



CURSO DE GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA ELÉTRICA



Universidade Federal
de Campina Grande

ANDRÉIA DA SILVA GOMES



Centro de Engenharia
Elétrica e Informática

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

PROPOSTAS DE DESSALINIZADORES SOLARES PASSIVO, ATIVO, HÍBRIDO E
CONTÍNUO.



Departamento de
Engenharia Elétrica



Campina Grande
2019

ANDRÉIA DA SILVA GOMES

PROPOSTAS DE DESSALINIZADORES SOLARES PASSIVO, ATIVO, HÍBRIDO E CONTÍNUO

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrotécnica

Orientador:

Professor Luis Reyes Rosales Montero, D. Sc.

Campina Grande
2019

ANDRÉIA DA SILVA GOMES

PROPOSTAS DE DESSALINIZADORES SOLARES PASSIVO, ATIVO, HÍBRIDO E CONTÍNUO.

*Trabalho de Conclusão de Curso submetido à
Coordenação do Curso de Engenharia Elétrica
da Universidade Federal de Campina Grande
como parte dos requisitos necessários para a
obtenção do grau de Bacharel em Ciências no
Domínio da Engenharia Elétrica.*

Área de Concentração: Eletrotécnica

Aprovado em 12 / 11 / 2019

Professor Roberto Silva de Siqueira
Universidade Federal de Campina Grande
Avaliador

Professor Luis Reyes Rosales Montero, D. Sc.
Universidade Federal de Campina Grande
Orientador, UFCG

Dedico este trabalho à Deus. Minha fonte de força e fé. Sem ele nada seria possível.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todos que direta e indiretamente contribuíram para a realização desse trabalho.

Agradeço também à minha mãe, Socorro e ao meu pai Gilvan, por terem se esforçado tanto para me proporcionar uma boa educação, por terem me alimentado com saúde, força e coragem, as quais que foram essenciais para superação de todas as adversidades ao longo desta caminhada. Amo muito vocês.

Agradeço ao meu irmão Eduardo, e as minhas irmãs Eliane e Elaine, pelos conselhos acadêmicos, e todo o amor e apoio nos momentos difíceis.

Agradeço ao meu orientador, o professor Luis Reyes Rosales Montero, pelo tema proposto e pelos conhecimentos adquiridos durante a execução do trabalho.

Enfim, agradeço a todos que de alguma forma, passaram pela minha vida e contribuíram para a construção de quem sou hoje.

“O sucesso é ir de fracasso em fracasso sem perder o entusiasmo.”

Winston Churchill.

RESUMO

A região semiárida do Nordeste brasileiro é reconhecida a bastante tempo, como uma área altamente vulnerável ao fenômeno natural cíclico da seca. Portanto, a escassez de água no semiárido não representa qualquer novidade. Muitas das famílias rurais que vivem nessa região, enfrentam alto grau de riscos sociais, desencadeados pela falta de água potável para as necessidades mais básicas. Ainda que o enfoque do trabalho seja o semiárido sabe-se que atualmente o mundo todo está enfrentando uma crescente redução da oferta de água doce e água potável. Uma solução encontrada para contornar essa situação é a dessalinização solar das águas encontradas nos poços da região. Essa técnica de destilação retira todos os sais presentes em um volume de água, transformando a água salgada em água pura. O presente trabalho se propôs a apresentar modelos de dessalinizadores solares de baixo custo, portanto os modelos propostos vão desde o mais básico até um mais completo. Os modelos apresentados que utilizam equipamentos elétricos para aumentar sua produção, são de baixo consumo, 500W de potência, sua alimentação se dá por meio de painéis fotovoltaicos e aerogeradores que convertem as fontes de energia disponíveis no semiárido em eletricidade para produção de água pura. Ou seja, os dessalinizadores propostos podem ser considerados autossustentáveis, pois a água salgada retirada do subsolo do semiárido pode ser convertida em água pura, com o auxílio da eletricidade convertida da radiação solar e da velocidade dos ventos disponíveis na região.

Palavras-chave: dessalinização, dessalinizadores, semiárido, escassez, radiação solar.

ABSTRACT

The semiarid region of northeastern Brazil has long been recognized as an area highly vulnerable to the cyclical natural phenomenon of drought. Therefore, the scarcity of water in the semiarid is not new. Many of the rural families living in this region face a high degree of social risk, triggered by a lack of clean water for their most basic needs. Although the focus of the work is the semiarid, it is known that the world is currently facing a growing reduction in the supply of fresh water and drinking water. One solution found to overcome this situation is the solar desalination of the waters found in the region's wells. This distillation technique removes all salts present in a volume of water, transforming salt water into pure water. The present work proposed to present low cost solar desalination models, so the proposed models range from the most basic to the most complete one. The models presented that use electrical equipment to increase their production, are low consumption, 500W of power, their power is supplied by photovoltaic panels and wind turbines that convert the available energy sources in the semiarid into electricity for pure water production. That is, the proposed desalination plants can be considered self-sustaining, since salt water taken from the semiarid subsoil can be converted into pure water, with the help of electricity converted from solar radiation and the speed of winds available in the region.

Keywords: desalination, desalination, semiarid, scarcity, solar radiation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Espectro da radiação solar com faixa visível humana	16
Figura 2 - Espectro eletromagnético da radiação solar.....	16
Figura 3 - Total diário da radiação direta normal (Médias mensais).....	17
Figura 4 - Índice da radiação média anual da região nordeste	18
Figura 5 - Índice da radiação média anual da Alemanha	18
Figura 6 - Potencial de conversão solar fotovoltaica (Rendimento energético mensal) 20	
Figura 7 - Potencial de conversão fotovoltaica na região nordeste	21
Figura 8 - Potencial de conversão fotovoltaica da Alemanha	21
Figura 9 - Perfil vertical da velocidade do vento desde a superfície até a altura do vento geostrófico.	22
Figura 10 - Modelo (a) GERAR 246 e (b) RAZEC 266	23
Figura 11 - Velocidade média anual dos ventos a 50m de altura	25
Figura 12 - Potencial Eólico Anual a 150 m de altura.....	26
Figura 13 - Sistema de conversão híbrida em compartilhamento com a rede.....	27
Figura 14 – Sistema híbrido de conversão <i>off grid</i>	27
Figura 15 - Esquema de um processo de destilação solar	29
Figura 16 - Bacia com inclinação única	30
Figura 17 - Bacia com inclinação dupla	30
Figura 18 - Bacia de inclinação única com refletores internos e externos, o esquemático (esquerda) e a configuração experimental (direita).	31
Figura 19 - Dessalinizador de inclinação dupla acoplado a placa do coletor solar plano, esquemático (esquerda) e configuração experimental (direita).....	32
Figura 20 - Destilador solar com ventilador na cobertura piramidal, esquemático (esquerda) e configuração experimental (direita).....	34
Figura 21 - Placa plana de alumínio com resistência elétrica colada e isolada.....	35
Figura 22 - Ambiente artificial para testar a melhor lâmina d'água.....	35
Figura 23 - Esquema do sistema de destilação solar com um condensador interno acoplado e um umidificador.	36
Figura 24 - Configuração experimental do dessalinizador solar	37
Figura 25 - O Clima Semiárido No Mundo	38
Figura 26 - Valores de condutividade elétrica medidos in loco em poços tubulares	39
Figura 27 – Esquema proposto para o dessalinizador solar passivo	41
Figura 28 - Esquema do dessalinizador com coletor solar acoplado.....	43
Figura 29 – Esquema do dessalinizador solar híbrido com seção para instalação de equipamentos elétricos	45
Figura 30 – Esquema dos equipamentos que fornecem calor para a bacia coletora.	45
Figura 31 – Esquema de um dessalinizador híbrido com condensação e pré-aquecimento externo.	46
Figura 32: Esquema do dessalinizador elétrico proposto	48
Figura 33– Esquema do dessalinizador misto com 4 estágios	51

