

UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARANÁ

EDIPO DE MEDEIROS AZARO JUNIOR

**EXTRAÇÃO DE ÁGUA DA ATMOSFERA: UMA REVISÃO
COMPARATIVA DE MÉTODOS**

CURITIBA

2021

EDIPO DE MEDEIROS AZARO JUNIOR

**EXTRAÇÃO DE ÁGUA DA ATMOSFERA: UMA REVISÃO COMPARATIVA
DE MÉTODOS**

Projeto apresentado ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica, Setor de Tecnologia, Universidade Federal do Paraná, como requisito parcial à obtenção do título de Especialista em Energias Renováveis e Eficiência Energética.

Orientador: Prof. Dr. Christian Scapulatempo Strobel.

CURITIBA

2021

RESUMO

Este trabalho trata-se de um estudo de revisão de literatura com abordagem qualitativa e quantitativa onde serão analisados quatro métodos de extração de água da atmosfera tendo como objetivo a comparação das viabilidades, custos e métodos de extração de água da atmosfera trazendo suas técnicas, valores estimados e métodos de implementação. Foi utilizada a plataforma de periódicos do portal da CAPES entre outros meios para coleta dos artigos de pesquisa. Os métodos escolhidos foram: extração de água do ar por refrigeração direta do ar úmido abaixo do ponto de orvalho, extração de água do ar por coleta de nevoeiro, Warka Water – colheita de água do ar rarefeito e extração por destilador solar tubular.

Palavras-chave: Extração de água da atmosfera, extração de água do ar, colheita DE de água do ar.

ABSTRACT

This work is a literature review study with a qualitative and quantitative approach where four methods of extracting water from the atmosphere will be analyzed with the objective of comparing the feasibility, costs and methods of extracting water from the atmosphere, bringing its techniques, values estimates and methods of implementation. The CAPES portal's journal platform was used, among other means, to collect research articles. The methods chosen were: water extraction from the air by direct cooling of the humid air below the dew point, water extraction from the air by collecting fog, Warka Water - harvesting water from the rarefied air and extraction by tubular solar distiller.

Keywords: Extraction of water from the atmosphere, extraction of water from the air, harvesting of water from the air.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

FIGURA 1 – DIAGRAMA DAS CATEGORIAS DE EXTRAÇÃO DE ÁGUA DO AR.....	6
FIGURA 2 – DIAGRAMA DO MÉTODO DE RESFRIAMENTO ABAIXO DO PONTO DE ORVALHO.....	8
FIGURA 3 – SISTEMA COLETOR DE NEVOEIRO PADRÃO.....	11
FIGURA 4 – PAINEL DE 18 M2 COM OS TANQUES RESERVATÓRIOS (ESPANHA).....	11
FIGURA 5 – TRÊS TIPOS DE TRAMAS UTILIZADAS EM MALHAS DE COLETA DE NEVOEIRO.....	12
FIGURA 6 – COLETOR PADRÃO DE BAIXO CUSTO 1M X 1M EM CERRO ORARA, PERU.....	13
FIGURA 7 – VARIAÇÕES DA ESTRUTURA WARKA WATER AO LONGO DO TEMPO.....	14
FIGURA 8 – ESTRUTURA DA TORRE.....	14
FIGURA 9 – MÓDULOS DE ABSORÇÃO.....	16
FIGURA 10 - MÓDULOS DE REGENERAÇÃO.....	18

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 – RESULTADO FINAL DO EXPERIMENTO POR LOCALIDADES.....	10
TABELA 2 – TABELA COMPARATIVA DOS MÉTODOS.....	19

CONTEÚDO

1 INTRODUÇÃO	6
2 OBJETIVOS	8
3 MÉTODOLOGIA	8
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	8
4.1 EXTRAÇÃO DE ÁGUA ATMOSFÉRICA POR RESFRIAMENTO DE AR ÚMIDO ABAIXO DO PONTO DE ORVALHO.....	8
4.1.1 Simulações e Resultados	10
4.1.2 Aspectos Financeiros Do Projeto.....	11
4.2 EXTRAÇÃO POR COLETA DE NEVOEIRO	11
4.2.1 Simulações E Resultados	13
4.2.2 Aspectos Financeiros Do Projeto.....	13
4.3 WARKA WATER – COLHEITA DE ÁGUA DO AR RAREFEITO	14
4.3.1 Simulações E Resultados	15
4.3.2 Aspectos Financeiros Do Projeto.....	16
4.4 EXTRAÇÃO DE ÁGUA DA ATMOSFERA POR UM DESTILADOR SOLAR TUBULAR	
16	
4.4.1 Simulações e Resultados	18
4.4.2 Aspectos Financeiros do Projeto	19
5 CONCLUSÕES	20
6 AGRADECIMENTOS	21
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	22

1 INTRODUÇÃO

Água potável para consumo é um bem indispensável para a vida, porém em muitas localidades este bem é escasso e não garantido para parcelas da população. Em julho de 2017 as Nações Unidas em sua Assembleia Geral, reconheceu a água para uso pessoal e doméstico como um direito, assim como sua qualidade e quantidade suficiente para consumo (Cattani et al. 2018).

