calor explora os diferentes mecanismos de troca de calor. Foi graças a esses conhecimentos que foram estabelecidos os fundamentos para a invenção da máquina a vapor, dos motores automotivos e dos sistemas de refrigeração. Assim, a Termodinâmica e a Transferência de Calor evoluíram a partir de uma série de conceitos, os quais foram fundamentados em observações do mundo físico e nas leis essenciais para a resolução de problemas e o projeto de sistemas. Um dos marcos mais significativos na engenharia foi o desenvolvimento de modelos matemáticos dos fenômenos físicos, que, mesmo com algumas simplificações, oferecem descrições precisas o suficiente (SHAPIRO, 2014).

2.3.1 Conceitos e Propriedades da Termodinâmica

2.3.1.1 Conceitos Termodinâmicos

O conceito fundamental da termodinâmica, segundo Shapiro (2014):

- **Energia:**

Compreende-se energia como um elemento capaz de ocasionar modificações na natureza. Essas modificações podem ocorrer de várias maneiras, tais como: energia calorífica (calor), energia cinética, energia química, energia elétrica, entre outras. É possível converter de uma dessas formas para outra. Por exemplo, a energia química presente em uma bateria recarregável transforma-se em energia elétrica que percorre um circuito e produz luz (energia luminosa ou térmica) ou movimentam um motor (energia mecânica). Apesar de ser viável converter energia de uma forma para outra, em um sistema isolado, ela não pode ser criada nem destruída. Trata-se da

primeira lei da termodinâmica, também conhecida como o princípio da conservação de energia.

Nesta abordagem, abordaremos exclusivamente as conversões de energia cinética (por meio do trabalho) e energia térmica (por meio do calor), que são frequentemente empregadas no sistema de climatização.

- **Calor:**

O calor corresponde a uma modalidade de energia que se transfere de um corpo para outro em razão das disparidades de temperatura. No processo de aquecimento da água em um fogão, por exemplo, observa-se a transmissão de energia térmica da chama (de alta temperatura) para o corpo (de baixa temperatura).

O fluxo de calor sempre se dá da fonte de alta temperatura para a fonte de baixa temperatura. Logo, se encaixa perfeitamente a formulação de Clausius da segunda lei da termodinâmica, que é impossível que o calor flua espontaneamente de um objeto de menor temperatura para um objeto de maior temperatura, sem a necessidade de uma fonte externa de energia.

- **Trabalho:**

O trabalho representa uma forma de energia mecânica apta a induzir o deslocamento de um corpo. Na área de refrigeração, o processo de compressão destaca-se como um exemplo básico da aplicação desse conceito. Dentro do compressor, um pistão exerce trabalho sobre um volume específico de fluido refrigerante, comprimindo-o. O movimento do pistão ocorre em virtude da energia mecânica fornecida pelo eixo do compressor, alimentado pela rede elétrica.

2.3.1.2 Propriedades Termodinâmicas

Segundo Çengel (2013), as propriedades termodinâmicas são atributos que uma substância possui. Frequentemente, essas propriedades são listadas em tabelas para um estado específico da substância. Na literatura técnica, há várias tabelas disponíveis com as propriedades termodinâmicas relevantes para cada substância, onde, grande parte dos sistemas de aquecimento ou resfriamento trabalha com substâncias que passam por mudanças de fase, da fase líquida para a fase de vapor e vice-versa, ao longo de um ciclo completo. As substâncias mais frequentemente utilizadas são a água e os refrigerantes. Entre essas substâncias, as propriedades mais relevantes são as pressões, temperaturas e entalpias.

- **Temperatura:**

A temperatura de uma substância revela seu estado térmico e sua capacidade de intercâmbio energético com outra substância em contato térmico. Nesse contexto, uma substância com temperatura superior pode transferir calor para outra com temperatura inferior.

- **Pressão:**

É a pressão resultante dividida pela área da superfície onde a força é aplicada. A pressão em relação à pressão atmosférica é chamada de pressão manométrica. Caso contrário, tem-se a pressão absoluta, medida em relação ao vácuo absoluto.

- **Entalpia:**

A entalpia representa a energia interna contida nas moléculas de uma substância. Portanto, se ocorrer uma alteração na entalpia de uma substância durante um processo a pressão constante e sem a realização de trabalho sobre ela, podemos afirmar que o calor adicionado ou removido por unidade de massa é igual à variação de entalpia.

2.3.2.2 Mecanismos de Transferência de Calor

Segundo Shapiro (2014), a análise de transferência de calor é realizada por meio das equações de conservação de massa e energia, da segunda lei da termodinâmica e de três leis fenomenológicas que descrevem as taxas de transferência de energia nos processos de condução, convecção e radiação. As leis fenomenológicas correspondem às formulações matemáticas dos modelos que explicam os fenômenos envolvidos na transferência de calor.

Nessa mesma perspectiva, Shapiro (2014), diz que para haver transferência de calor tem que ser por um desses processos:

- **Condução**
- **Convecção**
- **Radiação**

2.3.3 Psicometria

No contexto de sistemas de refrigeração e ar-condicionado, é de fundamental importância realizar estudos sobre a mistura entre ar seco e vapor d'água. Isso se deve ao fato de que, quando o ar quente e úmido entra em contato com uma superfície fria em tais sistemas, ocorre uma diminuição na temperatura. À medida que a temperatura do ar é reduzida, sua capacidade de retenção de umidade também diminui, resultando na condensação do vapor de água presente no ar.

Para Martinelli (2003) define a psicometria da seguinte forma:

A Psicometria é definida como "o ramo da física relacionado com a medida ou determinação das condições do ar atmosférico, particularmente com respeito à mistura ar seco - vapor d'água", ou ainda, "aquela parte da ciência que está de certa forma intimamente preocupada com as propriedades termodinâmicas do ar úmido, dando atenção especial às necessidades ambientais, humanas e tecnológicas".

Segundo com Martinelli (2003), o conhecimento das condições de umidade e temperatura do ar possui uma importância significativa. Além do conforto térmico, que depende mais da quantidade de vapor presente no ar do que da temperatura em si, isso também é relevante em diversos outros setores da atividade humana. Por exemplo, a conservação de produtos como frutas, hortaliças, ovos e carnes em câmaras frigoríficas depende da manutenção adequada da umidade relativa no ambiente.

Definições importantes, segundo Martinelli (2003):

- **Ar:**

A atmosfera contém uma mistura de gases, incluindo o vapor d'água, bem como uma mistura de contaminantes (como fumaça, poeira e outros poluentes gasosos ou não), geralmente presentes em locais distantes de fontes poluidoras.

- **Ar seco:**

Por definição, ar seco é a mistura dos gases atmosféricos, excluindo o vapor d'água. Ou seja, é quando todo o vapor d'água e contaminantes são removidos do ar atmosférico. A mistura de ar seco com vapor d'água é conhecida como ar úmido ou

mistura binária de ar seco e vapor d'água. A quantidade de vapor d'água presente nessa mistura pode variar de zero a um valor correspondente à condição de saturação. Isso representa a quantidade máxima de vapor d'água que o ar pode conter em uma determinada temperatura.

- **Ar Saturado:**

É uma mistura de ar seco e vapor d'água que está na condição de saturação.

- **Ar Não Saturado:**

É uma mistura de ar seco e vapor d'água que está superaquecida, ou seja, não atingiu a condição de saturação.

2.3.3.1 Propriedades Importantes do Ar Úmido

Existem várias propriedades termodinâmicas fundamentais que estão associadas de diferentes maneiras com as características do ar úmido. De acordo com Van Wylen (2013):

Três propriedades estão relacionadas à temperatura:

- Temperatura de bulbo seco (T_{bs});
- Temperatura termodinâmica de bulbo úmido (T_{bu});
- Temperatura de ponto de orvalho (T_o);

Algumas propriedades termodinâmicas caracterizam a quantidade de vapor de água presente no ar úmido:

- Razão de umidade (X);
- Umidade relativa (U_r);
- Umidade absoluta (U_{abs});

Outras propriedades de extrema importância, relacionadas ao volume ocupado pelo ar e à energia do ar, respectivamente, são:

- Volume específico (V_e);
- Entalpia (h);

2.3.3.2 Processos Psicrométricos

Existem 6 processos psicrométricos, a saber:

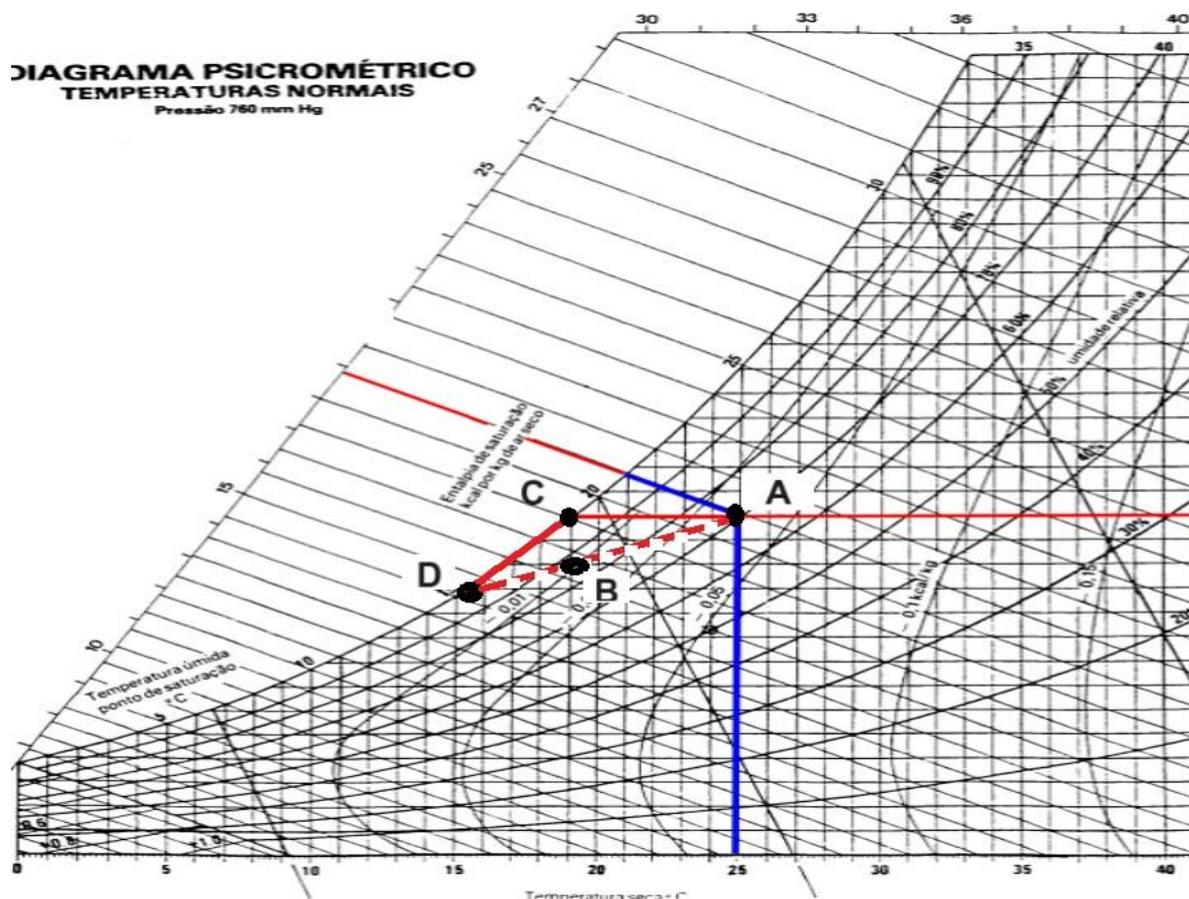
- Aquecimento e Umidificação;
- Aquecimento Seco;
- Mistura Adiabática de duas quantidades de Ar Úmido;
- Resfriamento Seco;
- Resfriamento com Desumidificação;
- Resfriamento e Umidificação;

Todos os processos são importantes, mas o que interessa para esse trabalho é o processo de Resfriamento com Desumidificação que será abordado. À vista disso, Van Wylen (2013) fala o seguinte:

Durante o processo de resfriamento do ar, quando a curva de umidade relativa máxima é alcançada, ocorre o ponto de orvalho. Ao resfriar o ar, seu estado se desloca ao longo da linha de saturação, resultando na condensação de parte do vapor d'água presente. Consequentemente, a razão de umidade diminui.