SUMÁRIO

Agradecimentos.....	v
Resumo.....	vii
Abstract	viii
Lista de Ilustrações.....	ix
Sumário	x
1 Introdução	11
2 Revisão Bibliográfica.....	14
2.1 Energia Solar.....	14
2.1.1 Energia Fotovoltaica	14
2.1.2 Energia Térmica	15
2.2 Radiação Solar.....	15
2.3 Potencial Fotovoltaico.....	19
2.4 A Velocidade do Vento	22
2.5 Potencial Eólico.....	24
2.6 Sistema Híbrido de Conversão de Energia Elétrica	26
2.7 Uso da Energia Solar na Dessalinização	28
2.8 Dessalinizadores Solares	28
2.8.1 Dessalinizadores Solares Passivos	29
2.8.2 Dessalinizadores solares ativos	32
2.8.3 Dessalinizadores Solares Híbridos	34
2.9 O Semiárido Brasileiro.....	37
3 Desenvolvimento	40
3.1 Dessalinizador Solar Passivo	40
3.1.1 Custos da implementação do dessalinizador solar passivo	41
3.2 Dessalinizador Solar Ativo.....	42
3.2.1 Custos da Implementação do Dessalinizador Solar Ativo	43
3.3 Dessalinizador Híbrido.....	44
3.3.1 Dessalinizador Solar com Lâmpadas e Resistor em Ambiente Seco	44
3.4 Dessalinizador Elétrico Contínuo.....	47
3.4.1 Sistema de Alimentação do Dessalinizador Elétrico.....	49
3.4.2 Custos da implementação do dessalinizador elétrico	49
3.5 Dessalinizador Solar com 4 Estágios	50
4 Conclusão.....	53
Referências.....	54

1 INTRODUÇÃO

Os recursos de água doce estão se esgotando rapidamente à medida que a demanda de água em todo o mundo continua a crescer. Esses recursos também não são igualmente distribuídos geograficamente em todo o mundo. Existem muitas regiões áridas e desérticas no mundo, onde as chuvas são menos frequentes e as águas subterrâneas são salobras ou salgadas, não sendo adequadas para uso doméstico, irrigação e principalmente para fins de consumo. No Brasil essa região é o Nordeste, o qual possui diversos municípios caracterizados pelo clima semiárido.

Dentre os seis biomas encontrados em território brasileiro (Amazônia, Cerrado, Caatinga, Mata Atlântica, Pantanal e Pampa), o semiárido está inserido no Cerrado e na Caatinga, sendo este último o único bioma encontrado apenas no Brasil. O semiárido é caracterizado por pluviometria irregular, evapotranspiração e radiação solar elevada. Ocupa uma área de 1,03 milhões de km², que abrange municípios dos nove estados do nordeste e do norte do estado de Minas Gerais, totalizando 1.262 municípios de acordo com a última atualização da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste (SUDENE, 2017).

O relatório mundial das Nações Unidas sobre desenvolvimento dos recursos hídricos, apontou que mais de 1,1 bilhão de pessoas são afetadas pela seca (UNESCO, 2019). No Nordeste, segundo o IBGE (2016), apenas 66,6% dos domicílios ligados à rede geral tinham disponibilidade diária de água na região, contra a média nacional de 87,3%. Em se tratando especialmente do semiárido, altas temperaturas e os baixos níveis de chuvas afetam o abastecimento humano, a criação de gado e as lavouras. De acordo com MALVEZZI (2007), o semiárido acomoda cerca de 22 milhões de pessoas, que corresponde a 46% da população nordestina e 13% da população brasileira. População essa, que convive a décadas com longos períodos de estiagens, imprevisibilidade dos índices pluviométricos e com a escassez de água doce.

Segundo FILHO (1996), nas regiões semiáridas cerca de 500.000 km² são ocupados por rochas cristalinas. Em virtude da carência de outros recursos hídricos, o aproveitamento de água subterrânea dessas rochas sempre foi uma alternativa que se levou em consideração. Nos períodos de estiagens prolongadas, essa é, muitas vezes, a

única alternativa com que se pode contar para a sobrevivência dos rebanhos. Porém, há que se ressaltar o problema relacionado a qualidade dessas águas que deverão abastecer uma população. Isso porque, devido a essa característica intrínseca dos solos no semiárido, em geral as águas subterrâneas apresentam concentrações de sais acima do limite de potabilidade, o que impossibilita sua utilização sem um tratamento prévio.

A dessalinização solar é uma maneira econômica e ecologicamente correta de produzir água fresca para atender às necessidades da população rural, uma vez que utiliza uma fonte de energia abundante e eficaz no tratamento de águas. Esse método também possui a vantagem dos equipamentos utilizados, poderem ser instalados próximos à residência do consumidor final, sob os cuidados da própria família beneficiada, o que facilita o acesso à água e reduz os riscos de contaminação futura da água.

Nesse sentido, a presente pesquisa tem como foco principal propor dessalinizadores solares para as áreas rurais do semiárido brasileiro. Esses dessalinizadores devem ser de fácil construção, utilização, manutenção e baixo custo. Ou seja, deve ser um dessalinizador viável para o pequeno produtor rural que dispõe de um poço com água salobra e muita radiação solar em suas terras, e não possui conhecimento necessário para aproveitar o potencial ofertado em sua propriedade. O dessalinizador solar possui a desvantagem de não ser eficiente, pois a evaporação da água salobra só acontece com uma lâmina muito pequena de água, além disso a incidência da radiação solar interfere diretamente no aquecimento da água e conseqüentemente em sua produção.

Sendo assim, o trabalho propõe a integração da eletricidade limpa no processo de destilação solar, com o intuito de produzir mais água e em menos tempo. Resistores e lâmpadas refletoras são equipamentos capazes de converter eletricidade em energia térmica, que pode aquecer um volume maior de água e em menos tempo do que só pela radiação solar. Além disso, a radiação utilizada no processo de destilação solar pode ser utilizada para a conversão em energia elétrica por meio de painéis fotovoltaicos, energia essa que alimentará as lâmpadas refletoras. Assim como os ventos que podem por meio dos aerogeradores converter energia eólica em eletricidade para alimentar os resistores, que converterão eletricidade em calor.

Nota-se com isso, que a região semiárida a qual castiga sua população com frequentes períodos de secas, falta d'água e temperatura elevadas, possui enormes potenciais para conversão de energia limpa. Energia essa que pode ser utilizada para transformar água salgada em água doce, e assim minimizar o problema da falta de água potável na região.

Este trabalho justifica-se, pela necessidade de ofertar água potável para pequenas famílias no semiárido que padecem com a falta de água, para suas necessidades mais básicas. De modo a combater esse problema, a dessalinização das águas salgadas ou salobras encontradas nos poços do semiárido é uma alternativa viável e necessária. O uso de equipamentos elétricos, alimentados pela conversão de energias renováveis tão abundantes em território brasileiro, entram como um importante auxílio no aumento da produção de água por destilação solar, além disso a técnica de dessalinização solar é a que mais se adequa a região semiárida, devido a suas características físicas e climáticas.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 ENERGIA SOLAR

A energia solar está associada a vida, pois é por meio desta que ocorrem os processos químicos, físicos e biológicos na Terra. As fontes de energia: hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos são formas indiretas de energia solar. Além do mais, a radiação solar pode ser utilizada diretamente como fonte de energia térmica, para aquecimento de fluidos e ambientes, e para geração de potência mecânica ou elétrica. Pode ainda ser convertida diretamente em energia elétrica, através de efeitos sobre determinados materiais, entre os quais se destacam o termoelétrico e o fotovoltaico (FEDERIZZI, 2013).

O aquecimento de água e a geração fotovoltaica de energia elétrica são os processos de aproveitamento da energia solar mais usados atualmente. No Brasil, o primeiro é mais encontrado nas regiões Sul e Sudeste, devido a características climáticas, e o segundo, nas regiões Norte e Nordeste, em comunidades isoladas da rede de energia elétrica. A energia solar é uma das alternativas energéticas mais promissoras para os desafios deste milênio (ANEEL, 2005).

2.1.1 ENERGIA FOTOVOLTAICA

Um sistema de energia fotovoltaico converte energia elétrica através da radiação solar incidente sobre uma célula fotovoltaica. No processo de conversão os elétrons do material semicondutor são postos em movimento gerando assim uma corrente elétrica (FEDERIZZI, 2013).

Diante da abundância de energia solar no semiárido nordestino, a utilização de painéis solares fotovoltaicos para a conversão de eletricidade é uma alternativa viável e necessária. Principalmente para comunidades da zona rural, que não possuem rede de distribuição de energia elétrica. De acordo com o censo do IBGE (2010), mesmo com o programa Luz para Todos do Ministério de Minas e Energia, ainda existem 715 mil famílias sem acesso à energia elétrica na área rural do Brasil (BRASIL, 2017).