Em todo planeta estima-se que 2, 1 bilhões de pessoas não têm acesso regular a água e outros 4,5 bilhões não tem acesso a saneamento básico e água limpa para consumo e uso doméstico. Em situações de extrema pobreza vinculada com ausência de água limpa populações se expõem a doenças já superadas em locais com água tratada, como cólera, febre tifoide entre outras (Jarimi et al. 2020).

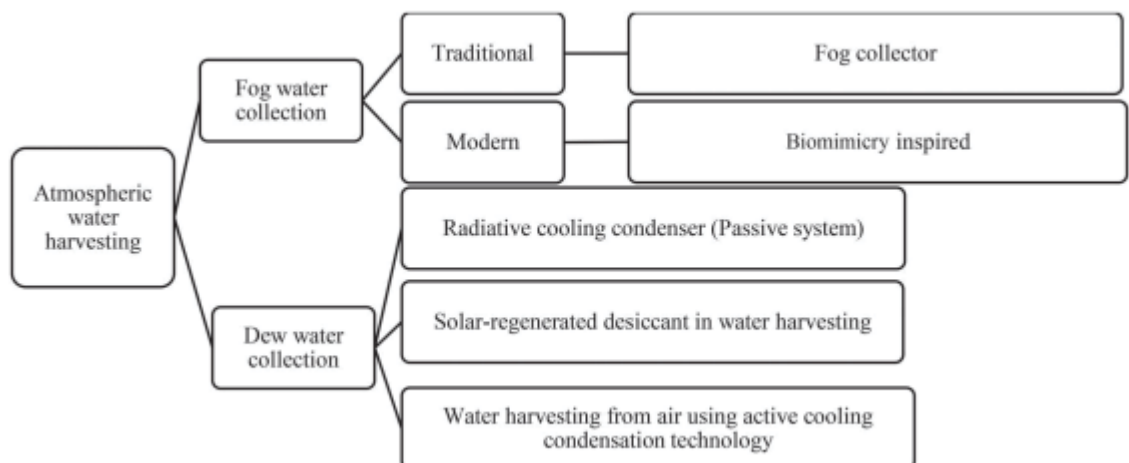
A dificuldade de obtenção tanto por questões geográficas quanto climáticas tem motivado pesquisadores ao redor do mundo a procurarem fontes alternativas de coleta e tratamento de água para consumo.

Diante de diversos métodos, a extração de água do ar tem estado em voga nos últimos anos como uma opção de custo razoável e de fácil implementação. Inúmeros métodos têm sido desenvolvidos para que este método de “produção” de água se torne viável tanto operacionalmente quanto economicamente.

Podemos dividir a extração de água da atmosfera em algumas categorias como demonstrado na figura abaixo.

FIGURA 1 – DIAGRAMA DAS CATEGORIAS DE EXTRAÇÃO DE ÁGUA DO AR

FIGURA 1 – DIAGRAMA DAS CATEGORIAS DE EX 1



FONTE: JARIMI ET AL. (2020)

Neste estudo será abordado quatro métodos já implementados ao redor do mundo, com a técnica, resultados e fatores econômicos para que possamos concluir a viabilidade e a particularidade de cada método.

A pergunta de pesquisa deste estudo, desenvolvida pelo método PVO é: Qual a viabilidade dos quatro métodos estudados para atendimento de escassez de água?

A justificativa de pesquisa deste artigo foi pautada em demonstrar a facilidade de implementação, custo e operacionalidade de alguns métodos de extração de água da atmosfera. Suas limitações e possibilidades.

2 OBJETIVOS

Estudar e comparar quatro métodos de coleta de água da atmosfera comparando custos e viabilidade de implementação.

3 MÉTODOLOGIA

As informações explanadas neste trabalho foram obtidas através de quatro artigos científicos retirados do portal de periódicos da CAPES, englobando quatro diferentes métodos de extração de água do ar atmosférico.

Os métodos escolhidos foram: extração de água do ar por refrigeração direta do ar úmido abaixo do ponto de orvalho, extração de água do ar por coleta de nevoeiro, Warka Water – colheita de água do ar rarefeito e extração por destilador solar tubular.