Suponha que apenas uma parte do ar entre em contato com a serpentina (superfície fria) e siga a trajetória ACD conforme ilustrado na figura 8, adquirindo a temperatura média da serpentina. Nessa região CD, ocorre a desumidificação. Por outro lado, a porção restante do ar, seguindo um raciocínio simplificado, não entra em contato com a serpentina e, portanto, não sofre nenhuma alteração. Na saída da serpentina, temos uma mistura do ar nas condições D e do ar nas condições A, representada pelo ponto B.

Figura 8 - Diagrama Psicrométrico de Carrier.



Fonte: Adaptado, Van Wylen (2013).

2.4 Ar-Condicionado

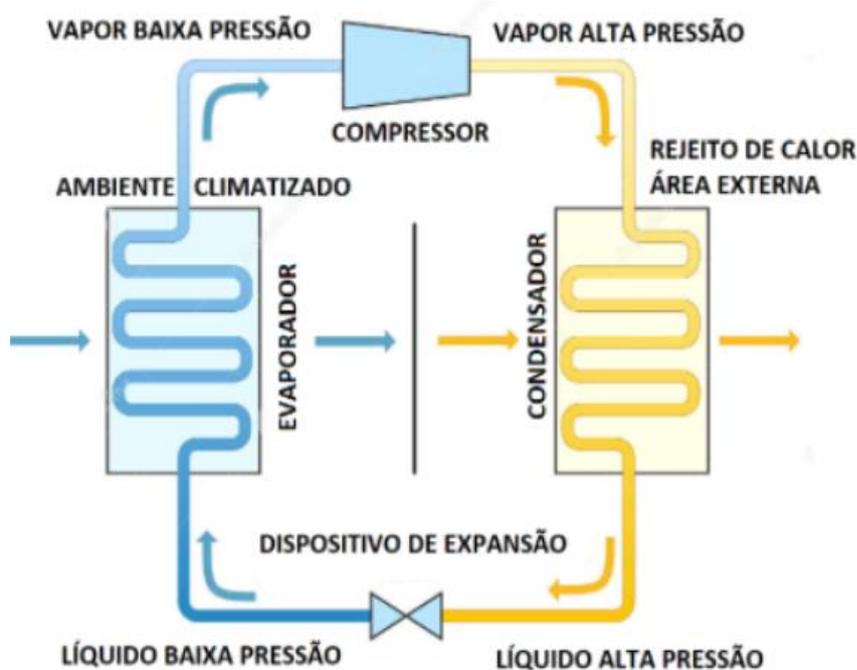
2.4.1 Definição de Ar-Condicionado

O ar-condicionado é um sistema ou aparelho projetado para controlar a temperatura, umidade, circulação e qualidade do ar em ambientes fechados, proporcionando conforto térmico e melhorando a qualidade do ar interior (ASHRAE, 2005). Ele é amplamente utilizado em residências, escritórios, indústrias, veículos e espaços comerciais para criar condições ideais de conforto e bem-estar.

O funcionamento básico de um sistema de compressão de vapor, envolve a remoção do calor do ambiente interno e a transferência desse calor para o ambiente externo. Para isso, utiliza-se um refrigerante, que é um fluido que absorve e libera calor ao mudar de estado físico em um ciclo contínuo.

De acordo com SMACNA (2021), a maioria significativa dos dispositivos de resfriamento, como um chiller de última geração, um sistema de ar-condicionado unitário ou até mesmo uma geladeira, operam com base no mesmo princípio fundamental de refrigeração, veja Figura 9.

Figura 9 - Princípio de funcionamento do ar-condicionado.



Fonte: SMACNA, (2021).

A Figura 9 representa os componentes principais de um sistema de ar-condicionado, que incluem:

- **Compressor:**

Responsável por comprimir o vapor em baixa pressão e baixa temperatura, aumentando sua pressão e formando vapor quente.

- **Condensador:**

Localizado na parte externa do sistema, o condensador é o responsável em dispersar o calor absorvido do ambiente refrigerado. O refrigerante passa por uma mudança de estado, de gás para líquido, preservando a mesma pressão.

- **Válvula de expansão:**

O processo consiste em converter um fluido líquido de alta pressão e temperatura em um estado de baixa pressão e temperatura, mantendo-o predominantemente no estado líquido, com uma pequena proporção de vapor.

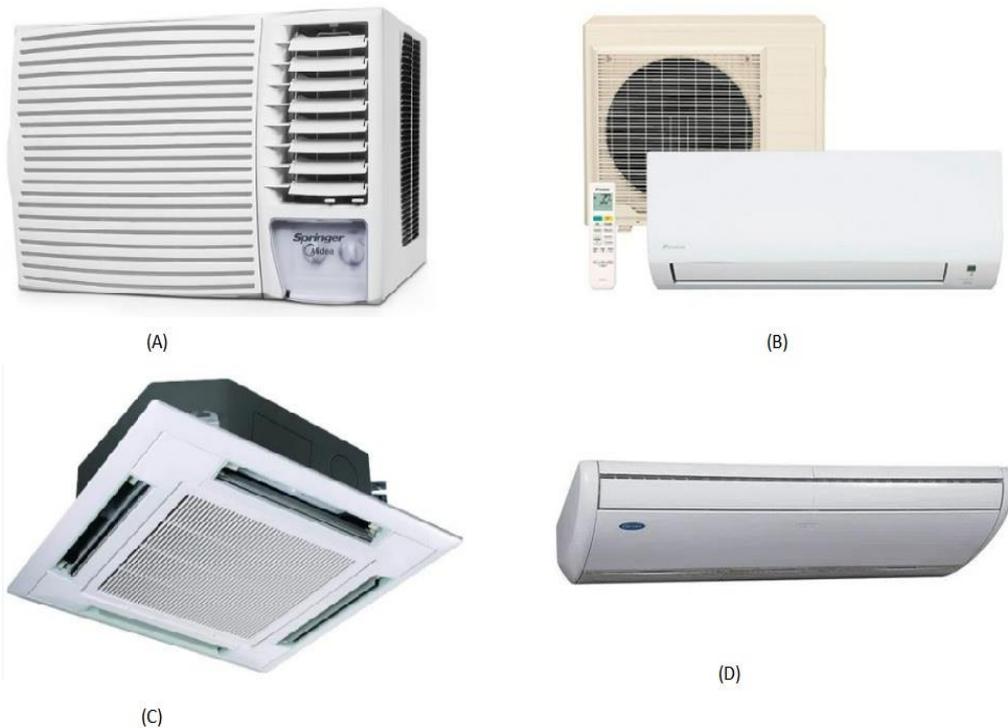
- **Evaporador:**

Localizado na parte interna do sistema, o evaporador é responsável por absorver o calor do ambiente interno. O refrigerante líquido entra no evaporador, onde evapora e absorve calor do ar circundante.

2.4.3 Tipos de Aparelhos de Ares-Condicionados

- Ar-Condicionado tipo Janela
- Ar-Condicionado Split Hi-Wall
- Ar-Condicionado Cassete
- Ar-Condicionado Piso-Teto

Figura 10 - Tipos de Aparelhos de Ares-Condicionados.
Legenda: (A) Janela; (B) Split Hi-Wall; (C) Cassete; (D) Piso-Teto



Fonte: Carrier (2023).

Como fonte de estudo desse trabalho, será utilizado o ar-condicionado Split Hi-Wall, Figura 10 b, pois o bloco administrativo do IFPE - *Campus* Caruaru, é composto por todos desse modelo.

2.4.4 Água Condensada no Evaporador do Ar-Condicionado

Durante o funcionamento do sistema para proporcionar conforto térmico, ele é capaz de remover a umidade do ambiente em que está instalado por meio de um processo chamado condensação, no qual o vapor de água contido no ar ambiente. Isso ocorre devido ao processo psicrométrico de Refrigeração e Desumidificação, explanado na seção 2.3.3.2.

Uma parcela significativa da água condensada gerada pelo ar-condicionado muitas vezes não é descartada adequadamente durante a instalação, resultando em seu escoamento para calçadas e ruas. Diante disso, é essencial buscar estratégias para o reaproveitamento desse recurso hídrico, promovendo uma mudança de hábitos em toda a sociedade para um uso mais consciente e econômico, visando reduzir a demanda por fontes de água potável.

2.4.4.1 Qualidade de Água Condensada do Ar-Condicionado

Diversas pesquisas evidenciam a viabilidade de empregar a água condensada proveniente de sistemas de ar-condicionado para realizar atividades como limpeza de pisos, veículos, irrigação de jardim e acionamento de descargas de bacias sanitárias, entre elas (CARVALHO et. al, 2012; CUNHA et. al, 2014; NOBREGA, 2015).

Tabela 1 - Quantitativos obtido pela bibliografia.

Parâmetro	Carvalho et. al, (2012)	Cunha et. al, (2014)	Nobrega, (2015)	Ministério da Saúde Nº 518/2005
PH	7,03 - 7,34	6,68 - 7,79	0,03	6,0 - 9,0
Turbidez	-	-	00,45	Sem Restrições
Cor Aparente	-	-	4	-

Alcalinidade	1,0761	0,952 - 1,002	0,47	Sem Restrições
Dureza (mg/L)	0,85-9,33	0 - 9,30	12	até 500
Cloreto (mg/L)	0	0	0	até 250
Condutividade ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	20,76	10,13 - 20,69	0	-
STD (ppm)	-	-	2,73	-

Fonte: Adaptada, 2023.

De acordo com Carvalho et. al (2012), no quesito análises físico-químicas, de acordo com os resultados obtidos, a água comportou-se como uma fonte viável e segura para reutilização para fins de reuso direto, principalmente para lavagens de calçadas, carros, irrigação de jardins, banheiros e laboratórios. Isso se dá devido ao fato de não ter sido constatado variações significativas no decorrer dos resultados das análises quando comparadas aos parâmetros máximos exigidos. Assim, essa água tem parâmetros físico-químicos semelhantes a água destilada.

2.5 Sensor Térmico

O termômetro, empregado na medição da temperatura ou suas flutuações, é um dispositivo composto por um sensor que exhibe uma propriedade termométrica, ou seja, uma característica que se altera em resposta à temperatura. Em essência, o termômetro funciona como um sensor de temperatura (TAGLIARO, 1966).

2.5.1 Termo-Higrômetro

Os termo-higrômetros são dispositivos que medem tanto a temperatura quanto a umidade relativa do ar. Eles são essenciais em aplicações onde o controle do ambiente é crítico, como em laboratórios, processos industriais e sistemas de aquecimento, ventilação e ar condicionado (HVAC). A evolução tecnológica levou ao desenvolvimento de termo-higrômetros digitais, que fornecem leituras precisas e podem incluir recursos adicionais, como armazenamento de dados e conectividade (SANTOS, 2023).

3 METODOLOGIA

Neste tópico, discutiremos as abordagens foram conduzidas a obter informações para estimar a quantidade de água condensada pelo método teórico, e posteriormente, compará-la com o volume coletado no local durante o funcionamento dos aparelhos de ar condicionado. Com esses dados, será viável a comparação entre métodos e resultados de outros estudos, proporcionando conclusões abrangentes sobre o tema em questão.

3.1 Método de Pesquisa

O estudo atual é predominantemente caracterizado por uma abordagem de pesquisa quantitativa, com uma natureza descritiva. A pesquisa quantitativa emprega métodos de investigação que visam mensurar, quantificar e analisar dados numéricos, utilizando técnicas estatísticas e matemáticas para identificar padrões, correlações, diferenças significativas e realizar inferências em um conjunto de dados mais amplo.

Da mesma forma, devido ao seu caráter descritivo, o estudo será conduzido com a finalidade descrever padrões com base na coleta de dados secundários, assim podendo obter um resultado mais preciso.

3.2 Unidade Administrativa - Bloco A

O trabalho foi realizado no Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco - Campus Caruaru, dando sua execução no bloco A Figura 11, na unidade administrativa do campus. Essa instituição desempenha um papel fundamental na formação de profissionais na região, com ênfase na educação técnica e superior. O campus está localizado na cidade de Caruaru, que é considerada a maior da Zona da Mata. O campus está situado no Distrito Industrial, próximo ao Alto do Moura, uma área de grande importância cultural e econômica.

Figura 11 - Localização do bloco A, IFPE - Campus Caruaru.



Fonte: Google Earth, 2023.