2.1.2 ENERGIA TÉRMICA

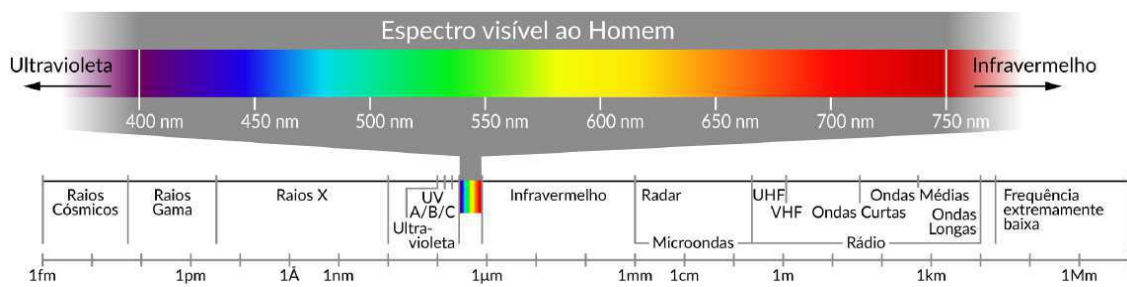
O aproveitamento térmico para aquecimento de ambientes, denominado aquecimento solar passivo, ocorre através da absorção ou penetração da radiação solar nas edificações, reduzindo as necessidades de aquecimento e iluminação. O aproveitamento térmico para aquecimento de fluidos é feito através do uso de coletores ou concentradores solares. Os coletores solares são mais usados em aplicações residenciais e comerciais para o aquecimento de água. Os concentradores solares destinam-se a aplicações que requerem temperaturas mais elevadas, como por exemplo a produção de vapor (FEDERIZZI, 2013).

2.2 RADIAÇÃO SOLAR

O Sol é a fonte mais importante de energia da Terra. É uma grande bola de gás incandescente de tamanho médio e a energia irradiada por ele é consequência das reações de fusão nuclear, a uma temperatura de 15 milhões de graus, que transformam os átomos de hidrogênio (representam cerca de 75% da composição do Sol) em hélio (cerca de 25% da composição do Sol), a perda da massa do Sol é de 4 milhões de toneladas de hidrogênio por segundo. A taxa de energia emitida pela estrela é aproximadamente constante há bilhões de anos com uma potência atual da ordem de $3,86 \cdot 10^{26}$ W, e sua temperatura efetiva na superfície é da ordem de 5778 K (INPE, 2017).

Segundo GOMÉZ et al. (2018), a radiação eletromagnética refere-se as variações temporais do campo elétrico (E), provocando uma variação do campo magnético (B), a qual ocorre em diferentes faixas espectrais de acordo com o tipo de interação com a matéria. A maior parte do espectro de radiação emitido pelo Sol, cerca de 81% da energia que chega no sistema terra/atmosfera, encontra-se na faixa que vai do visível ao infravermelho próximo, conforme ilustra a Figura 1. Ao atravessar a atmosfera e interagir com seus constituintes, parte dessa radiação é absorvida e/ou espalhada em outras direções, sendo dividida em dois componentes: a radiação solar difusa e radiação solar direta.

Figura 1- Espectro da radiação solar com faixa visível humana



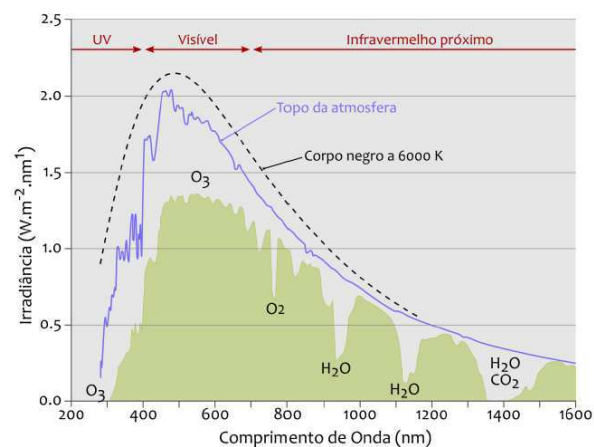
Fonte: INPE (2017).

Sobre as duas componentes da radiação solar o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE, 2017) afirma que:

“A irradiância solar (W/m^2) que incide em uma superfície é composta por suas componentes direta e difusa. A irradiância solar direta apresenta direção de incidência na linha imaginária entre a superfície e o Sol e representa a parcela que não sofreu os processos radiativos de absorção e espalhamento que ocorrem na atmosfera. A componente difusa engloba a radiação proveniente de todas as demais direções que são decorrentes dos processos de espalhamento pelos gases e particulados presentes na atmosfera”.

Por outro lado, a radiação emitida por um corpo devido à sua temperatura é chamada radiação térmica. De modo geral, o espectro da radiação térmica emitida por um corpo quente depende da composição dele, porém os corpos negros emitem espectros térmicos de carácter universal. Como observado na Figura 2, a distribuição espectral da radiação emitida pelo Sol que atinge o topo da atmosfera e a superfície terrestre, após a atenuação pelos processos radiativos na atmosfera (área verde do gráfico), se assemelha à curva de radiação do corpo negro a uma temperatura de 6000 K (GÓMEZ et al., 2018).

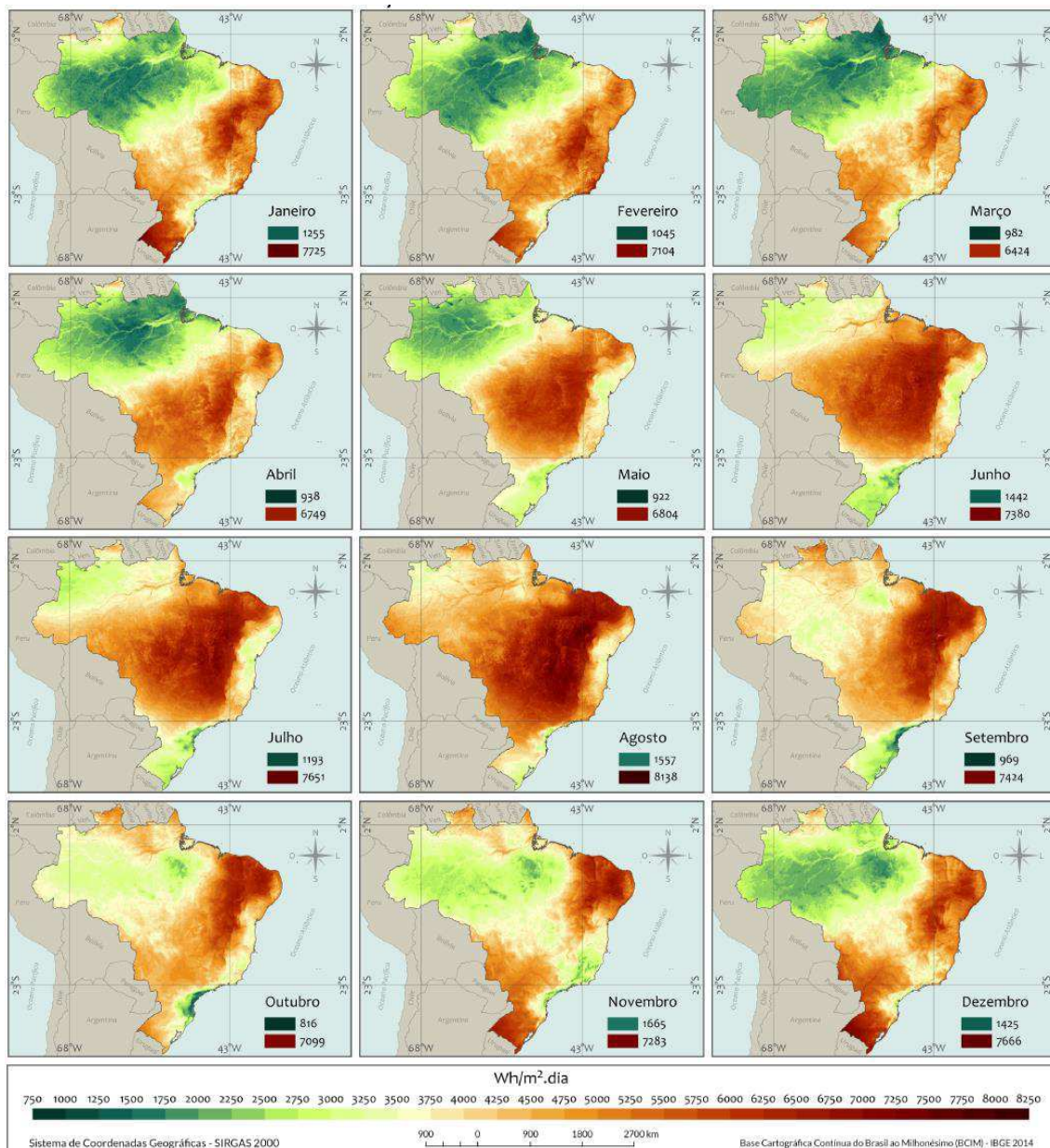
Figura 2 - Espectro eletromagnético da radiação solar



Fonte: INPE (2017).