Com este trabalho será possível compreender quatro métodos de aplicação na extração de água do ar atmosférico, suas diferenças, operacionabilidade e viabilidade.

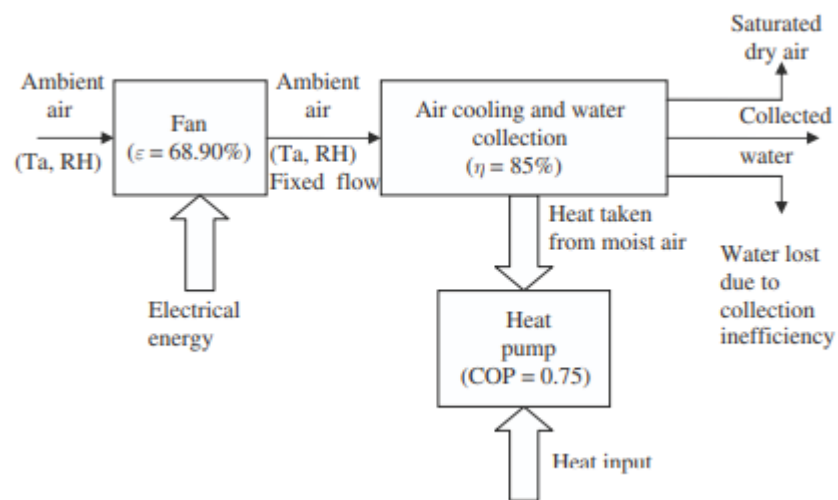
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 EXTRAÇÃO DE ÁGUA ATMOSFÉRICA POR RESFRIAMENTO DE AR ÚMIDO ABAIXO DO PONTO DE ORVALHO

O método em questão é baseado na extração de água da atmosfera através de resfriamento abaixo do ponto de orvalho utilizando um chiller de amônia ou brometo de lítio (LiBr) para condensação da água no ar através de um sistema de concentração solar.

Segundo Scrivani e Bardi (2008) o sistema opera através de um ventilador que opera com intuito de garantir o fluxo constante de volume de ar no trocador de calor. Esta vazão de ar, neste exemplo é de 8000 m³/h e a eficiência do ventilador se dá por três aspectos: eficiência intrínseca, eficiência da correia e eficiência do motor e é demonstrado no diagrama abaixo.

FIGURA 2 – DIAGRAMA DO MÉTODO DE RESFRIAMENTO ABAIXO DO PONTO DE ORVALHO



FONTE: SCRIVANI E BARDI (2008)

No estágio seguinte o trocador de calor irá promover tanto o resfriamento quanto a coleta da água no reservatório, expulsando o ar saturado assim como a água perdida por ineficiência do sistema de coleta.

O chiller, nesta simulação, é considerado um trocador de calor padrão com COP fixado e temperatura da parte fria em 12° C. A energia alimentadora do Chiller provém de um coletor parabólico solar porém não especificado no estudo (Scrivani; Bardi 2008).

Para o cálculo das propriedades termodinâmicas os autores também ressaltam que foi levado em consideração os dados meteorológicos de oito pontos em três diferentes países, baseando-se em radiação solar global, temperatura ambiente e umidade relativa do ar, assim quanto maior a temperatura do local, maior a necessidade de energia para o processo de resfriamento do ar e quanto menor a umidade relativa do ar menor teor de água para extração.

4.1.1 Simulações e Resultados

Com as localidades e suas características definidas foram realizadas análises meteorológicas de hora em hora nos três países escolhidos para o estudo (Jordânia, Libano e Marrocos) e em cada local estas análises foram extraídas de dois a três regiões diferentes trazendo conclusões a respeito do comportamento sazonal da umidade relativa. Em localidades próximas do mar não se pode verificar flutuação considerável do índice, já em regiões localizadas no interior o pico de umidade é atingido somente no inverno quando as temperaturas estão mais baixas, isto explica a baixa coleta de água nestas regiões, já que com a temperatura mais alta se faz necessário uma maior quantidade de energia de refrigeração para resfriamento do ar e a baixa umidade relativa, influência diretamente na pouca coleta de água (Scrivani; Bardi 2008).

Realizando o cálculo das propriedades termodinâmicas de entalpia do ar úmido (kJ por kg de ar seco), teor de água e umidade absoluta (g de água por kg de ar seco), entalpia no ponto de orvalho (kJ por kg de ar seco), densidade do ar úmido (kg de ar úmido / metro cúbico de ar úmido), densidade do ar seco (kg de ar seco / metro cúbico de ar seco) podemos obter pela diferença dos valores meteorológicos (entrada) e os valores de chegada no final do processo temos os pontos definidos de a quantidade potencial de água que pode ser extraído por quilograma de ar seco e a quantidade de entalpia que deve ser extraída por quilograma de ar seco (Scrivani; Bardi 2008).