De acordo com Köppen (2023), Caruaru é uma cidade caracterizada por possuir um clima semiárido quente, pertencente ao subtipo climático "Bsh". Durante os meses de novembro e dezembro, a temperatura máxima na cidade gira em torno de 29,2 °C, enquanto em julho é a mais baixa, cerca de 18,1 °C. Em relação a umidade relativa, o período de maior umidade é Julho (82%), enquanto em Novembro e Dezembro giram em torno de 68%.

A média da temperatura em Caruaru é relativamente alta durante a maior parte do ano. No entanto, devido à falta de atributos construtivos que permitiriam a ventilação natural, não há conforto térmico nas instalações do Instituto. Portanto, em função desses fatores, o IFPE - Campus Caruaru optou pela instalação de sistemas de climatização com aparelhos de ar-condicionado do tipo split em todas as salas, visando melhorar o bem-estar dos funcionários e usuários, bem como proteger equipamentos sensíveis às temperaturas mais elevadas.

3.3 Contagem dos Aparelhos de Ar-Condicionado

Para iniciar a análise quantitativa do volume de água condensada, foi necessário realizar a contagem dos aparelhos de ar-condicionado presentes no instituto e sua identificação. A contagem e identificação foi realizada por meio de visitas *in loco* nos setores do bloco administrativo, onde foram registrados quantos aparelhos estão em cada sala, tipo, qual a potência deles, vazão e quantas horas diárias eles permanecem em funcionamento. Os dados coletados foram registrados e organizados por setores conforme apresentado na Tabela 2.

Tabela 2 - Quantidades de aparelhos no Bloco A.

Contagem dos aparelhos de ar-condicionado no Bloco A					
Salas	Fabricante	Potência (BTUs)	Vazão de Ar (m³/h)	Horas/Dia	Quantidade de Aparelhos
Coordenações	YANG	24.000	1112	8	1
Assessoria Pedagógica	Electrolux	18.000	980	13	1
Direção de Ensino	Electrolux	18.000	980	10	1
Data Center	YANG	24.000	1112	24	1
Setor de Descanso	YANG	24.000	1112	8	1
COPA	Elgin	24.000	1112	8	1
CECANE	YANG	24.000	1112	8	1
CGTI	YANG	24.000	1112	9	1
DEX	YANG	24.000	1112	8	1
CEEG	YANG	24.000	1112	9	1
NAPNE	YANG	24.000	1112	8	1
CGPE	YANG	24.000	1112	9	1

Direção de Adm. E Plan.	YANG	24.000	1112	10	3
Coordenação de Trans. e Planejamento	YANG	24.000	1112	10	1
Outras Salas	YANG	24000	1112	10	1

Fonte: Autor (2023).

3.4 Definição dos Pontos de Coletas

Ao fazer análise da Tabela 2, é mostrado que existem 17 (dezessete) ares condicionados, dos quais, 2 (dois) são da marca Electrolux, 1 (um) da Elgin e 14 (quatorze) da fabricante Yang. Todos os 17 (dezessete) são do modelo Split Hi-Wall, e o fato incomum entre eles é que os da marca Electrolux possuem capacidade térmica de 18.000 BTUs e vazão de ar de 980 m³/h, os demais uma capacidade térmica de 24000 BUTs e vazão 1112m³/h.

Todos os aparelhos de ares condicionados estão de fácil acesso na área externa, pois a arquitetura do bloco A é linear e não possui andares. Mas, considerando a quantidade de aparelhos, tornou-se inviável realizar a coleta de água em todos os drenos devido à complexidade e duração deste trabalho. Por esse motivo, foram estabelecidos 2 (dois) pontos de coleta. Esses pontos foram determinados levando em consideração a potência térmica e o fabricante do equipamento.

Sabe-se que há 3 marcas diferentes de ares condicionados com diferentes capacidades térmicas, vazão e tempo de funcionamento. No entanto, o equipamento da Copa, que é da marca Elgin, encontra-se quebrado e, portanto, não pode ser selecionado como ponto de coleta. Com isso, restam apenas 2 equipamentos de marcas diferentes, com características de funcionamento idênticas. Assim, os Pontos A e B, localizados na Direção de Ensino e Núcleo de Apoio as Pessoas com Necessidades Especiais (NAPNE), respectivamente, foram escolhidos simplesmente por serem da marca Electrolux e YANG, e possuem potências e vazões diferentes.

Com a seleção dos pontos, tornou-se viável a realização da coleta de água condensada. Para isso, foram empregadas garrafas PETs de 5 litros como recipientes de coleta, devidamente identificadas por etiquetas, conforme ilustrado na Figura 12.

Para quantificar o volume de água captada usou-se um Becker de vidro, para assim ser feita uma leitura precisa, pois, o mesmo possui uma escala graduada, Figura 13.

Figura 12 - Coletor de cada dreno.



Fonte: Autor (2023).

Figura 13 - Becker de Vidro.



Fonte: Autor, 2023.

Foram realizadas 5 (cinco) coletas de água condensada em diferentes horários, pela tarde. Os dados de cada dia da coleta foram registrados na Figura 14 para armazenamento desses dados.

Figura 14 - Coleta de Dados.

Vazão							-
Capacidade							-
Marca							-
Dia -							
HORÁRIO	TEMP. DA SALA (°C)	TEMP. DE ENTRADA SENSOR 1 (°C)	TEMP. DE SAIDA SENSOR 2 (°C)	UMIDADE RELATIVA SENSOR 1 (%)	UMIDADE RELATIVA SENSOR 2 (%)	ÁGUA DE CONDENSADO (L)	
-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	
-	-	-	-	-	-	-	

Fonte: Autor (2023).

3.5 Formulas Utilizadas

Com fundamentação neste estudo e nos dados coletados através dos dispositivos de medição (sensores) juntamente com o software *Computer Aided Thermodynamic Tables 3*, foi essencial executar cálculos termodinâmicos visando a obtenção dos resultados relacionados à produção de água de condensação. Isso foi realizado conforme as equações apresentadas abaixo:

- **Vazão Mássica do Ar**

A vazão mássica do ar é necessária para determinar quando quilos de ar é insuflado para o ambiente com uma hora de funcionamento do equipamento.

$$\dot{m}_{ar} = Q * \rho \quad (1)$$

Onde:

1. \dot{m}_{ar} é a vazão mássica do ar (Kg_{ar}/h);

2. Q é a vazão volumétrica do equipamento (m^3/h);
3. ρ é a massa específica (Kg/m^3);

- **Vazão Mássica da Água**

O ar é composto por diversos elementos, dentre os quais se destaca a água no estado de vapor. No processo de transferência de calor, o vapor de água, que se encontra em estado superaquecido, passa por uma mudança de fase para o estado líquido (MARTINELLI, 2003). A fim de determinar a vazão mássica da água condensada, utiliza-se:

$$\dot{m}_{agua} = \dot{m}_{ar} * (w - w_{sai}) \quad (2)$$

Onde:

1. \dot{m}_{agua} é a vazão mássica da água (Kg_{agua}/h);
2. w é a umidade absoluta de entrada (Kg_{agua}/Kg_{ar});
3. w_{sai} é a umidade absoluta de saída (Kg_{agua}/Kg_{ar});

- **Margem de erro**

Dentre os objetivos deste trabalho, destaca-se a realização de uma análise comparativa entre o volume de água efetivamente coletado e a quantidade teórica. Além disso, pretende-se comparar os volumes obtidos pelo método utilizado com dados de outros autores. Para atingir esse propósito, torna-se necessário empregar a fórmula do erro, permitindo assim a avaliação das discrepâncias e a elaboração de conclusões sobre as possíveis divergências encontradas.

$$Erro (\%) = \frac{\dot{M}_{agua} - \dot{M}_{coletado}}{\dot{M}_{coletado}} * 100 \quad (3)$$

3.6 Procedimentos Para Coletas de Dados

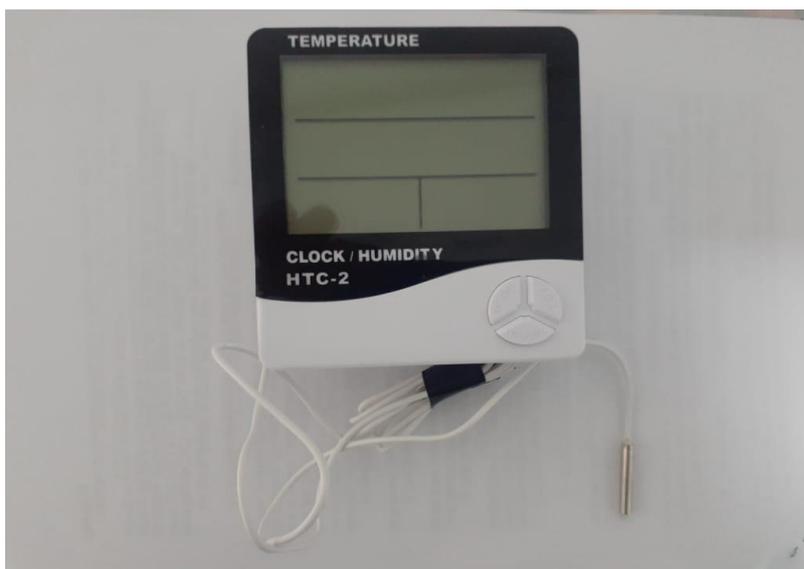
Os recipientes destinados à coleta foram distribuídos e posicionados nos respectivos drenos de cada ponto pré-determinado. Iniciou-se a coleta de dados, registrando-se os horários de início e término, a umidade relativa e a temperatura do ar na entrada do evaporador, assim como a temperatura na saída do mesmo. Para

obtenção desses dados, foram utilizados 2 (dois) sensores, aparelhos Termo-Higrômetro modelo (KLX), com display LCD, e faixa de medição de -10°C a 50°C , com precisão de leitura de 1°C , e faixa de medição de umidade de 10% a 90% e precisão de leitura de 5% para mais ou menos, Figura 15. Esses dados foram anotados na folha de anotação Figura 14, para registro. Após percorridos 60 minutos a coleta era encerrada. Os recipientes foram removidos dos pontos de coleta e o volume de cada coleta foi quantificado usando uma proveta volumétrica. A figura 16, apresenta os pontos de coleta dos respectivos volumes de água.

Simultaneamente, foi realizado uma análise que consistiu no cálculo estimativo da quantidade de água condensada para diversas capacidades de condicionadores de ar. Esse estudo auxilia a obter um conhecimento mais aprofundado sobre o volume de água gerado, buscando estabelecer uma relação entre as variáveis que influenciam na quantidade volumétrica e, conseqüentemente, descrever características para uma melhor compreensão desse fenômeno.

Na Figura 17, é visualizado o sensor 1, que foi colocado na entrada do evaporador, e o sensor 2, colocado na janela de insuflação do ar para o ambiente. A vazão do ar é determinada de acordo com a ficha técnica do equipamento analisado, logo o que determina sua vazão é o fabricante com suas especificações.

Figura 15 - Termo-Higrômetro.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 16 - Ponto de Coleta A e B.
 Legenda: (A1) Local externo Direção de Ensino; (A2) Recipiente de coleta Direção de Ensino; (B1) Local externo NAPNE; (B2) Recipiente de coleta NAPNE;



(B1)



(B2)



(A1)



(A2)

Fonte: Autor, 2023.

Figura 17 - Instalação dos Termo-Higrômetros no evaporador.

Legenda: (A) Disposição dos Termo-Higrômetro; (B) Sensor 1 colocado na entrada do evaporador; (C) Sensor 2 colocado na saída do evaporador.



(A)



(B)



(C)

Fonte: Autor, 2023.

O ar quente e úmido que passa pela transformação termodinâmica precisa ser analisado, já que esse ar, ao entrar em contato com uma superfície fria da serpentina do evaporador, sofre uma diminuição na temperatura e em sua capacidade de retenção de umidade. Isso resulta na transferência de massa por condensação do vapor de água presente no ar. Para validar os cálculos e sua análise, foram utilizadas ferramentas, como a carta psicrométrica e um software chamado *Computer Aided Thermodynamic Tables 3*.

O estudo detalhado da carta psicrométrica serve para entender o fenômeno de transferência de massa que ocorre durante a transferência de calor no processo de condicionamento de ar. A utilização da carta psicrométrica requer bastante interpolação visual, o que leva a dados menos precisos. Com o auxílio do software *Computer Aided Thermodynamic Tables 3*, é possível gerar gráficos referentes aos dados inseridos e fornecer informações das propriedades com maior precisão. A temperatura (T_e) e a umidade relativa (%) do sensor 1 são fornecidas ao programa, por meio do qual obtemos a umidade absoluta (w_1). Com o sensor 2, podemos obter a temperatura (T_s) e umidade relativa na saída do ar insuflado (%). Com esses dados, é possível determinar a taxa de condensação utilizando as equações 1 e 2.