O Brasil dispõe de altos índices de radiação solar direta o que lhe confere um excelente potencial para a conversão de energia, porém essa fonte de energia elétrica ainda é pouco utilizada. A alta incidência de radiação solar ao longo do ano no país, em especial na região nordeste, se deve à sua localização na região intertropical do planeta onde esse recurso energético é abundante. A Figura 3 apresenta os índices médio de radiação no território brasileiro ao longo dos 12 meses do ano.

Figura 3 - Total diário da radiação direta normal (Médias mensais)

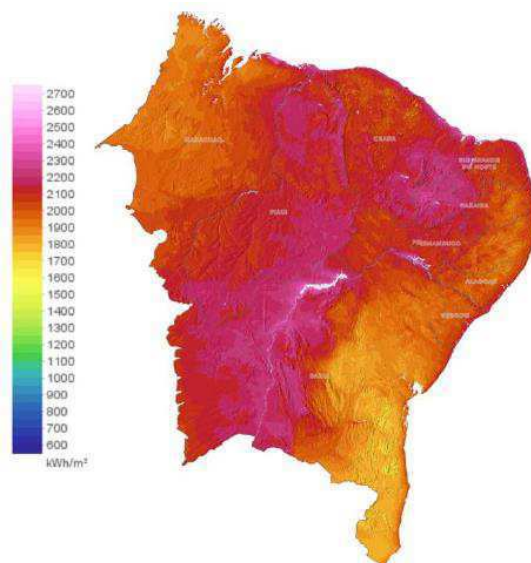


Fonte: INPE (2017).

As cidades nordestinas apresentam altos índices de radiação solar, comparáveis às melhores regiões do mundo, e baixas variações sazonais, o que poderá resultar em importantes vantagens técnicas e econômicas dos sistemas solares instalados nesta região.

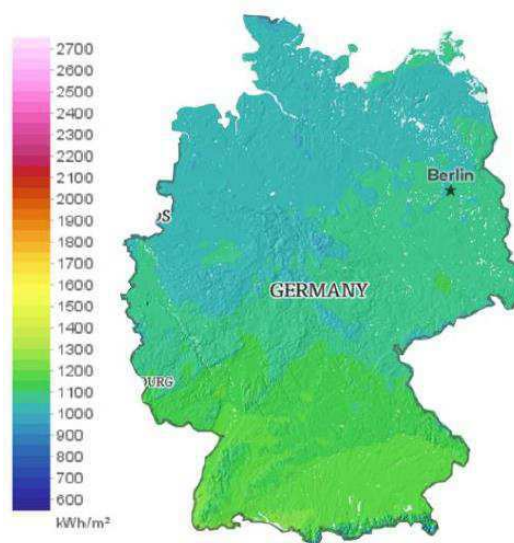
GOMES et al., (2018) compararam os índices de radiação do Nordeste com a Alemanha e observou a superioridade nordestina, que apresentou um percentual de radiação 40% maior que o da Alemanha. As Figuras 4 e 5, apresentam os mapas de radiação das duas regiões, para critério de comparação a Global Solar Atlas usou as mesmas cores e escalas de radiação.

Figura 4 - Índice da radiação média anual da região nordeste



Fonte: Adaptado de Global Solar Atlas (2018).

Figura 5 - Índice da radiação média anual da Alemanha



Fonte: Adaptado de Global Solar Atlas (2018).

2.3 POTENCIAL FOTOVOLTAICO

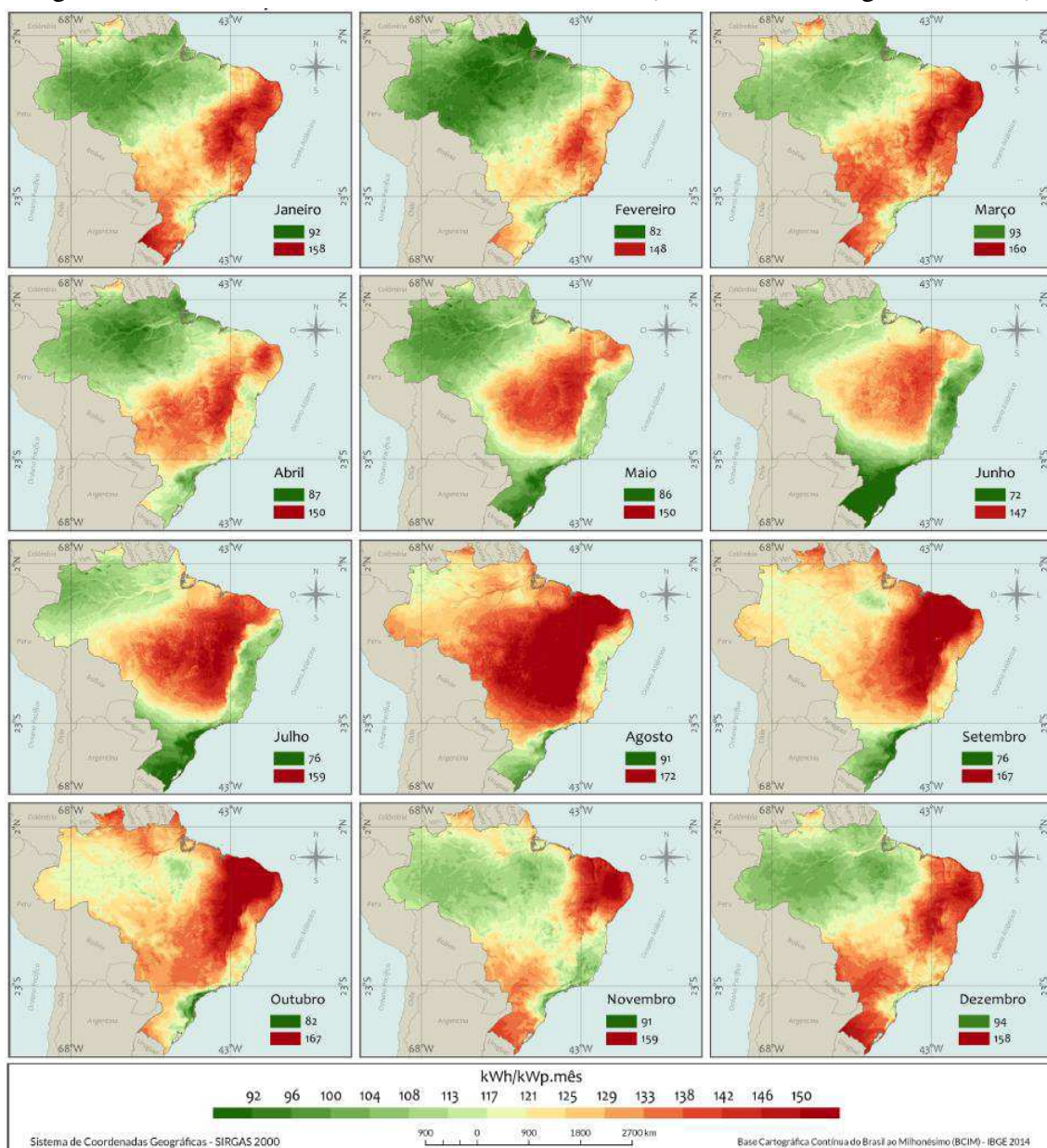
“No local menos ensolarado do Brasil, ainda é possível gerar mais eletricidade solar do que no local mais ensolarado da Alemanha, por exemplo.” (Atlas Brasileiro de Energia Solar - 2017).