Com o volume de fluxo de ar fixado em 8000m³/h podemos calcular também o volume de ar seco. Podemos calcular também o volume de água extraída em uma hora multiplicando a diferença entre a umidade absoluta vezes o fluxo de ar seco. O custo da energia térmica também pode ser mensurado substituindo a diferença de entalpia entre o ponto inicial e final e multiplicando-o pelo fluxo de ar seco.

No quadro abaixo é possível verificar o resultado final deste experimento.

TABELA 1 – RESULTADO FINAL DO EXPERIMENTO POR LOCALIDADES

Location	Thermal energy for the chiller (kW h/year)	Electric energy for the fan (kW h/year)	Electricity/heat fraction (%)	Total energy consumption (kW h/year)	Water production (m ³ /year)	Specific energy (kW h/m ³)
Bayrouth	167893.82	9019.73	5.1	176913.55	69.2	2556.46
Tripoli	182070.36	9003.79	4.7	191074.15	84.7	2256.54
Rayack	37531.42	3053.12	7.5	40584.54	5.1	7910.04
Amman	93423.66	6636.49	6.6	100060.15	20.7	4826.71
Irbid	113231.56	7336.24	6.1	120567.80	32.4	3724.23
Casablanca	131574.83	9577.69	6.8	141152.52	56.77	2486.55
Beni-Mellal	101852.73	6243.95	5.8	108096.68	21.82	4953.36

FONTE: SCRIVANI E BARDI (2008)

4.1.2 Aspectos Financeiros Do Projeto

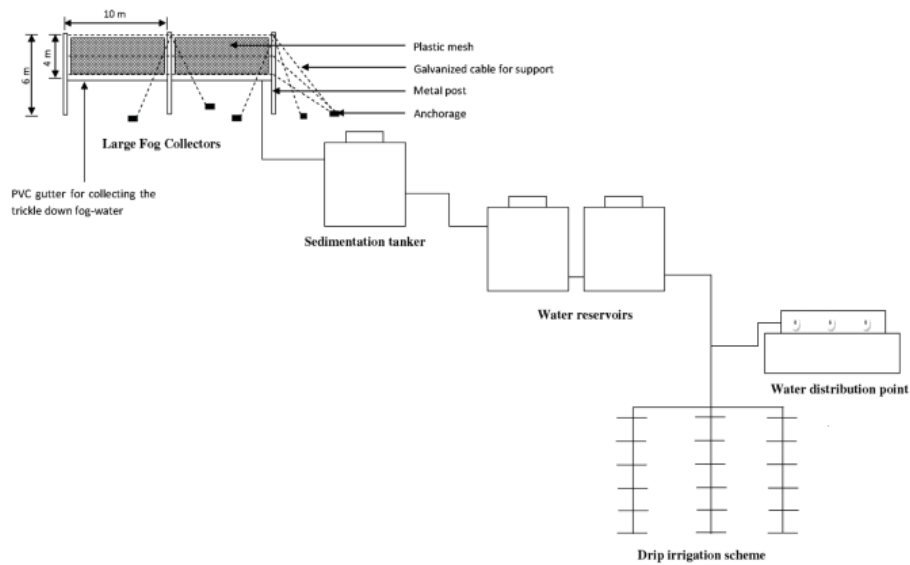
Importante definir a eficiência ideal do ventilador pois por se tratar de alimentação por energia elétrica irá influenciar diretamente no custo do litro de água extraído. Também se faz fundamental que o sistema do trocador de calor e coletor estejam configurados harmonicamente para também evitar impactos no valor da água coletada, já que a eficiência energética depende diretamente do coeficiente de calor além da produção que depende da eficiência na coleta (Scrivani; Bardi 2008).

Verifica-se também uma alta dependência das estações do ano em relação ao volume de água produzido, além de um alto consumo energético comparado ao método e osmose reversa (Scrivani; Bardi 2008).

4.2 EXTRAÇÃO POR COLETA DE NEVOEIRO

Este método é baseado na observação do processo natural de coleta de água de nevoeiro por pinheiros e coníferas. Este fenômeno tem ocorrência em diversas localidades, principalmente montanhosas e com ausência de chuvas onde a vegetação absorve suas necessidades de água quase que exclusivamente de nevoeiros (Sampurno Bruijnzeel et al. 2005). Na figura abaixo podemos ver o sistema detalhado.