4 RESULTADOS

Neste capítulo, será apresentado os resultados obtidos a partir da aplicação dos procedimentos detalhados na seção 3. Aqui, os valores teóricos referentes à quantidade de água condensada durante o funcionamento do aparelho de refrigeração e ao volume total de água formado nesse processo. Com base nessas informações, à comparação dos métodos e resultados deste trabalho com os de outros autores, visando alcançar conclusões mais robustas. Posteriormente, utilizando análises estatísticas, é possível determinar a quantidade total de litros de água que poderia ser gerada pelo uso de todos os aparelhos de ar condicionado no bloco administrativo do IFPE – Campus Caruaru, buscando avaliar a viabilidade econômica dessa captação de água gerada.

4.1 Ponto de Coleta A

Após a definição inicial do ponto A, sendo a Direção de Ensino, ao ser examinado os dados coletados, durante a análise dos dados coletados, observa-se uma consistente tendência de que as variações na quantidade de volume dos líquidos coletados em diferentes dias mantinham-se próximas. Com base nos registros diários, é possível determinar média do volume de água condensada. Com esse resultado em mãos, seleciona-se o dia mais próximo dessa média. Desta maneira, pode ser apresentado os resultados da segunda coleta de dados na Figura 18.

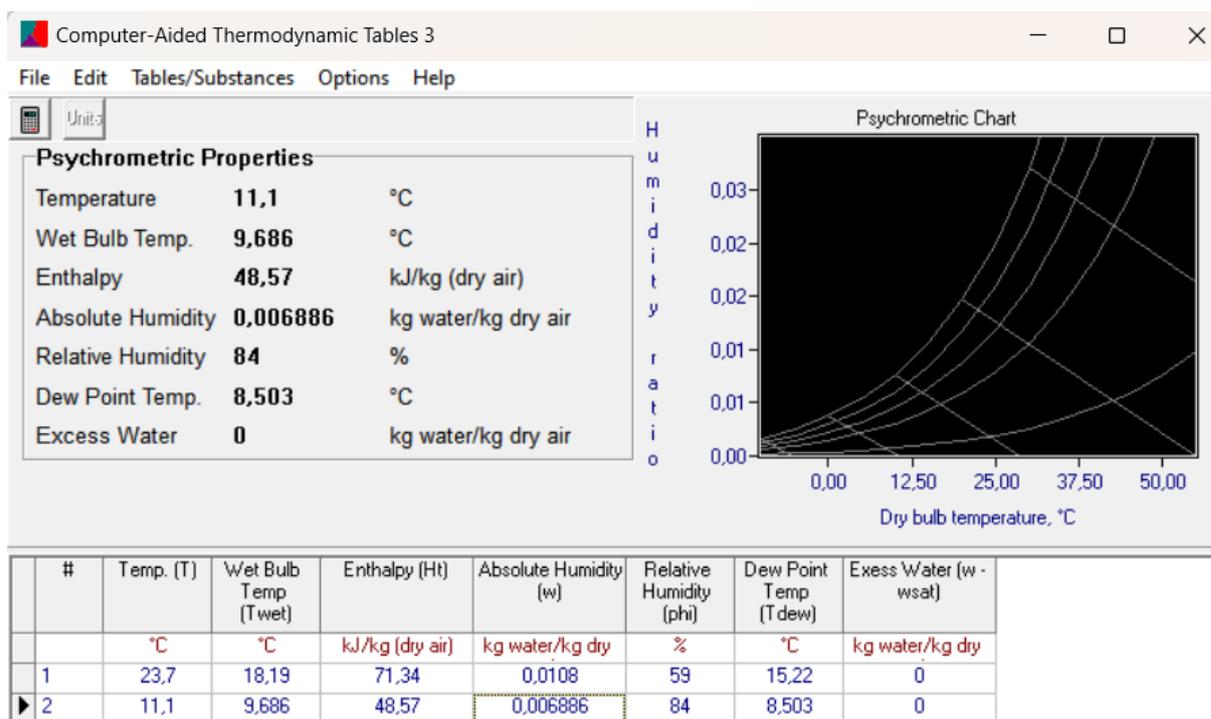
Figura 18 - Dados obtidos no Ponto de Coleta 2.

Vazão	980 m³/h					
Capacidade	18000 BTU					
Marca	Electrolux					
Dia 2						
HORÁRIO	TEMP. DA SALA (°C)	TEMP. DE ENTRADA SENSOR 1 (°C)	TEMP. DE SAIDA SENSOR 2 (°C)	UMIDADE RELATIVA SENSOR 1 (%)	UMIDADE RELATIVA SENSOR 2 (%)	ÁGUA DE CONDENSADO (L)
13:00 - 14:00	21,1	24	13,8	62	82	3,910
14:00 - 15:00	21,4	23,7	11,1	59	84	4,620
15:00 - 16:00	20,8	23	11,2	61	84	4,590

Fonte: Autor, 2023.

Para fins de análise, o horário escolhido foi das 14:00 às 15:00hrs. Assim, é possível usar o software *Computer Aided Thermodynamic Tables 3*, para chegar aos valores da umidade absoluta, Figura 19. Tendo em vista que, a carta psicrométrica ao ser analisada visualmente não se pode obter valores precisos.

Figura 19 - Propriedades psicrométrica.



Fonte: software Computer Aided Thermodynamic Tables 3, 2023.

Foi realizado o cálculo da densidade do ar a partir da temperatura de saída do ar (Sensor 02) na Unidade Evaporadora. Essa temperatura precisa ser convertida para Kelvin, com os dados correspondentes disponíveis na Tabela A.3 de Propriedades da Água Saturada, conforme tabela Anexo A.

Para uma temperatura de 284,25 K, por interpolação encontra-se a densidade $\rho = 1,2349 \text{ Kg/m}^3$, com o uso das equações 1, 2 e 3, consegue-se encontrar o volume teórico e consequentemente a margem de erro se comparado com o volume coletado, Figura 20.

Figura 20 - Volume Teórico x Volume Coletado.

Marca:			Electrolux		
Volume Teórico (L)		Volume Coletado (L)		Erro (%)	
4,740		4,620		2,60 %	

Fonte: Autor, 2023.

4.2 Ponto de Coleta B

Após determinado o ponto B como Núcleo de Apoio às Pessoas com Necessidades Especiais (NAPNE), durante a análise dos dados coletados, observamos uma consistente tendência de que as variações na quantidade de volume dos líquidos coletados em diferentes dias mantinham-se próximas. Com base nos registros diários, calculamos a média do volume de água condensada. Com esse resultado em mãos, selecionei o dia mais próximo dessa média. Desta maneira, apresentamos os resultados da primeira coleta de dados na Figura 21.

Figura 21 - Dados obtidos do Ponto de Coleta B.

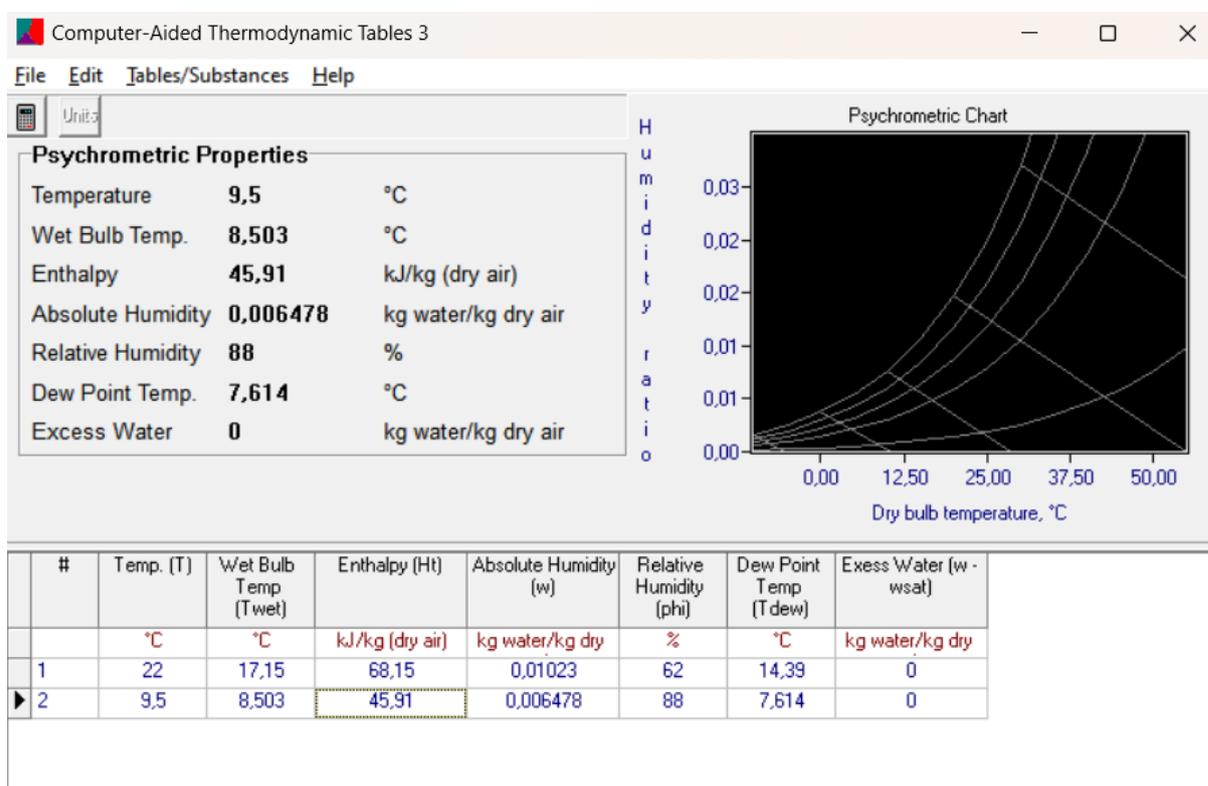
Vazão		1112 m³/h				
Capacidade		24000 BUTs				
Marca		YANG				
Dia 1						
HORÁRIO	TEMP. DA SALA (°C)	TEMP. DE ENTRADA SENSOR 1 (°C)	TEMP. DE SAIDA SENSOR 2 (°C)	UMIDADE RELATIVA SENSOR 1 (%)	UMIDADE RELATIVA SENSOR 2 (%)	ÁGUA DE CONDENSADO (L)
13:00 - 14:00	20.7	22.9	9.9	54	87	3,520
14:00 - 15:00	21	22	9.5	62	88	4,765
15:00 - 16:00	21	21.8	9.2	61	87	4,812

Fonte: Autor, 2023.

Para fins de análise, o horário escolhido foi das 14:00hrs às 15:00hrs. Assim, é possível usar o software *Computer Aided Thermodynamic Tables 3*, para chegar aos

valores da umidade absoluta, Figura 22. Tendo em vista que, a carta psicrométrica ao ser analisada visualmente não retorna valores precisos.

Figura 22 - Propriedades psicrométrica.



Fonte: software Computer Aided Thermodynamic Tables 3, 2023.

Foi realizado o cálculo da densidade do ar a partir da temperatura de saída do ar (Sensor 02) na Unidade Evaporadora. Essa temperatura precisa ser convertida para Kelvin, com os dados correspondentes disponíveis na Tabela A.3 de Propriedades da Água Saturada, conforme tabela Anexo A.

Para uma temperatura de 282,5 K, por interpolação encontra-se a densidade $\rho = 1,2412 \text{ Kg/m}^3$, com o uso das equações 1, 2 e 3, consegue-se encontrar o volume teórico e conseqüentemente a margem de erro se comparado com o volume coletado, Figura 23.

Figura 23 - Volume Teórico x Volume Coletado.

Marca: YANG		
Volume Teórico (L)	Volume Coletado (L)	Erro (%)
5,1785	4,765	8,68%

Fonte: Autor, 2023.

4.3 Discussões

Para fortalecer esta pesquisa, será realizada uma comparação entre os resultados obtidos neste estudo e os de duas outras pesquisas conduzidas pelos autores Rigotti (2014) e Marques (2022). O foco principal da análise centrou-se no método utilizado para determinar o volume teórico de um aparelho de ar-condicionado. Este estudo revelou um erro menor entre o volume de água estimado e o efetivamente coletado no local, em comparação com os outros dois estudos.