O aproveitamento da irradiação solar por meio de células e painéis fotovoltaicos, que torna possível converter a luz em eletricidade é chamado de tecnologia de conversão fotovoltaica. Esse método de produção de energia elétrica tem benefícios ambientais, com impacto quase nulo e sua principal fonte se caracteriza por ser infinita e inesgotável, levando em consideração a escala de tempo da vida no planeta Terra.

Essa tecnologia de geração de energia está se tornando, progressivamente, mais competitiva, tanto porque seus custos estão decrescendo, quanto a avaliação dos valores das outras formas de geração está se tornando mais real, sendo considerados agora fatores que antes eram ignorados, como os impactos sociais e ambientais. Segundo mapeamento da Associação Brasileira de Energia Solar Fotovoltaica (ABSOLAR), a geração de energia advindas do Sol correspondeu a 1,2% da matriz energética brasileira em 2019. São valores considerados baixos quando comparado ao potencial de geração fotovoltaica de energia elétrica do país.

Os mapas da Figura 6, mostram a sazonalidade do potencial de geração solar fotovoltaica para os 12 meses do ano, em termos de rendimento energético anual para todo o Brasil (medido em kWh / kWp.mês no perfil de cores), admitindo uma taxa de desempenho de 80% para geradores fotovoltaicos fixos. É evidente, os altos níveis de irradiação solar na região Nordeste, principalmente no semiárido, que possui o maior potencial fotovoltaico do país e um dos mais abundantes do mundo. Isso porque, devido à proximidade da região Nordeste com a linha do equador os índices de irradiação não variam consideravelmente durante o ano, sendo uma característica extremamente positiva para a produção de energia solar.

Figura 6 - Potencial de conversão solar fotovoltaica (Rendimento energético mensal)



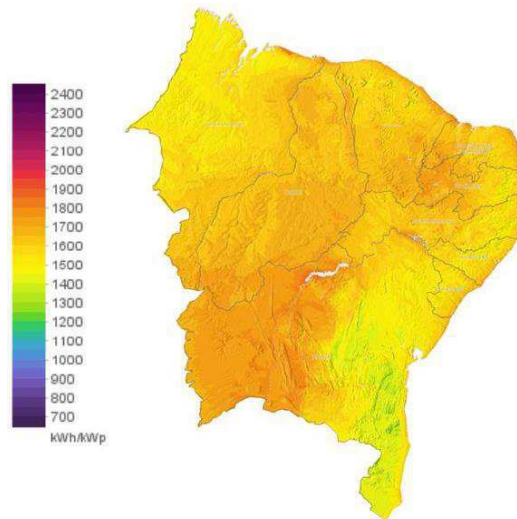
Fonte: INPE (2017).

GOMES et al. (2018) realizaram um estudo comparativo do potencial de conversão fotovoltaico de energia solar do Nordeste com o potencial de conversão de energia solar da Alemanha. A Alemanha foi escolhida porque é o país europeu modelo da transição energética em percurso hoje no mundo, tendo evoluído de uma matriz energética predominante poluente para um dos que mais produzem eletricidade por fontes de energia renováveis.

Os autores concluíram com a pesquisa, que mesmo com os elevados valores de temperatura do ar, os índices de radiação mais elevados da região Nordeste são

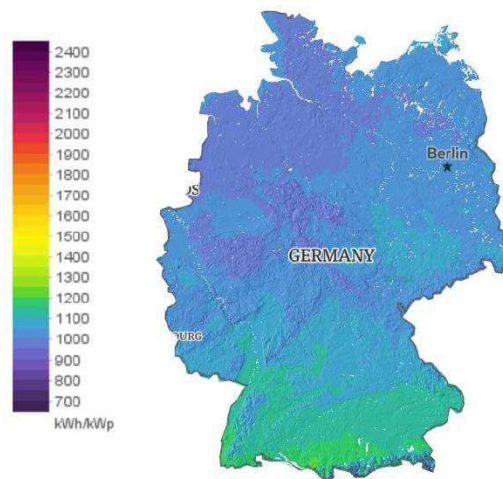
determinantes para inferir a alta capacidade de geração fotovoltaica da região. Ao passo que as temperaturas inferiores da Alemanha não foram suficientes para dá ao país um maior potencial de geração de energia proveniente dos painéis fotovoltaicos. Como observado nos mapas de capacidade de geração fotovoltaica das Figuras 7 e 8.

Figura 7 - Potencial de conversão fotovoltaica na região nordeste



Fonte: Adaptado de Global Solar Atlas (2018).

Figura 8 - Potencial de conversão fotovoltaica da Alemanha



Fonte: Adaptado de Global Solar Atlas (2018).

2.4 A VELOCIDADE DO VENTO

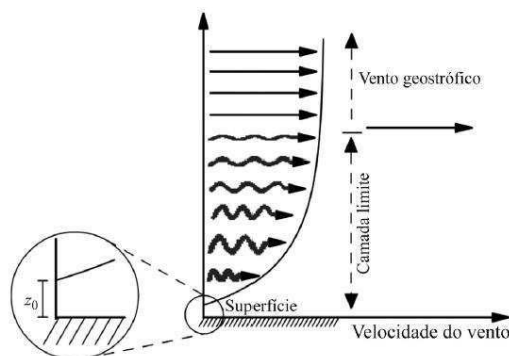
O movimento de parcelas de ar, causados principalmente pelo aquecimento desigual da radiação solar sobre a Terra, é denominado vento. De modo que a energia contida no vento é, na realidade, uma forma secundária da energia solar. O vento surge basicamente pela ação da força do gradiente de pressão, ou seja, a pressão atmosférica e suas variações estão intimamente relacionadas com a temperatura do ar e as trocas de calor na atmosfera. Mesmo que o ar possa mover-se na direção vertical, a denominação “vento” é comumente aplicada apenas ao movimento horizontal, paralelo à superfície do planeta (MARTINS et al., 2008).

PRADO FILHO (2018) descreve a formação direcional dos ventos como:

“Classificados como horizontais ou verticais (ascendentes ou descendentes), os ventos se formam pelas diferenças de pressão e temperatura entre as camadas do ar. Assim, quando uma massa de ar com alta pressão atmosférica ou baixa temperatura se move em direção a uma região de baixa pressão, geram-se ventos verticais que também se formam quando a camada de ar quente próxima ao solo sobe (por ser mais leve), substituída por outra fria, que desce. No caso dos ventos horizontais, o processo é semelhante: quando a massa de ar sobre uma região se aquece, ela sobe; porém, seu lugar será preenchido pelas massas de ar frio que estão na vizinhança”.

Um aspecto importante a ser levado em consideração na conversão do vento em energia, é o cisalhamento. A velocidade do vento é nula a alturas próximas à superfície e geostrófico na atmosfera livre. Na camada superficial observa-se um perfil vertical aproximadamente logarítmico do módulo da velocidade do vento, como apresentado graficamente na Figura 9 (MARTINS et al., 2008).

Figura 9 - Perfil vertical da velocidade do vento desde a superfície até a altura do vento geostrófico.



Fonte: Revista Brasileira de Ensino de Física (2008).

MELO (2018), realizou um estudo de caso com objetivo de verificar a viabilidade de instalação de um aerogerador de pequeno porte na Universidade Federal Rural do Semi-Árido localizada na cidade de Angicos/RN. Com dados de velocidade dos ventos coletados a partir de estações anemométricas no território do RN, foi realizada uma interpolação a fim de estimar a quantidade mensal de energia gerada em kWh por dois modelos de aerogeradores.

Os aerogeradores escolhidos para o estudo, foram dois modelos de pequeno porte da Enersud®. Um modelo de eixo horizontal – GERAR 246 – que possui potência nominal de 1000W e é capaz de começar a gerar energia a partir de 2,0 m/s. E um modelo de eixo vertical – RAZEC 266 –, sua velocidade de partida é de 2,5 m/s e potência nominal de 1500W. A Figura 10 apresenta ambos os modelos estudados.