FIGURA 3 – SISTEMA COLETOR DE NEVOEIRO PADRÃO



FONTE: FESSEHAYE ET AL. (2014)

O sistema acima mostra como é construída uma planta de coleta. Geralmente os sistemas são instalados em áreas montanhosas onde são esticadas telas de polietileno e polipropileno com intuito de captura de nevoeiro. Ao passar por estas telas as gotículas de água escorrem pela malha e são canalizadas em tubos de PVC até um tanque de sedimentação, separando qualquer partícula em suspensão. Deste tanque a água segue para tanques reservatórios que podem distribuir água tanto para consumo quanto para irrigação de lavoura. Na figura abaixo podemos ver a tela e os tanques reservatórios.

FIGURA 4 – PAINEL DE 18 M2 COM OS TANQUES RESERVATÓRIOS (ESPANHA)



FONTE: KLEMM ET AL. (2012)

4.2.1 Simulações E Resultados

Diversos métodos de captura de nevoeiros tanto para consumo humano quanto para agricultura já foram utilizados na história, como cisternas abaixo de árvores e pedras devidamente empilhadas que ao dia esquentam e a noite condensam água da atmosfera. Em 1969 iniciou-se um projeto pioneiro de coleta de nevoeiro na África do Sul (Mpumalanga) visando abastecimento temporário para um acampamento da Força Aérea local. O projeto consistia em redes plásticas de 28m x 3.6m perpendiculares ao solo para evitar danos pelo vento, foi coletado nesta ocasião 31m³ de água por mês durante aproximadamente um ano. Também foi verificado sucesso em coleta em Chungungo, uma vila de pescadores no norte do Chile onde foram instalados 100 coletores de nevoeiro de 12m x 4m produzindo 33 litros/dia de água potável para cada um dos 300 habitantes do vilarejo (Fessehayé et al. 2014).

Segundo Schemanauer e Cereceda (1994), o material utilizado nas telas é geralmente polietileno ou polipropileno com um coeficiente de sombreamento de 35%. As fibras da malha seguem um padrão triangular com fibra plana de 1mm de largura por 0,1mm de espessura para atingir um tamanho de poro de 10mm. O custo da malha é baixo e tem uma durabilidade de aproximadamente 10 anos. Abaixo modelo aumentado das tramas.

FIGURA 5 – TRÊS TIPOS DE TRAMAS UTILIZADAS EM MALHAS DE COLETA DE NEVOEIRO



FONTE: KLEMM ET AL. (2012)

4.2.2 Aspectos Financeiros Do Projeto

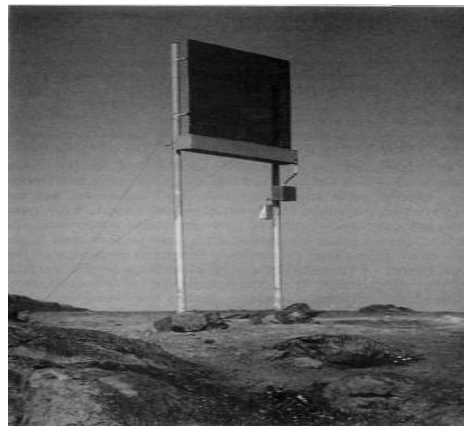
A técnica de coleta de nevoeiro é predominantemente de baixo custo e não requer despesas com suprimento de energia elétrica e manutenção especializada. Geralmente os próprios membros da comunidade são treinados para reparos na

estrutura e manutenção do sistema como um todo. O tratamento da água armazenada também não requer grandes investimentos já que pode ser tratada com cloro e outros métodos padrão de armazenamento. A instalação citada em Chungungo (Chile) teve um custo inicial estimado em USD 37.000 e os custos mensais foram rateados entre a comunidade através de pequenas taxas pagas pela população. (Fessehaye et al. 2014)

As desvantagens do processo geralmente se dão pela localização, pois se faz necessária a instalação em áreas costeiras de altitude elevada. Também é uma limitação a sazonalidade de algumas áreas que produzem somente em estações mais frias e com alta umidade relativa do ar (Fessehaye et al. 2014).

Como relatado por Schemanauer e Cereda (1994) existem projetos de telas para captura de nevoeiros partindo de USD 100, de fácil operação e manutenção como da figura abaixo.

FIGURA 6 – COLETOR PADRÃO DE BAIXO CUSTO 1M X 1M EM CERRO ORARA, PERU



FONTE: SCHEMANAUER E CEREDA (1994)

4.3 WARKA WATER – COLHEITA DE ÁGUA DO AR RAREFEITO

A colheita de água do ar rarefeito se dá em localidade semiárida onde as chuvas são escassas e chegam somente de 250 a 650 mm por ano. Neste estudo o autor demonstra a viabilidade da coleta de água da atmosfera na região de Marathwada localizada em um estado da Índia chamado Maharashtra onde a temperatura varia de 20°C (noite) a 38°C (dia) com umidade relativa do ar variando de 40% a 60% e excedendo os 85% nas temporadas de monções (Mishra 2019).