4.3.1 Análise Comparativa

Com o intuito de conduzir uma análise bibliográfica comparativa, voltada no tópico "Aproveitamento do condensado do ar-condicionado", identificou-se, por meio de pesquisa, dois artigos disponíveis online. A seleção dos artigos apropriados para esta investigação envolveu um processo de triagem, priorizando aqueles que incorporassem elementos teóricos pertinentes ao campo da Engenharia Mecânica, bem como estudos de casos concretos.

Nos trabalhos analisados, foram adotados métodos empíricos para coletar informações, coleta de material de estudo em campo, efetuar comparações entre os resultados obtidos e propor sugestões para a aplicação do material, todos esses procedimentos direcionados ao aproveitamento da água do condensado. Através da revisão bibliográfica dos artigos examinados, constatou-se que ambos seguiram trajetórias semelhantes para adquirir dados e chegaram a conclusões convergentes.

Para realizar a coleta de dados, incluindo informações sobre temperaturas e umidade relativa, os autores (RIGOTTI, 2014; MARQUES, 2022;) empregaram um

Termo-Higrômetro de diferentes fabricantes. Este instrumento foi utilizado para obter as medições da temperatura e umidade relativa na entrada do evaporador. Na análise do ar refrigerado na saída do equipamento, apenas um Termômetro de fabricantes diferentes foi empregado, omitindo a leitura da umidade relativa devido à consideração compartilhada por ambos os autores de que o ar sai do evaporador em um estado saturado. Essa suposição resulta em uma umidade relativa fixada em 100%.

À vista disso, os autores tiveram os seguintes resultados, Figura 24.

Figura 24 - Informações dos artigos de RIGOTTI, 2014 e MARQUES, 2022.

Resultados de RIGOTTI, 2014 e MARQUES, 2022			
	Volume Estimado	Volume Coletado	Erro (%)
RIGOTTI, 2014	0,807	1,0	19,3%
MARQUES, 2022	6,5	7,8	20,00

Fonte: RIGOTTI, 2014; MARQUES, 2022; adaptado, 2023.

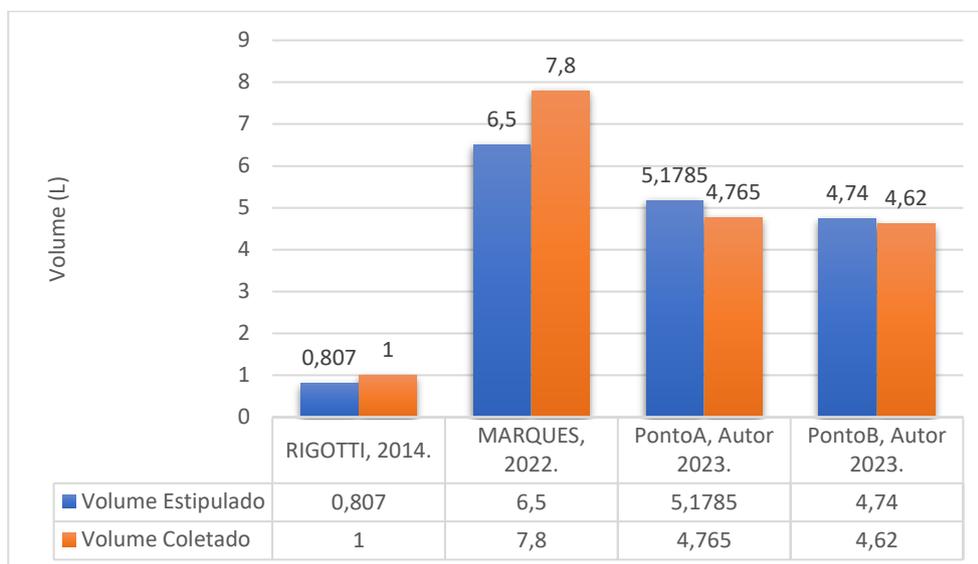
Devido à significativa discrepância observada entre o volume estimado e o volume efetivamente coletado, conforme evidenciado na Tabela 8, fica evidente a magnitude dos erros cometidos. A explicação para essa disparidade em ambos os estudos está fundamentada na limitada eficácia dos equipamentos de medição empregados. De acordo com um deles “...as diferenças encontradas podem ser justificadas pelo fato da coleta de dados realizada por meio dos instrumentos (termômetros e termo-higrômetro) não ser tão eficaz na medição do equipamento.” (Marques, p.45, 2022).

4.3.2 Discussão Comparativa

Partindo do pressuposto de que todos os trabalhos abordam o mesmo objeto de estudo, sem, até então, considerar a potência ou marca dos aparelhos, os métodos de estimativa do volume de água condensada dessa pesquisa com os trabalhos de Rigotti (2014) e Marques (2022), foram diferentes.

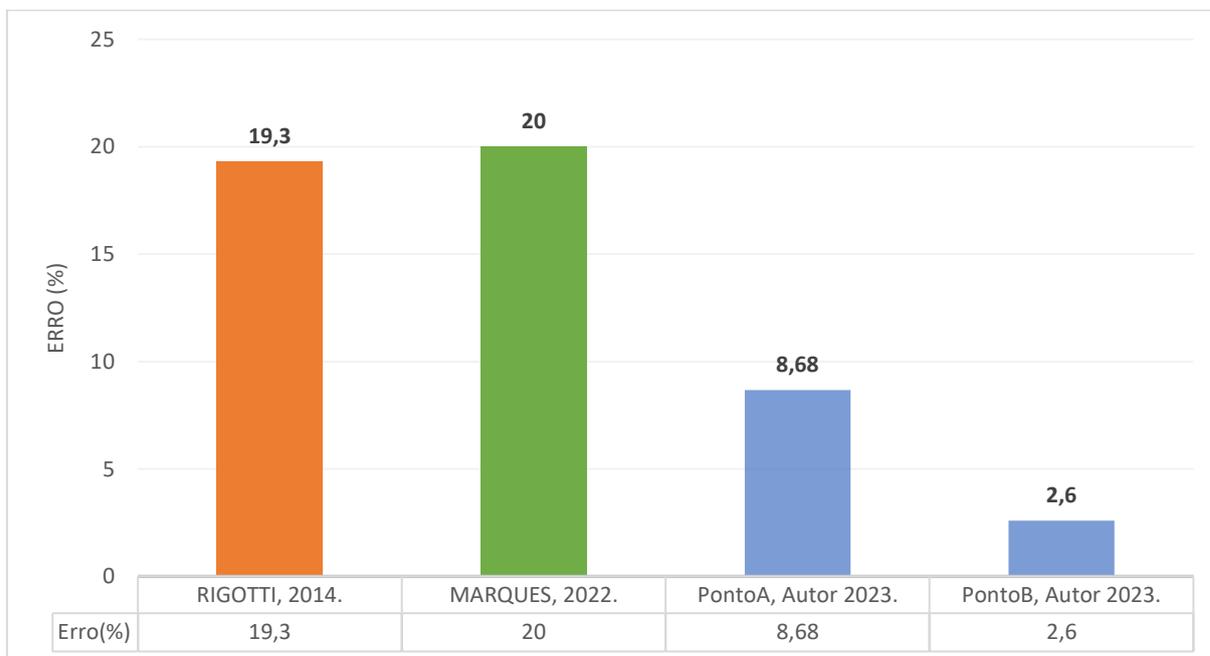
As Figuras 25 e 26, mostram os volumes estipulados com coletados dos trabalhos e porcentagem do erro, respectivamente.

Figura 25 - Volume estipulado x coletado.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 26 - Margem de Erro (%).



Fonte: Autor, 2023.

Diante das informações, todos os trabalhos utilizaram o *software Computer Aided Thermodynamic Tables 3*, a fim de encontrar as propriedades termodinâmicas do ar e as equações matemáticas 1, 2 e 3 para determinar o volume de água condensada. Esta pesquisa se destacou em relação às de Rigotti (2014) e Marques (2022) devido à realização de medições da umidade relativa no ponto de saída da unidade evaporadora, resultando em valores inferiores a 100% de umidade relativa. Diferentemente dos trabalhos de Rigotti (2014) e Marques (2022), nos quais não foi efetuada a medição da umidade relativa na saída da unidade evaporadora, assumindo-se em ambos os casos que a umidade relativa na saída da evaporadora era de 100%.

Diante dessas informações dos dois autores, podemos supor:

1. Toda massa de ar quente que ingressa na unidade condensadora cede calor à superfície externa da serpentina, resultando na igualdade de temperatura de saturação (Ponto de Orvalho) em todos os pontos da massa de ar que emerge da unidade condensadora. Nesse sentido, essa abordagem sustentaria a noção de uma Umidade Relativa 100%.
2. Maior volume de condensação, uma vez que todos os pontos da massa de ar atingem a temperatura de saturação. Conseqüentemente, ocorre a transição de fase do vapor-superaquecido para estado líquido, aumentando a taxa de condensação de água presente na massa de ar.

Após essa interpretação, destaca-se problemas que ocorrem em fazer as considerações de Rigotti (2014) e Marques (2022). Martinelli (2003), usa um raciocínio que pode ser simplificado pela Figura 8 da seção 2.3.3.2, que representa o comportamento do ar pela carta psicrométrica de Carrier. Portanto, ao considerarmos a saída do evaporador, percebemos que o ar está em uma mistura estado de saturação e ar de by-pass, que é a fração de ar não modificada. Isso resulta em uma temperatura de saída (T_s) do equipamento que difere da temperatura de saturação (temperatura de orvalho) (T_{st}), resultando assim uma umidade relativa menor que 100%.

Conforme observado, a alegação de que o ar proveniente da unidade condensadora apresenta uma umidade relativa de 100 é uma consideração que resulta em uma significativa margem de erro.

Nesse trabalho, pode ser usado como exemplo a seção 4.1, ao avaliar a saída do evaporador utilizando um termo-higrômetro, é possível determinar tanto a temperatura quanto a umidade relativa. É amplamente reconhecido que com base em 2 (duas) propriedades conhecidas, torna-se viável calcular outras propriedades empregando a carta psicrométrica. Dessa forma, ao inserir esses conjuntos de dados no software, conforme evidenciado na Figura 19, é possível estimar outras propriedades do ar importantes para esse trabalho, tais como Umidade Absoluta e Temperatura de Saturação (temperatura de ponto de orvalho).

A análise da Figura 19 revela uma notável semelhança com a interpretação apresentada por Martinelli (2003). Nessa interpretação, a temperatura de saída difere da temperatura de saturação, enquanto a umidade relativa permanece em 88%. Logo, obtém-se o valor de umidade absoluta correto, informação importante para determinar a taxa de condensação. Assim, o volume coletado foi 8,68% maior em comparação com o volume estipulado por meios matemáticos, conforme as Figuras 25 e 26.

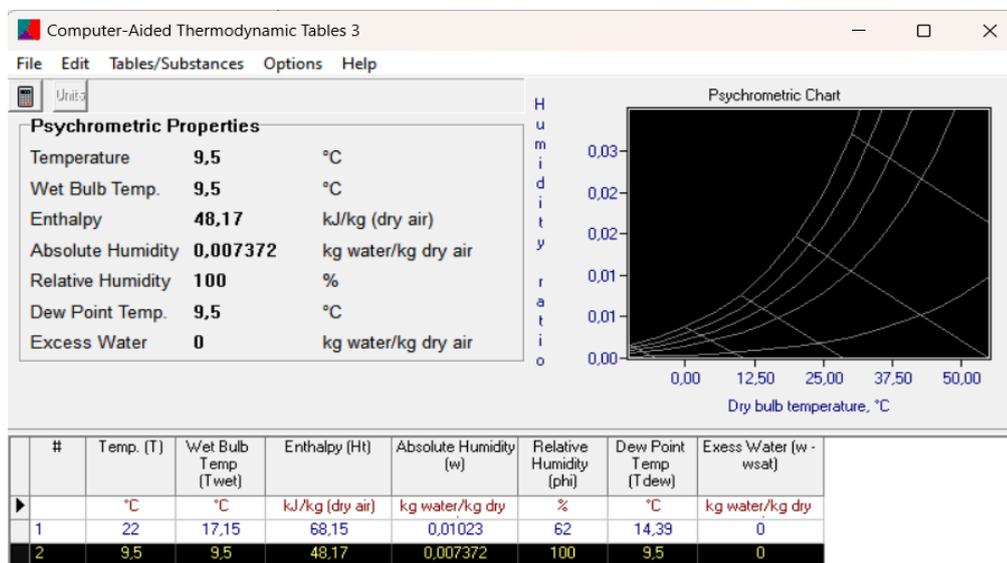
A título de análise e esclarecimento, se aplicado a mesma abordagem utilizada por Rigotti (2014) e Marques (2022), com base nos dados do tópico 4.1, trazem os seguintes resultados:

- Na seção 4.2 deste estudo, ao avaliar a saída do evaporador usa-se apenas a temperatura de saída (9,5°C) e fazer a consideração que a umidade relativa é 100%. Conforme a Figura 27, por meio da consideração da umidade relativa ser 100%, o *software Computer Aided Thermodynamic Tables 3* entende que a temperatura de saída do equipamento é a mesma temperatura de saturação, fato que não condiz com a realidade, diante já explanado. Sabendo disso, o valor da umidade absoluta que o *software* mostra não é um valor correto, assim sendo, seríamos induzidos a informação que o volume estipulado seria 17,20% maior que o volume coletado.