Figura 10 - Modelo (a) GERAR 246 e (b) RAZEC 266



Fonte: Melo (2018).

MELO (2018) estimou a velocidade média dos ventos na UFERSA, utilizando os valores de velocidade provenientes das torres anemométricas de quatro estações no RN. De posse das funções obtidas através das curvas de geração dos aerogeradores escolhidos e dos dados interpolados de velocidade do vento, foi estimada a geração de energia mensal dos modelos. A Tabela 1 apresenta os valores estimados de geração mensal em kWh dos aerogeradores escolhidos.

Tabela 1: Estimativa de geração mensal de energia do aerogerador GERAR 246 e do aerogerador RAZEC 266

Mês	Geração de energia em kWh/mês	
	GERAR 246	RAZEC 266
Janeiro	85,57	95,42
Fevereiro	63,47	69,51

Março	34,47	38,78
Abril	27,61	31,98
Maiο	49,45	54,23
Junho	76,29	84,27
Julho	100,00	113,62
Agosto	141,16	171,80
Setembro	147,56	181,79
Outubro	124,17	146,58
Novembro	116,11	135,22
Dezembro	102,01	116,23

Fonte: Melo (2018).

De acordo com dados apresentados por MELO (2018), o aerogerador de eixo vertical RAZEC 266 apresentou valores de geração de energia, nas condições de vento analisadas, superiores ao aerogerador de eixo horizontal GERAR 246, devido a diferença entre a potência nominal deles. O total anual estipulado de geração de energia pelo GERAR 246 foi de 1067,87 kWh e pelo RAZEC 266 foi de 1239,43 kWh. A autora concluiu, que a turbina eólica de eixo vertical RAZEC 266 apresentou baixa eficiência de geração, enquanto que a GERAR 246 mostrou-se favorável para a produção de eletricidade a partir das velocidades estimadas, o que a torna tecnicamente viável para a geração de energia no local.

2.5 POTENCIAL EÓLICO

Denomina-se energia eólica a energia cinética contida nas massas de ar em movimento. A radiação solar é absorvida pelo solo ou água e por condução transferida para o ar, o aquecimento desigual provoca diferenças de densidade e pressão, resultando no movimento do ar. Seu aproveitamento ocorre por meio da conversão da energia cinética de translação em energia cinética de rotação, com o emprego de turbinas eólicas, também denominadas aerogeradores, para a geração de eletricidade.

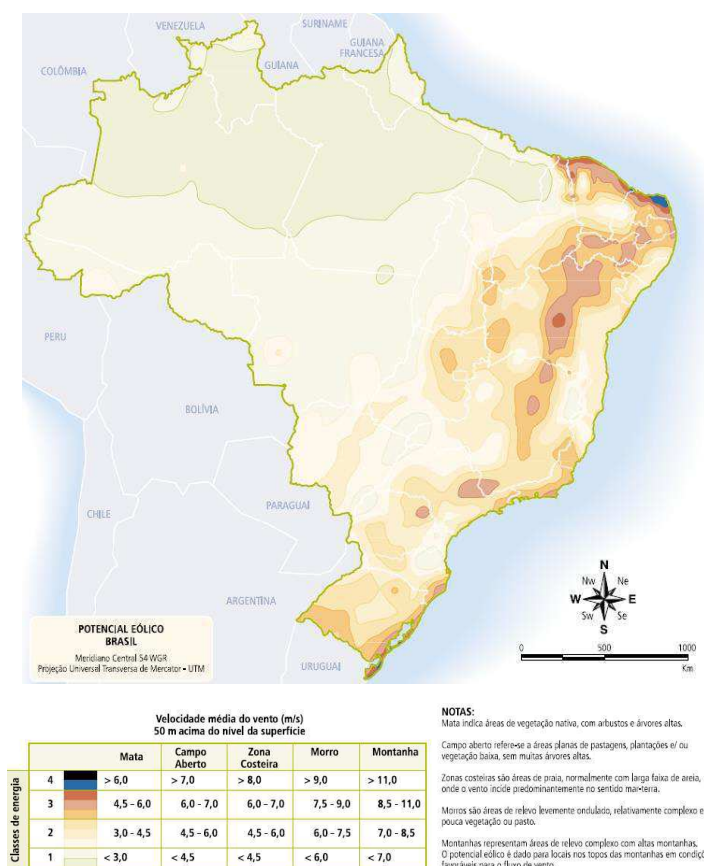
Apesar da pequena participação da energia eólica na matriz mundial, sua contribuição vem crescendo rapidamente nos últimos anos. Atualmente, a indústria eólica está presente em mais de 80 países sendo que a Índia, a China e a América Latina são considerados como mercados em crescimento. O Brasil, apesar de participar com apenas 2,4% do total mundial, representa um mercado muito promissor, pois o Nordeste possui

excelentes “jazidas” de vento (ETENE, 2019). De acordo com o Ministério de Minas e Energia (2017):

“A participação da geração eólica na geração total mundial, que era praticamente nula em 1980, em 2016 já atingia 3,9% (2,7% em 2013). A China apresenta a maior participação na geração eólica mundial de 2016, de 25,1%, superando os Estados Unidos, o 1º em 2015. A Dinamarca foi pioneira na geração eólica (100% em 1980)”.

Segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001), estima-se em 143 GW o potencial nacional, considerando torres de até 50 m de altura. Conforme observado no mapa da Figura 11, cidades nordestinas que integram o semiárido podem ou não ser favorável para geração de energia eólica, dependendo das condições topográficas de cada localidade. Para o aproveitamento do recurso eólico, é necessário um estudo aprofundado do vento no local desejado. Ainda segundo o Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001), além do comportamento horizontal, o vento também apresenta perfil de escoamento que varia com a altitude e o tempo. O conhecimento do perfil vertical do vento é muito importante para o desenvolvimento do projeto eólico. Com a expansão do setor, boa parte dos estados brasileiros está revendo o seu potencial, agora para torres de 120 m ou mais.

Figura 11 - Velocidade média anual dos ventos a 50m de altura

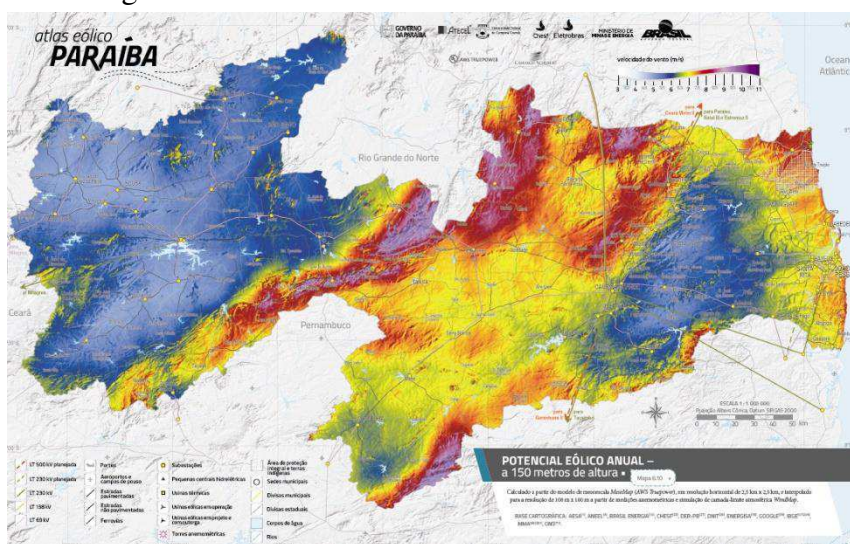


Fonte: Atlas do Potencial Eólico Brasileiro (2001).

“De acordo com previsões do Plano Decenal de Expansão de Energia 2027 (MME; EPE, 2019), a capacidade instalada de energia elétrica do Brasil em 2027 será de 209 GW, 35% superior ao verificado em 2018 (155 GW)” (ETENE, 2019).

Conforme o Atlas Eólico da Paraíba (2017), o estado conta com 640,1 MW de potência instalada em seu parque de geração elétrica, majoritariamente térmico (88,5%). As usinas eólicas representam outros 69 MW (10,8%), quase todos pertencentes ao complexo instalado no município de Mataraca, no Litoral Norte. A Paraíba possui um bom potencial para a geração de energia eólica, conforme mostrado na Figura 12, mais de 90% do seu território dispõe de ventos com velocidade média anual superior a 7,0 m/s, a até 150 metros de altura.