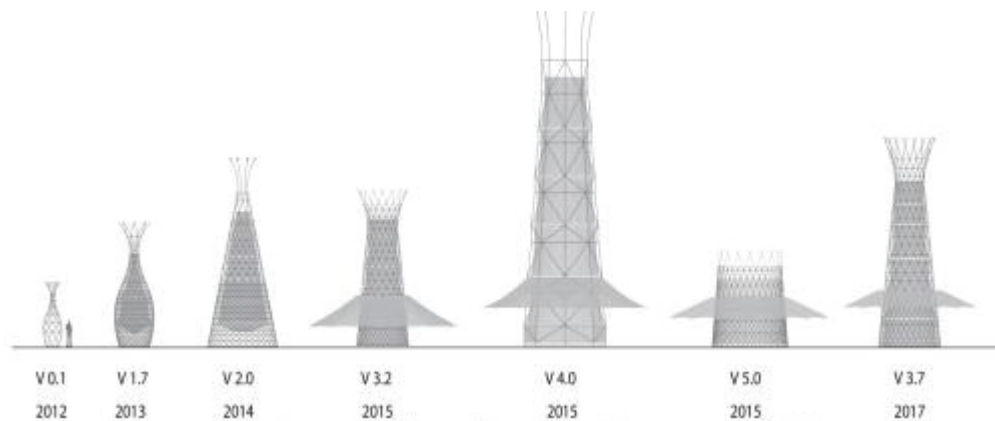
A coleta se dá através da construção de uma torre com malha especial que consegue capturar água quando o ar frio passa pelo tecido, coletando, resfriando e

armazenando. Essa estrutura pode funcionar em localidades onde a umidade relativa do ar varia de 50% a 70% e a temperatura é acima de 40°C (Mishra 2019).

4.3.1 Simulações E Resultados

O método é chamado de Warka Water. A estrutura da torre variou com o tempo e os materiais utilizados também como mostra na figura abaixo.

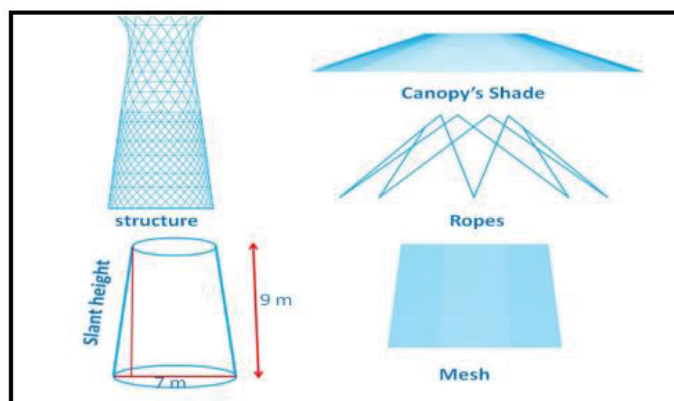
FIGURA 7 – VARIAÇÕES DA ESTRUTURA WARKA WATER AO LONGO DO TEMPO



FONTE: MISHRA (2019)

A estrutura é dotada de uma base estabilizadora, um dossel que serve de cobertura, e as amarrações entre as telas e cordas e pode produzir até 100 litros por dia de água potável e é exemplificada na figura abaixo.

FIGURA 8 – ESTRUTURA DA TORRE



FONTE: MISHRA (2019)

4.3.2 Aspectos Financeiros Do Projeto

A torre não requer energia elétrica para seu funcionamento e demanda um baixo custo de realização, já que os materiais utilizados são biodegradáveis, para que não impactem negativamente na natureza, como bambu, cordas de fibras naturais.

O custo inicial de uma torre de 9m é de USD 250 e o custo final gira em torno de USD 450 em câmbio atual. Gerando 100 litros de água potável/ dia (Mishra 2019).

4.4 EXTRAÇÃO DE ÁGUA DA ATMOSFERA POR UM DESTILADOR SOLAR TUBULAR

Nesta experiência foi executada uma montagem de um TSS (Tubular Solar Still), comum em outras experiências de dessalinização e extração de água do ar em ambiente úmidos, porém com algumas alterações de formato e testado especificamente em uma localidade com baixíssimo nível de umidade relativa (12%). A cidade teste deste estudo foi Hail, na Arábia Saudita e os modelos dos TSS se baseiam em uma estrutura tubular com uma calha interna com tecido de algodão embebido em solução dessecante e um ventilador em uma das extremidades para insuflar ar na estrutura.