Assim, ao analisar as Figuras 28 e 29, que comparam os estudos de Rigotti (2014) e Marques (2022) com esta análise, observamos semelhanças nos resultados. No Figura 28, fica evidente que, nos três estudos, o volume de água coletado foi

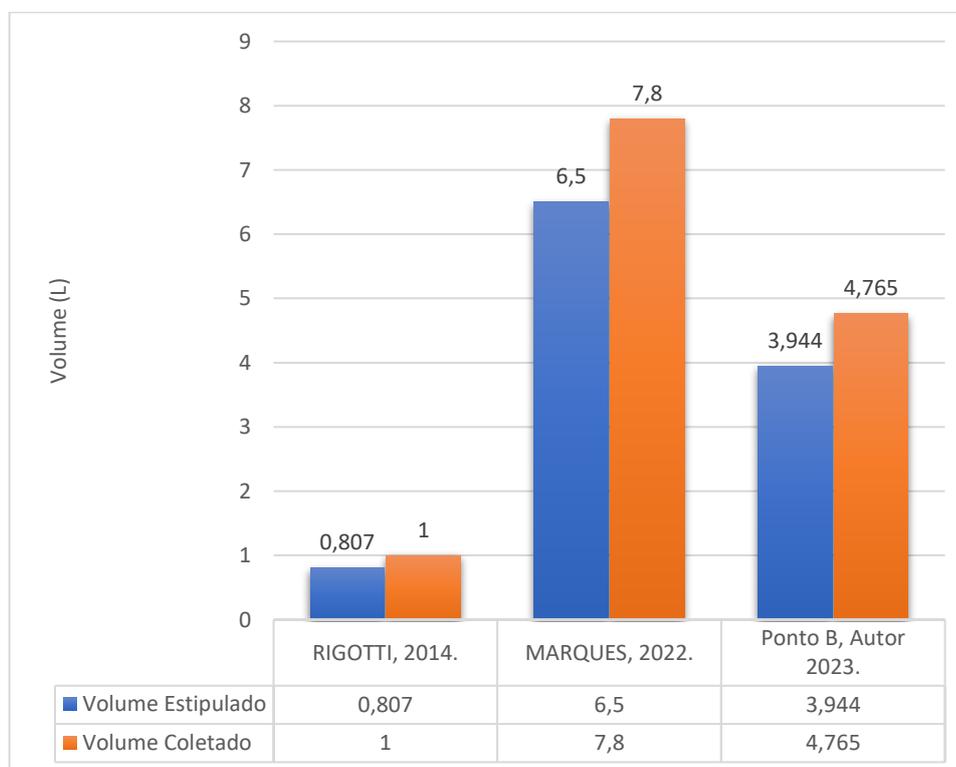
superior ao volume de água estimado. A Figura 29, a margem de erro dos três estudos é elevada.

Figura 27 - Propriedades para o caso ilustrados.



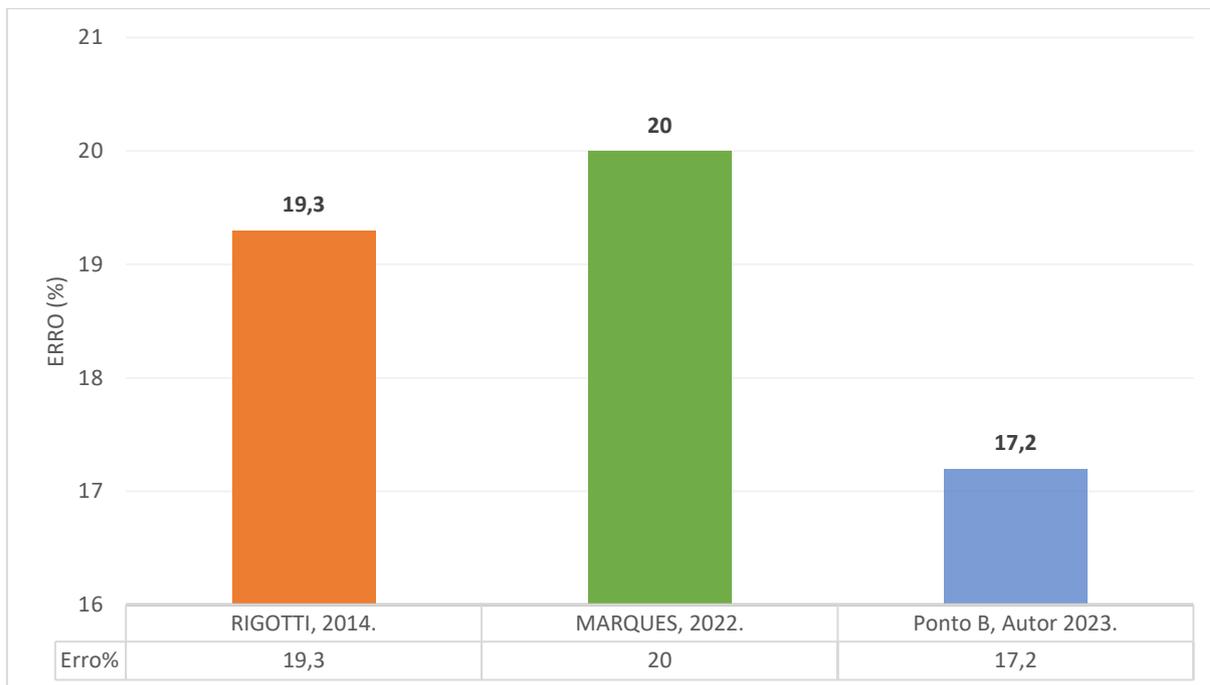
Fonte: software Computer Aided Thermodynamic Tables 3, 2023.

Figura 28 - Aplicação da consideração de Rigotti e Marques no Ponto 1.



Fonte: Autor, 2023.

Figura 29 - Margem de erro quando aplicada as considerações de Rigotti e Marques no Ponto 1.



Fonte: Autor, 2023.

Dessa forma, é possível concluir que a diferença entre o volume inicialmente estimado e o volume efetivamente coletado, conforme apontado por Rigotti (2014) e Marques (2022), não se deve unicamente à falta de instrumentos de alta precisão, mas sim ao fato de que a não consideração da leitura da umidade relativa de saída pode acarretar uma considerável margem de erro. Por outro lado, as divergências entre o volume estimado e o volume coletado neste estudo foram de 2,6% no ponto A e 8,68% no ponto B, até o momento, consideravelmente pequenas. Em ambas as análises deste trabalho, observa-se que o valor do volume de água estimado foi superior ao coletado, podendo ser justificado pela falta de manutenção contínua dos dispositivos, que afeta diretamente seu desempenho, pela coleta pontual das propriedades de umidade relativa e temperatura durante o intervalo de análise ou pela utilização de equipamentos de medição que não apresentam alto grau de precisão.

4.4 Viabilidade Hídrica em Coletar Água

A base deste estudo consiste em mensurar o quanto de água condensada pode ser produzida e avaliar a viabilidade de captação de água proveniente do condensado dos sistemas de ar condicionado localizados no bloco administrativo do Instituto Federal de Educação de Pernambuco - Campus Caruaru para posterior aplicações.

Para essa análise, utiliza-se informações sobre o número de aparelhos de ar condicionado e seus horários de funcionamento em cada setor do bloco, conforme apresentado na Tabela 2. Além disso, considerou os valores teóricos de produção de condensado de cada equipamento, conforme indicado nas Figura 20 e 23. Dado que a coleta de dados foi realizada por meio de amostragem, e por comparação, a quantidade total de água que poderia ser coletada caso todos os aparelhos de ar condicionado fossem utilizados ao longo de um dia de funcionamento.

A Figura 30 mostra o quanto de água pode ser condensada por todos aparelhos ao longo de um dia de funcionamento. Cabe ressaltar, que para fazer o cálculo foi necessário fazer a correção para menos, de acordo com o erro estipulado em cada aparelho.

Figura 30 - Total de água condensada em um dia de funcionamento dos aparelhos.

Volume total de água produzida por todos aparelhos de ar-condicionado por dia de funcionamento do bloco administrativo do IFPE – Caruaru.	
Electrolux – 2 Uni. – 18.000 BTUs	YANG – 15 Uni. – 24.000 BTUs.
106 L	657 L
Total = 763 Litros/dia	

Fonte: Autor, 2023.

Na área administrativa, os funcionários desempenham suas atividades durante os dias úteis. Considerando que, em média, há 22 (vinte e dois) dias úteis por mês, podemos deduzir que, ao longo de um mês, a quantidade de água condensada

acumulada nos aparelhos pode alcançar até 16.786 litros, podendo ser representado também como 16,786 m³.

4.4.1 Qualidade da Água

A qualidade da água clara pode ser avaliada por meio da análise de parâmetros físicos e químicos. Devido a restrições orçamentárias, este estudo não realizou uma análise específica da água coletada. No entanto, é importante observar que, em geral, a água proveniente de sistemas de ar condicionado tende a apresentar características de qualidade semelhantes, como diz os resultados dos estudos Cunha et. all. (2014) e Tenório (2019). Conforme mencionados, ambos trabalhos usaram como parâmetros os padrões do Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), que editou resolução de nº 357, de 17 de Março de 2005, que determina os parâmetros e classificação das água, definindo uso das água de reuso para fins não potáveis.

Cunha et. all. (2014), fez uma análise da qualidade das águas condensadas em aparelhos de ar-condicionado Instituto Federal do Ceará – campus de Quixadá, com intuito de destinar esse recurso para aproveitamento no próprio campus. Nele fez uma análise para água de reuso da Classe 1 (descargas em bacias sanitárias, lavagem de pisos, fins ornamentais e lavagem de roupas e veículos).

Figura 31 - Resultados da análise físico-química do trabalho Cunha et. all. (2014).

PARÂMETROS	UNIDADES	VALORES ENCONTRADOS	MÉDIA	357/05 CONAMA
pH	--	6,68 à 7,79	7,19	6,0 a 9,0
ALCALINIDADE	mg/l	0,952 à 1,002	0,977	SR
DUREZA	mg/l	0 à 9,30	4,65	SR
CLORETOS	mg/l	0	0	Até 250
CONDUTIVIDADE	µs/cm	10,13 à 20,69	14,41	Até 50

Legenda: Sem Restrição (SR)

Fonte: Adaptado Cunha et, all., (2019).

Segundo a Figura 3, no que diz respeito aos índices de dureza, alcalinidade, pH e cloretos, os resultados encontram-se dentro dos limites preconizados pela Resolução nº 357, datada de 17 de março de 2005, do CONAMA. Essa resolução classifica a situação como pertencente à Classe 1 (descargas em bacias sanitárias,

limpeza de pisos, propósitos ornamentais, e lavagem de roupas e veículos). Portanto, Cunha et. all (2019) conclui que às análises físico-químicas, com base nos resultados obtidos, a água demonstrou ser uma fonte adequada e segura para ser reutilizada diretamente no campus, especialmente para atividades como lavagem de calçadas, veículos, irrigação de jardins, uso em banheiros e laboratórios. Isso ocorre devido à ausência de variações substanciais nos resultados das análises, quando comparadas aos valores máximos exigidos.

Tenorio (2019), fez uma análise da água dos aparelhos do ar-condicionado do Instituto Federal de Pernambuco – Campus Garanhuns, com intuito de destinação desse recurso para à irrigação de hortaliças que são consumidas cruas ou frutas. De acordo com o tipo de destinação, foi feita um análise físico-química pela classe 1 da resolução do CONAMA.