Figura 12 - Potencial Eólico Anual a 150 m de altura



Fonte: Atlas Eólico da Paraíba (2017).

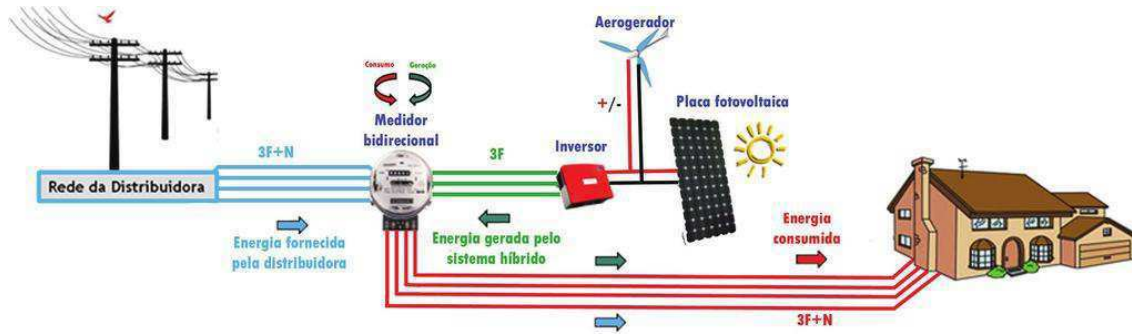
De acordo com MARTINS et al. (2008), os resultados obtidos até o momento demonstram o enorme potencial do país tanto com relação à disponibilidade de recursos renováveis quanto à capacidade de recursos humanos qualificados para o desenvolvimento e a continuidade das atividades de pesquisa nessa área.

2.6 SISTEMA HÍBRIDO DE CONVERSÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

De acordo com as regras estabelecidas pela ANEEL, resolução nº 482/2012, aos consumidores são permitidos a instalação de conversores de pequeno porte no sistema elétrico, estes sistemas são instalados de tal maneira que quando o aerogerador ou painel

fotovoltaico fornece mais energia do que a necessária para o atendimento da instalação consumidora, o excesso é injetado na rede elétrica. Por outro lado, quando o sistema converte menos energia do que a demandada pela instalação consumidora, o déficit é suprido pela rede elétrica, ver Figura 13 (OLIVEIRA & CRUZ, 2016).

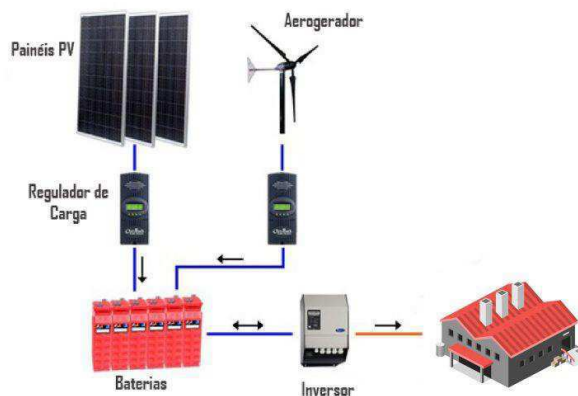
Figura 13 - Sistema de conversão híbrida em compartilhamento com a rede



Fonte: Vanconcelos et al. (2016)

Um sistema híbrido *off grid* consiste na junção de duas fontes de conversão de energia elétrica diferentes num único sistema, ver Figura 14. A energia primária pode ser a energia solar ou eólica que ao ser convertida em energia elétrica será armazenada em baterias para consumo posterior. Pode ainda ter em simultâneo um sistema de backup que satisfaça as necessidades de consumo quando não houver recurso solar e/ou eólico disponível ou insuficiente.

Figura 14 – Sistema híbrido de conversão *off grid*



Fonte: <https://www.tecnoveritas.net/pt/multimedia/newsletters-pt/industria/sistemas-hibridos-industria/>

2.7 USO DA ENERGIA SOLAR NA DESSALINIZAÇÃO

A Organização Mundial da Saúde define como água potável aquela que contém menos de 500 ppm de sais dissolvidos. O processo pelo qual é possível transformar água salgada em água potável, chama-se dessalinização, ou seja, os sais minerais são removidos da água salgada, produzindo assim água potável.

A dessalinização solar prova ser a técnica mais econômica e viável para purificar a solução de água salina. Ela usa o suprimento abundante de energia solar disponível naturalmente para evaporar a água e, portanto, é considerado um método com custo operacional zero.

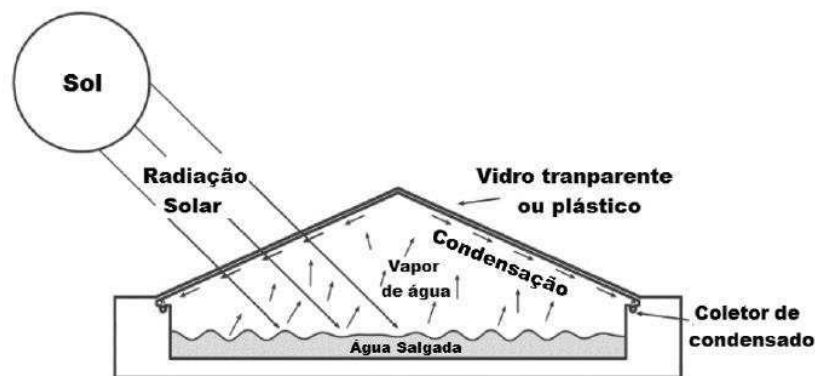
2.8 DESSALINIZADORES SOLARES

“A água salgada, quando passa a vapor, torna-se doce e o vapor não produz água salgada quando condensa” (ARISTÓTELES, 2300 a.C.). O processo de remover o sal da água para fins de consumo e utilização data de muitos séculos atrás, a literatura cita-o desde o tempo das grandes navegações.

Segundo ESTEBAN, FRANCO & FASULO (2000), os dessalinizadores solares usados atualmente, salvo melhorias em seu desenho e materiais, conservam a mesma técnica utilizada desde o século XVII, ou seja, uma bandeja com superfície negra que contém água salgada para evaporação. Conforme observado na Figura 15, a bacia coletora está coberta por um material de alta transmitância a radiação solar, que deságua em canaletas situadas ao lado da bandeja.

Os raios solares atravessam a cobertura e são absorvidos pelo fundo negro da bandeja que contém 5 cm de água a ser destilada. À medida que, a água é aquecida, o vapor sobe e se condensa na superfície fria da cobertura, formando uma película uniforme de líquido que escoar pelas canaletas até um tanque de armazenamento. O destilador funciona como uma armadilha de calor, onde o teto é transparente a luz solar incidente, mas opaco a radiação infravermelha emitida pela água quente, sendo assim, a cobertura impede que o vapor escape e que o vento esfrie a água salgada (ESTEBAN; FRANCO; FASULO, 2000).

Figura 15 - Esquema de um processo de destilação solar



Fonte: Gaio (2016).

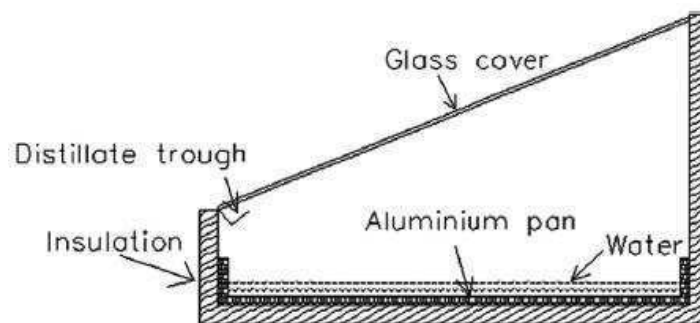
Os dessalinizadores solares são classificados principalmente em duas categorias: efeitos simples e efeitos múltiplos. Cada um desses dessalinizadores são ainda classificados de acordo com a fonte de calor usada para evaporar a água. Se o calor for diretamente do sol, temos os dessalinizadores passivos. Se o calor vier de algum auxílio externo, como coletores solares, como coletores de placas planas, coletores de placa plana, coletores de tubos evacuados e coletores de concentração acoplados a unidade de dessalinização, temos os dessalinizadores ativos. E para os dessalinizadores que recebem calor de algum equipamento elétrico em conjunto com a radiação solar, temos os dessalinizadores solares híbridos.