A estrutura do experimento consiste em cinco módulos tubulares com um “cooler de computador” em quatro das extremidades, operando em velocidades diferentes de: canalização natural do ar, 0.5 m/s, 1.0 m/s, 3.0 m/s e 4.0 m/s. Todos os tubos estão com a mesma quantidade de dessecante e com a mesma concentração no início do processo de absorção como demonstrado na figura abaixo (Elashmawy 2020).

FIGURA 9 – MÓDULOS DE ABSORÇÃO



FONTE: ELASHMAWY (2020)

Para determinar a concentração da solução dessecante se faz uso da seguinte equação:

$$x = \frac{md}{ms} = \frac{md}{md + mw}$$

$$ms = mt - mb$$

onde:

md = massa do dessecante;

ms = massa da solução;

mw = massa de conteúdo de água;

mb = massa da cama, onde ficará o tecido com a solução dessecante;

mt = massa total.

A água absorvida e evaporada durante o processo de absorção e regeneração é determinada pelas seguintes equações:

$$mab = mt,sn - mt,en$$

$$mev = mt,sd - mt,ed$$

onde:

mab = massa de umidade absorvida

m_{ev} = massa de água evaporada

$m_{t,sn} = m_{t,en}$ = massas totais no início da noite e horas finais

$m_{t,sd} = m_{t,ed}$ = massas totais no início do dia e horas de término

Para determinação da eficiência térmica do sistema utilizando a proporção de energia consumida na evaporação da água para energia recebida pelos raios solares no TSS, utiliza-se a seguinte equação:

$$\eta = \frac{(m_{ev}) h_{fg}}{\Delta t I A}$$

onde:

Δt = intervalo de tempo;

h_{fg} = calor latente de evaporação

I = intensidade solar

A = área projetada do TSS

(Elashmawy 2020).

4.4.1 Simulações e Resultados

Os testes foram realizados na cidade de Hail, Arábia Saudita em estação de baixa umidade relativa do ar, onde cinco tubos cilíndricos de acrílico (PMMA) pintado de preto, foram construídos nas mesmas dimensões (0.5m x 0.1m) e dispostos lado a lado ao mês de junho com umidade relativa de 12 %.

Quatro destes tubos eram equipados com um ventilador de computador (cooler) em uma das saídas e um apenas com as saídas abertas simulando fluxo de ar normal. No interior dos cinco tubos há uma estrutura retangular com tecido de algodão saturado de CaCl_2 (Cloreto de Cálcio anidro) para utilização como substância dessecante (Elashmawy 2020).

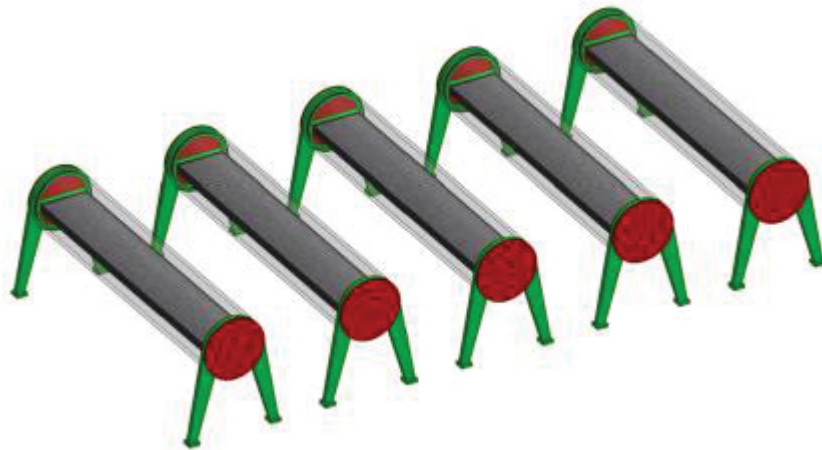
No experimento foi utilizado o dessecante bruto distribuído entre os tecidos de algodão, para simular condições desérticas onde não se pode contar com água para preparo de soluções.

A experiência foi realizada em dois dias e o processo de absorção foi realizado a noite e de regeneração ao dia.

Foi verificado o aumento de absorção proporcional ao aumento de velocidade do ventilador, e o equipamento que rodava a 4m/s foi o que teve melhor desempenho em absorção de água nos dois dias.

Para o processo de regeneração todos os ventiladores foram retirados e substituídos por adaptadores de parada cega, conforme figura abaixo, e expostos aos raios solares durante o dia das 05:30 as 17:30.

FIGURA 10 - MÓDULOS DE REGENERAÇÃO



FONTE: ELASHMAWY (2020)

Levando em consideração o módulo que recebeu fluxo de ar na velocidade de 4m/s, a intensidade solar média é de 603 W/m² com temperatura ambiente variando de 29.6°C a 35.7°C a temperatura da calha com dessecante sobe até 90°C. Assim é possível verificar que aumentando o fluxo de ar durante o processo de absorção aumentam também tanto a evaporação (467 ml/m² dia) quanto a eficiência térmica (25%).