Figura 32 - Resultados físico-químicos, Tenorio (2019).

PARÂMETROS	UNIDADES	VALORES ENCONTRADOS	357/05 CONAMA
pH	--	7,87	6,0 a 9,0
TURBIDEZ	NTU	0,13	SR
OXIGÊNIO DISSOLVIDO	mg/L	7,22	>= 6 mg/L
COLIFORMES	UFC/ml	0	<= 200 UFC/ 100 ml

Fonte: Adaptado, Tenorio (2019).

Com base nessas informações, Tenorio (2019) conclui que o uso da água condensada proveniente de aparelhos de ar condicionado para irrigação de hortas verticais revela-se altamente promissor, uma vez que a água avaliada neste estudo demonstrou possuir parâmetros físico-químicos e microbiológicos, como pH, turbidez, oxigênio dissolvido e presença de bactérias do grupo coliformes, que são adequados para a irrigação de hortaliças.

Portanto, é possível concluir que o reuso da água condensada dos aparelhos do IFPE – Campus Caruaru, pode ser destinada para atividades como lavagem de calçadas, veículos, irrigação de jardins e uso em banheiros sem a necessidade de tratamento adicional.

..

4.4.2 Sugestão de Captação

No bloco A, cuja arquitetura linear e ausência de andares proporcionam fácil acesso à área externa, propõe-se uma solução integrada para a coleta e armazenamento eficaz dos fluidos drenados.

- **Reservatório Subterrâneo:**

Sugere-se a construção de um reservatório subterrâneo ao final do bloco administrativo. O reservatório, pode ser construído utilizando alvenaria ou optando por uma solução mais moderna, como caixas de polietileno comercialmente disponíveis em várias capacidades, que possuem até de 15m³. A localização abaixo do nível do solo contribui para uma estética discreta e minimiza interferências visuais no ambiente.

- **Cano PVC Horizontal de 1 Polegada:**

Um cano de PVC para água fria, com diâmetro comercial de 1 polegada, seria instalado de forma horizontal ao bloco administrativo. Este cano central serviria como via principal para o escoamento de todos os líquidos provenientes dos sistemas de ar-condicionado. A inclinação calculada do cano permitiria que a gravidade guiasse o fluxo até a entrada do reservatório de forma eficiente.

- **Cano PVC de 0,5 Polegada para Coleta Individual:**

Cada unidade de ar-condicionado seria conectada ao sistema central por meio de um cano de PVC de água fria de 0,5 polegada. Esses canos individuais direcionariam os drenos dos aparelhos para o cano central de 1 polegada, canalizando de forma eficaz os fluidos até o reservatório subterrâneo.

4.4.3 Viabilidade Financeira

A viabilidade financeira pode ser analisada com o intuito de saber o quanto de em reais podem ser economizados em caso de armazenamento e utilização da água

formada no ar-condicionado do bloco administrativo do IFPE – *Campus Caruaru*. Aproveitar a água proveniente dos sistemas de ar condicionado emerge como uma solução prática para enfrentar a escassez de água no Brasil, especialmente na região em foco, onde não apenas a carência de recursos hídricos é uma preocupação, mas também onde disputas pelo uso desses recursos estão em curso.

De acordo com os dados fornecidos pela Direção Geral do IFPE - Campus Caruaru, o consumo médio mensal de água da instituição é de 90m³, sendo esta água fornecida pela Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA). Essa água é utilizada para atender as demandas da instituição, como exemplos: Limpeza do campus, descargas sanitárias, irrigação da área verde e outros fins.

Ao ser examinado a seção 4.4, é possível inferir que a captação de água proveniente dos sistemas de ar condicionado pode atingir mais de 16m³, o que pode representar cerca de 18% do consumo total do IFPE - Campus Caruaru ao longo de um mês. Essa água capitada poderá substituir a utilização de água tratada, haja visto que a substituição pode ter finalidade de descarga em vasos sanitários, limpeza de corredores e banheiros, lavagem de automóveis, irrigação da jardinagem e outros fins que não necessite o consumo humano.

A partir das informações disponibilizadas pela Direção Geral da instituição de ensino, é importante destacar que cada metro cúbico de água fornecido pela COMPESA tem um custo de R\$ 12,11 (doze reais e onze centavos). Portanto, ao alcançar a máxima coleta possível, a economia resultante seria de R\$ 193,76 (cento e noventa e três reais e setenta e seis centavos). Isso representaria uma redução de aproximadamente 20% no valor pago pela instituição de ensino à COMPESA.

Para definir a viabilidade econômica se faz necessário saber qual melhor forma de captação da água e armazenamento para posterior distribuição, de posse da informação do custo para captação pode ser feito um estudo de viabilidade econômica a longo prazo, médio e longo prazo para determinar quanto tempo pode haver retorno financeiro para esse aproveitamento.

Entretanto, é essencial considerar não apenas o aspecto econômico, mas também associá-lo aos benefícios ambientais que ele proporciona, pois esse é o princípio fundamental que norteia sua concepção. A adoção de práticas sustentáveis não apenas contribui para a preservação do meio ambiente, mas também melhora a reputação da instituição perante a sociedade e o Ministério da Educação (MEC).

5 CONCLUSÃO

A água desempenha um papel fundamental na preservação da vida humana e do ecossistema. Sua utilidade se estende a diversas atividades diárias e, considerando sua natureza limitada, é imperativo adotar uma abordagem responsável em sua utilização. Em algumas regiões, tanto no Brasil quanto no mundo, já enfrentamos a escassez hídrica. Nesse contexto, a reutilização de água não potável desempenha um papel crucial, pois reduz a pressão sobre o abastecimento de água potável, enquanto contribui para a preservação do meio ambiente e promove um uso mais consciente e sustentável deste precioso recurso hídrico.

Nesse sentido, o objetivo central deste estudo foi conduzir uma análise detalhada da produção média de água condensada em relação às capacidades térmicas dos sistemas de condicionamento de ar, além de sugerir a melhor forma de reutilização eficiente desse recurso valioso.

Para conduzir esta pesquisa, foi elaborado um estudo que envolveu a realização de cálculos estimativos para determinar a quantidade de água condensada gerada por diferentes condicionadores de ar, fabricados pela Electrolux e Yang, instalados no bloco administrativo do IFPE - *Campus Caruaru*. Isso foi feito com base na análise das propriedades do ar em diferentes momentos, utilizando dois termo-higrômetros posicionados tanto na entrada quanto na saída dos equipamentos de ar-condicionado.

Para efetuar os cálculos necessários, empregamos um software de termodinâmica conhecido como *Computer Aide1d Thermodynamic Tables 3*. Os resultados obtidos comprovaram que, nas condições estudadas, ocorre a condensação de água. Ao analisar os resultados da coleta de campo em comparação com os valores calculados pelo programa termodinâmico, observamos uma diferença de 8% e 2% na quantidade de água condensada gerada.

Com o objetivo de estabelecer uma base teórica sólida para o trabalho, procedemos com comparações entre nosso estudo e dois trabalhos distintos, buscando validar nossos resultados e delinear possíveis direções para futuras pesquisas. Após uma análise minuciosa dos trabalhos de Rigotti (2014) e Marques (2022), conduzido uma revisão crítica dos métodos empregados, resultando na seleção de uma metodologia mais apropriada que nos aproximou de maneira mais precisa da realidade.

Após a coleta de dados e a análise das informações obtidas, ficou evidente que a captação do volume de água gerado pelos sistemas de ar-condicionado pode resultar em um acúmulo mensal de mais de 16 metros cúbicos de água prontamente disponível para reutilização não potável.

Além disso, a água poderá ser utilizada para fins como lavagem de pisos, descarga de bacias sanitárias, utilizada para manutenção do paisagismo, irrigação da área verde e lavagem de veículos no campus, ampliando ainda mais as opções de reutilização e contribuindo significativamente para a preservação dos recursos hídricos. A adoção desse recurso pode resultar em uma economia mensal de aproximadamente R\$ 193,76 (cento e noventa e três reais e setenta e seis centavos), representando uma redução de quase 20% no valor da conta de água da instituição de ensino.

Em resumo, podemos concluir que quando há uma quantidade adequada de água residual de qualidade gerada diariamente nas próprias instalações, e se houver uma demanda para seu uso não potável, é incontestável a importância e a necessidade de promover o eficiente aproveitamento desses efluentes. Isso desempenha um papel crucial na mitigação dos impactos da escassez hídrica.

REFERENCIAS

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Usos da água**. 2019. Disponível em <<https://www.gov.br/ana/pt-br/assuntos/gestao-das-aguas/usos-da-agua>> . Acesso em dez. 2023.

ANA. Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico. **Resolução Conama n357, de 17 de março de 2005**. [s.l.: s.n.]. 2005. Disponível em:<https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfcd_a_altrd_res_393_2007_397_2008_410_2009_430_2011.pdf> . Acesso em: dez. 2023.

ANELL. Agência Nacional de Energia Elétrica. **Introdução ao Gerenciamento de Recursos Hídricos**. 2001. Disponível em https://lamorh.ufes.br/sites/lamorh.ufes.br/files/field/anexo/introducao_ao_gerenciamento_de_recursos_hidricos.pdf. Acesso em dez. 2023.

ANTONOVICZ, D.; WEBER, R. G. B. **Plano de Manutenção Operação e Controle - nos condicionadores de ar do Câmpus Medianeira da Universidade Tecnológica Federal do Paraná**. 2013. Trabalho de Conclusão de Curso (Curso de graduação de Tecnologia em Manutenção Industrial) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Medianeira, 2013.

BARROS, Wellington Pacheco. **A água na visão do direito**. Porto Alegre: Tribunal de justiça do Rio grande do Sul- Departamento de Artes Gráficas, 2005.

CARVALHO M. T. C.; CUNHA, S. O.; FARIA, R. P. P. G. **Caracterização quali-quantitativa da água da condensadora de aparelhos de ar-condicionado**. 2012. In: III Congresso Brasileiro de Gestão Ambiental, Goiânia. Disponível em: <[Microsoft Word - IX-002.doc \(ibeas.org.br\)](#)> Acesso em: dez. 2023.

CUNHA, J. A. et al. **Quantificação e caracterização das águas de aparelhos de ar condicionados para uma proposta de reúso direto no IFCE - Campus Quixadá**.

2014. Disponível em: <http://www.ihab.org.br/o2015/trabalhos_completos/22.pdf>. Acesso em: dez. 2023.

CONAMA. Resolução CONAMA n° 357, de 17 de Março de 2005. Disponível em: https://www.icmbio.gov.br/cepsul/images/stories/legislacao/Resolucao/2005/res_conama_357_2005_classificacao_corpos_agua_rtfda_altrd_res_393_2007_397_2008_4_10_2009_430_2011.pdf Acesso em: 28 de Dezembro de 2023.

ÇENGEL, Yunus A.; GHAJAR, Afshin j. **Transferência de Calor e Massa**. São Paulo: Bookman, 2013.

FORGHIERI, A. **Alguns elementos naturais são tão imprescindíveis para a existência humana que, se faltassem, significaria**. 2021. Disponível em: <<https://www.linkedin.com/pulse/%C3%A1gua-o-petr%C3%B3leo-azul-do-futuroandres-forghieri/?originalSubdomain=pt>>. Acesso em: mai. 2023.

GONÇALVES, Luciene Pavanello. **Condicionamento de ar e sua evolução tecnológica**. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2005. Disponível em: <<http://engenharia.anhembi.br/tcc-05/civil-36.pdf>>. Acesso em mai. 2023.

LIMA, J. E. F. W. **Determinação e simulação da evapotranspiração de uma bacia hidrográfica do Cerrado**. 2000. 75 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Brasília, Brasília, 2000.

MARTINELLI JUNIOR, L. C. **Refrigeração** – UNIJUI. Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. Panambi - RS, Brasil, 2003.

MARTINELLI JR, Luiz Carlos. **Refrigeração e Ar-Condicionado**. Parte IV – Psicrometria. Disponível em: <http://www.univasf.edu.br/~castro.silva/disciplinas/FT/Psicrometria2.pdf>. Acesso em dez. 2023.

MARQUES, Cristiani. **Análise de viabilidade técnica de coleta de água de condensado proveniente de sistema de ar-condicionado**. Monografia –

Engenharia Mecânica - Centro Universitário Ritter dos Reis – Campus Canoas, Canoas, 2022.

MEC. Ministério da Educação. **Manual de Educação para o Consumo Sustentável**. 2005. Disponível em: <<http://portal.mec.gov.br/dmdocuments/publicacao8.pdf>>. Acesso em dez. 2023.

NÓBREGA, J. M. S. **Água residual de condensadores de ar: perspectiva de substituição à água destilada para uso em laboratórios**. 2015. Monografia (Graduação em Ciências Biológicas) – Universidade Federal de Campina Grande, Patos, 2015.

ONU. **Organização das Nações Unidas. Uma em cada três pessoas em todo o mundo não tem acesso a água potável**. 2019. Disponível em: <<https://www.paho.org/pt/noticias/18-6-2019-uma-em-cada-tres-pessoas-no-mundo-nao-tem-acesso-agua-potavel-revela-novo>> . Acesso em dez. 2023.

REVISTA BIO (**Revista Brasileira de Saneamento e Meio Ambiente**). Ano X. No 11 – Julho/ Setembro 1999. p. 41. Texto: A Água no Mundo. Disponível em <<https://rbmaes.emnuvens.com.br/revista>>. Acesso em dez. 2023.

REZENDE. Amanda. **Reúso Urbano de Água Para Fins Não Potáveis no Brasil**. Monografia – Engenharia Ambiental – Universidade Federal de Juiz de Fora, Minas Gerais, 2014.

RIGOTTI, Pedro. **Projeto de aproveitamento de água condensada de sistema de condicionadores de ar**. Monografia – Engenharia Mecânica - Universidade Regional do Noroeste do Estado do Rio Grande do Sul, Rio Grande do Sul, 2014.

RODRIGUES, Jéssika. ANÁLISE QUALI-QUANTITATIVA DA ÁGUA CONDENSADA GERADA POR APARELHOS DE AR-CONDICIONADO. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais (GESTA)**. Volume 7, Nº 2, p. 160-174, Agosto, 2019. Disponível em:<

<https://periodicos.ufba.br/index.php/gesta/article/view/30779/20197>>. Acesso em dez. 2023.

SABBATINI, J. **Qualidade da Água**. 2015. Disponível em:<<https://tratamentodeagua.com.br/artigo/qualidade-da-agua/>>. Acesso em: dez. 2023.

SANTOS, D. C. M. “**Termômetros**” **Mundo Educação**” Site. Disponível em<<https://mundoeducacao.uol.com.br/fisica/termometros.htm#:~:text=O%20term%C3%B4metro%20era%20composto%20de,o%20tubo%20dentro%20da%20%C3%A1gua>>. Acesso em dez. de 2023.

SMACNA. **Sistemas de ar condicionado: Princípio Básico de Refrigeração**. 2021. Disponível em: <[Sistemas de ar condicionado: princípio básico de refrigeração | Smacna Brasil](#)>Disponível em: 28 de Dezembro de 2023.

STOECKER, Wilbert.; JONES, Jerold W. **Refrigeração e Ar Condicionado**. São Paulo: McGraw-Hill do Brasil, 1985.

VENANCIO, D. et al. **A crise hídrica e sua contextualização mundial**. Enciclopédia Biosfera, v. 11, n. 22, 2015. Disponível em: <https://www.alemdaenergia.engie.com.br/tudo-o-que-voce-precisa-saber-sobre-a-crise-hidrica/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAyeWrBhDDARIsAGP1mWS0cv-pGMi8v8-LYbjl5pqJRrIND-ogdQUPTFE_gjqQ4MtXWjQ50cUaAtUXEALw_wcB>. Acesso em dez. 2023.

Van Wylen, G., Borgnakke, C. & Sonntag, R. E. - **Fundamentos da Termodinâmica** – São Paulo: Blucher, 2013. Ed. 8º.

ANEXOS

Figura 33 - Propriedades da Água Saturada

TABELA A-3

Propriedades da água saturada

Temp. T, °C	Pressão de Saturação P _{sat} , kPa	Densidade ρ, kg/m ³		Entalpia de Vaporização h _{fg} , kJ/kg	Calor Específico c _p , J/kg · K		Condutividade Térmica k, W/m · K		Viscosidade Dinâmica μ, kg/m · s		Número de Prandtl Pr		Coeficiente de Expansão Volumétrica β, 1/K
		Líquido	Vapor		Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	Líquido	Vapor	
0,01	0,6113	999,8	0,0048	2501	4217	1854	0,561	0,0171	1,792 × 10 ⁻³	0,922 × 10 ⁻⁵	13,5	1,00	-0,068 × 10 ⁻³
5	0,8721	999,9	0,0068	2490	4205	1857	0,571	0,0173	1,519 × 10 ⁻³	0,934 × 10 ⁻⁵	11,2	1,00	0,015 × 10 ⁻³
10	1,2276	999,7	0,0094	2478	4194	1862	0,580	0,0176	1,307 × 10 ⁻³	0,946 × 10 ⁻⁵	9,45	1,00	0,733 × 10 ⁻³
15	1,7051	999,1	0,0128	2466	4186	1863	0,589	0,0179	1,138 × 10 ⁻³	0,959 × 10 ⁻⁵	8,09	1,00	0,138 × 10 ⁻³
20	2,339	998,0	0,0173	2454	4182	1867	0,598	0,0182	1,002 × 10 ⁻³	0,973 × 10 ⁻⁵	7,01	1,00	0,195 × 10 ⁻³
25	3,169	997,0	0,0231	2442	4180	1870	0,607	0,0186	0,891 × 10 ⁻³	0,987 × 10 ⁻⁵	6,14	1,00	0,247 × 10 ⁻³
30	4,246	996,0	0,0304	2431	4178	1875	0,615	0,0189	0,798 × 10 ⁻³	1,001 × 10 ⁻⁵	5,42	1,00	0,294 × 10 ⁻³
35	5,628	994,0	0,0397	2419	4178	1880	0,623	0,0192	0,720 × 10 ⁻³	1,016 × 10 ⁻⁵	4,83	1,00	0,337 × 10 ⁻³
40	7,384	992,1	0,0512	2407	4179	1885	0,631	0,0196	0,653 × 10 ⁻³	1,031 × 10 ⁻⁵	4,32	1,00	0,377 × 10 ⁻³
45	9,593	990,1	0,0655	2395	4180	1892	0,637	0,0200	0,596 × 10 ⁻³	1,046 × 10 ⁻⁵	3,91	1,00	0,415 × 10 ⁻³
50	12,35	988,1	0,0831	2383	4181	1900	0,644	0,0204	0,547 × 10 ⁻³	1,062 × 10 ⁻⁵	3,55	1,00	0,451 × 10 ⁻³
55	15,76	985,2	0,1045	2371	4183	1908	0,649	0,0208	0,504 × 10 ⁻³	1,077 × 10 ⁻⁵	3,25	1,00	0,484 × 10 ⁻³
60	19,94	983,3	0,1304	2359	4185	1916	0,654	0,0212	0,467 × 10 ⁻³	1,093 × 10 ⁻⁵	2,99	1,00	0,517 × 10 ⁻³
65	25,03	980,4	0,1614	2346	4187	1926	0,659	0,0216	0,433 × 10 ⁻³	1,110 × 10 ⁻⁵	2,75	1,00	0,548 × 10 ⁻³
70	31,19	977,5	0,1983	2334	4190	1936	0,663	0,0221	0,404 × 10 ⁻³	1,126 × 10 ⁻⁵	2,55	1,00	0,578 × 10 ⁻³
75	38,58	974,7	0,2421	2321	4193	1948	0,667	0,0225	0,378 × 10 ⁻³	1,142 × 10 ⁻⁵	2,38	1,00	0,607 × 10 ⁻³
80	47,39	971,8	0,2935	2309	4197	1962	0,670	0,0230	0,355 × 10 ⁻³	1,159 × 10 ⁻⁵	2,22	1,00	0,653 × 10 ⁻³
85	57,83	968,1	0,3536	2296	4201	1977	0,673	0,0235	0,333 × 10 ⁻³	1,176 × 10 ⁻⁵	2,08	1,00	0,670 × 10 ⁻³
90	70,14	965,3	0,4235	2283	4206	1993	0,675	0,0240	0,315 × 10 ⁻³	1,193 × 10 ⁻⁵	1,96	1,00	0,702 × 10 ⁻³
95	84,55	961,5	0,5045	2270	4212	2010	0,677	0,0246	0,297 × 10 ⁻³	1,210 × 10 ⁻⁵	1,85	1,00	0,716 × 10 ⁻³
100	101,33	957,9	0,5978	2257	4217	2029	0,679	0,0251	0,282 × 10 ⁻³	1,227 × 10 ⁻⁵	1,75	1,00	0,750 × 10 ⁻³
110	143,27	950,6	0,8263	2230	4229	2071	0,682	0,0262	0,255 × 10 ⁻³	1,261 × 10 ⁻⁵	1,58	1,00	0,798 × 10 ⁻³
120	198,53	943,4	1,121	2203	4244	2120	0,683	0,0275	0,232 × 10 ⁻³	1,296 × 10 ⁻⁵	1,44	1,00	0,858 × 10 ⁻³
130	270,1	934,6	1,496	2174	4263	2177	0,684	0,0288	0,213 × 10 ⁻³	1,330 × 10 ⁻⁵	1,33	1,01	0,913 × 10 ⁻³
140	361,3	921,7	1,965	2145	4286	2244	0,683	0,0301	0,197 × 10 ⁻³	1,365 × 10 ⁻⁵	1,24	1,02	0,970 × 10 ⁻³
150	475,8	916,6	2,546	2114	4311	2314	0,682	0,0316	0,183 × 10 ⁻³	1,399 × 10 ⁻⁵	1,16	1,02	1,025 × 10 ⁻³
160	617,8	907,4	3,256	2083	4340	2420	0,680	0,0331	0,170 × 10 ⁻³	1,434 × 10 ⁻⁵	1,09	1,05	1,145 × 10 ⁻³
170	791,7	897,7	4,119	2050	4370	2490	0,677	0,0347	0,160 × 10 ⁻³	1,468 × 10 ⁻⁵	1,03	1,05	1,178 × 10 ⁻³
180	1002,1	887,3	5,153	2015	4410	2590	0,673	0,0364	0,150 × 10 ⁻³	1,502 × 10 ⁻⁵	0,983	1,07	1,210 × 10 ⁻³
190	1254,4	876,4	6,388	1979	4460	2710	0,669	0,0382	0,142 × 10 ⁻³	1,537 × 10 ⁻⁵	0,947	1,09	1,280 × 10 ⁻³
200	1553,8	864,3	7,852	1941	4500	2840	0,663	0,0401	0,134 × 10 ⁻³	1,571 × 10 ⁻⁵	0,910	1,11	1,350 × 10 ⁻³
220	2318	840,3	11,60	1859	4610	3110	0,650	0,0442	0,122 × 10 ⁻³	1,641 × 10 ⁻⁵	0,865	1,15	1,520 × 10 ⁻³
240	3344	813,7	16,73	1767	4760	3520	0,632	0,0487	0,111 × 10 ⁻³	1,712 × 10 ⁻⁵	0,836	1,24	1,720 × 10 ⁻³
260	4688	783,7	23,69	1663	4970	4070	0,609	0,0540	0,102 × 10 ⁻³	1,788 × 10 ⁻⁵	0,832	1,35	2,000 × 10 ⁻³
280	6412	750,8	33,15	1544	5280	4835	0,581	0,0605	0,094 × 10 ⁻³	1,870 × 10 ⁻⁵	0,854	1,49	2,380 × 10 ⁻³
300	8581	713,8	46,15	1405	5750	5980	0,548	0,0695	0,086 × 10 ⁻³	1,965 × 10 ⁻⁵	0,902	1,69	2,950 × 10 ⁻³
320	11,274	667,1	64,57	1239	6540	7900	0,509	0,0836	0,078 × 10 ⁻³	2,084 × 10 ⁻⁵	1,00	1,97	
340	14,586	610,5	92,62	1028	8240	11,870	0,469	0,110	0,070 × 10 ⁻³	2,255 × 10 ⁻⁵	1,23	2,43	
360	18,651	528,3	144,0	720	14,690	25,800	0,427	0,178	0,060 × 10 ⁻³	2,571 × 10 ⁻⁵	2,06	3,73	
374,14	22,090	317,0	317,0	0	—	—	—	—	0,043 × 10 ⁻³	4,313 × 10 ⁻⁵			

Fonte: Çengel, 2013.