4.4.2 Aspectos Financeiros do Projeto

O custo total do projeto incluindo manutenção e operação gira em torno de USD 409 e o custo de água por litro (CPL) pode ser obtido na divisão entre o custo total do processo pelo rendimento estimado durante a vida útil do dispositivo.

5 CONCLUSÕES

Para conclusão do estudo foi levado em conta quatro dos principais índices para avaliação de viabilidade de projeto: custo total, necessidade do uso de energia elétrica, produção e complexidade de instalação. Cada um dos métodos irá variar da localidade escolhida para implementação, tanto pelas particularidades de clima, estrutura quanto treinamento de pessoal e envolvimento da comunidade no projeto e é demonstrado na tabela abaixo.

Outro dado que também influenciará é qual o número de unidades instaladas, pois contribuirá diretamente nos dados de aumento da produção, custo e pessoas envolvidas.

TABELA 2 – TABELA COMPARATIVA DOS MÉTODOS

Método	Custo Total (USD)	Uso de energia elétrica	Produção	Implementação
Extração de água do ar por refrigeração direta do ar úmido abaixo do ponto de orvalho	Não especificado	sim	41,53 m ³ /por ano (média entre as localidades testadas)	complexa
Extração de água do ar por coleta de nevoeiro	37.000	não	15.000 l/dia	fácil
Warka Water – colheita de água do ar rarefeito	450	não	100 l/dia	fácil
Extração por destilador solar tubular	409	sim	467 ml/m ² dia	media

FONTE: O AUTOR (2021)

Pôde-se verificar também nos quatro métodos a importância do envolvimento da população beneficiada, tanto para construção quanto para manutenção. De acordo com a aceitação da comunidade beneficiada o custo de operação, manutenção e armazenamento da água produzida pode ser rateado em taxas simbólicas pela população evitando a dependência externa de patrocinadores ou iniciativa pública ou privada.

6 AGRADECIMENTOS

Agradeço a toda a dedicação e atenção do meu orientador Professor Christian Scapulatempo Strobel, Ph.D. e ao DEMEC - Departamento de Engenharia Mecânica da UFPR, que hospeda esta pós graduação. Sem a bolsa de estudos que me foi concedida seria impossível chegar até aqui. Agradeço também a minha esposa Priscila Isabel Sexas Ázaro e minha filha Maria Eduarda Sexas Ázaro que doaram um tempo irremediável para que eu pudesse executar este estudo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CATTANI, L.; MAGRINI, A.; CATTANI, P. Water extraction from air by refrigeration-experimental results from an integrated system application. **Applied Sciences (Switzerland)**, v. 8, n. 11, 2018.

ELASHMAWY, M. Experimental study on water extraction from atmospheric air using tubular solar still. **Journal of Cleaner Production**, v. 249, p. 119322, 2020. Elsevier Ltd. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119322>>. .

FESSEHAYE, M.; ABDUL-WAHAB, S. A.; SAVAGE, M. J.; et al. Fog-water collection for community use. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 29, n. December 2018, p. 52–62, 2014.

GLICKMAN T.S. **Glossary of Meteorology**. (Ed.), (2000), Second Edition, American Meteorological Society: Boston.

JARIMI, H.; POWELL, R.; RIFFAT, S. Review of sustainable methods for atmospheric water harvesting. **International Journal of Low-Carbon Technologies**, v. 15, n. 2, p. 253–276, 2020.

KLEMM, O.; SCHEMENAUER, R. S.; LUMMERICH, A.; et al. Fog as a fresh-water resource: Overview and perspectives. **Ambio**, v. 41, n. 3, p. 221–234, 2012.

MISHRA, S. S. Warka Water Tower : An Innovative Method of Water Harvesting from Thin Air in Semi-Arid Regions. , v. 7, n. 1, p. 100–104, 2019.

SAMPURNO BRUIJNZEEL, L.; EUGSTER, W.; BURKARD, R. Fog as a Hydrologic Input. **Encyclopedia of Hydrological Sciences**, , n. April, 2005.

SCHEMENAUER, R. S.; CERECEDA, P. A proposed standard fog collector for use in high-elevation regions. **Journal of Applied Meteorology**, n. November, 1994.

SCRIVANI, A.; BARDI, U. A study of the use of solar concentrating plants for the atmospheric water vapour extraction from ambient air in the Middle East and Northern Africa region. **Desalination**, v. 220, n. 1–3, p. 592–599, 2008.