2.8.1 DESSALINIZADORES SOLARES PASSIVOS

Ao longo dos anos muitos autores estudaram e propuseram os mais diversos modelos de dessalinizadores solares passivos, com o intuito de aumentar a produção em larga escala de água doce. Diversos trabalhos foram publicados, com as mais diversas configurações de cobertura, bacia ou lâmina d'água nos dessalinizadores.

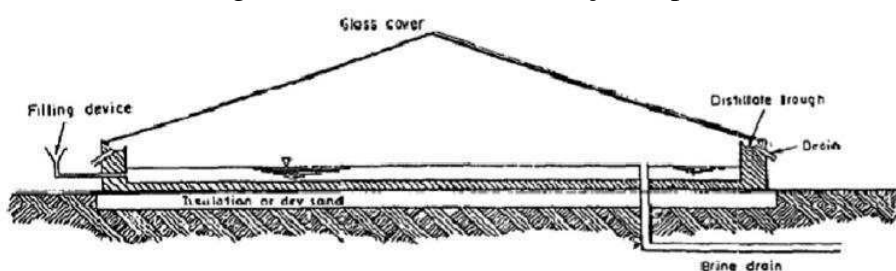
TIWARI et al. (1986) realizaram um estudo e concluíram que um dessalinizador solar com cobertura de inclinação única apresentou melhores resultados em clima frio, enquanto um dessalinizador solar com cobertura de inclinação dupla apresentou melhor desempenho em climas quentes, ver Figuras 16 e 17. Portanto, a cobertura com inclinação dupla é mais indicada para a região semiárida em decorrência do clima quente da região.

Figura 16 - Bacia com inclinação única



Fonte: Tiwari (1986).

Figura 17 - Bacia com inclinação dupla

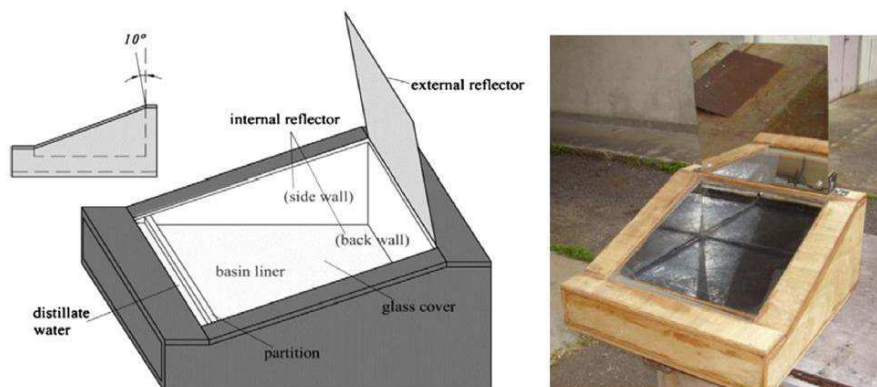


Fonte: Tiwari (1986).

PHADATARE & VERMA (2007), investigaram experimentalmente o efeito da profundidade da massa de água na transferência interna de calor, em um dessalinizador de inclinação única com cobertura de acrílico. Os autores variaram, de 2 cm a 12 cm, a profundidade da água na bacia coletora e observaram uma diminuição da produtividade à medida que a massa de água aumentava. Com base nos resultados experimentais, os autores concluíram que a eficiência máxima foi de 34%, obtida quando a profundidade de água foi de 2 cm, que gerou uma produção de 2,1 L/m² de água destilada por dia.

TANAKA (2009), investigou a utilização de refletores internos e externos na eficiência do dessalinizador solar com inclinação única. Conforme mostrado na Figura 18, o projeto consistiu em uma bacia de madeira revestida com refletores internos, uma tampa de vidro e um refletor externo. Devido ao uso de refletores, mais radiação solar é introduzida no dessalinizador, quando comparado aos modelos convencionais, sendo assim, foi relatado que o aumento da produtividade diária foi de 70% a 100% nos dias de inverno. Na análise teórica realizada, foi observado que a média anual de aumento na produtividade diária foi de 48%.

Figura 18 - Bacia de inclinação única com refletores internos e externos, o esquemático (esquerda) e a configuração experimental (direita).



Fonte: Tanaka (2009).

GUPTA, SHARMA, SHANKAR & BAREDAR (2016), investigaram o uso de um aspersor instalado sobre a cobertura de vidro em conjunto com partes internas pintadas de branco do dessalinizador solar de inclinação única, com o intuito de diminuir a temperatura na superfície do mesmo e assim aumentar a diferença de temperatura entre o vidro e a água salobra na bacia. O dessalinizador solar desenvolvido e testado obteve uma taxa mais rápida de evaporação e condensação, o que propiciou um aumento de 20% de água destilada e 21% na eficiência geral, quando comparado a um dessalinizador solar sem as melhorias citadas.

AHMED & IBRAHIM (2016), pesquisaram o efeito de diferentes materiais de pavio no aumento da área de absorção de raios solares. Os professores projetaram e contruíram três dessalinizadores solares tipo bacia de inclinação única, o primeiro foi um dessalinizador convencional, o segundo dessalinizador teve o material completamente imerso em água salina. No terceiro dessalinizador, o material em análise foi parcialmente imerso na água salina para investigar o efeito capilar dos materiais estudados. A pesquisa concluiu que o arranjo do segundo dessalinizador obteve a maior taxa de produtividade, pois o material completamente imerso na água salina têm o efeito de cobrir e impedir que os raios solares atinjam o fundo da bacia, resultando na absorção de toda a radiação solar pela água e consequentemente no aumento de temperatura da mesma.

BOUZOID et al. (2018), apresentaram um estudo teórico e numérico de um destilador solar, que consiste em uma melhoria na placa absorvente escalonada com superfícies inclinadas e defletores proposto anteriormente por El-Sebaii et al (2009). A placa absorvente é dividida em várias pequenas bacias e possui superfícies inclinadas que oferecem profundidade mínima da água, aquecimento rápido da água e melhor orientação

em relação ao sol. O desempenho do novo dessalinizador solar escalonado foi investigado por meio de uma análise matemática e uma térmica. Os resultados mostraram que o novo design aumentou a temperatura da água salgada em mais de 9°C na placa absorvente, de modo que o desempenho térmico do dessalinizador modificado foi aprimorado.

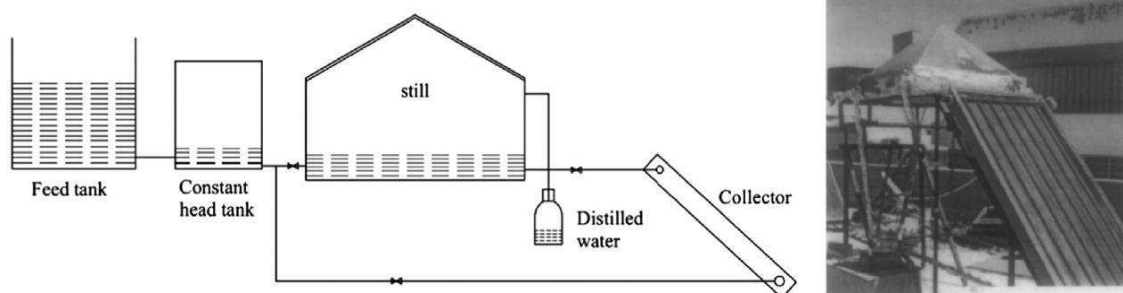
MOURA (2019), realizou uma revisão bibliográfica dos diversos modelos de dessalinizadores solares e uma análise paramétrica de um dessalinizador solar passivo para a cidade de Fortaleza, através de sua modelagem e simulação no software EES[®], que reforçou as condições propostas na revisão bibliográfica. As dimensões e o material do tanque e da cobertura foram os parâmetros analisados. A autora concluiu que o dessalinizador solar que apresentou melhor produção de água potável foi aquele onde a bacia é construída de alvenaria e altura de 0,01 m e sua cobertura deve possuir única inclinação de vidro com espessura de 4 mm.

2.8.2 DESSALINIZADORES SOLARES ATIVOS

Muitos trabalhos também foram conduzidos sobre dessalinizadores solares ativos, várias configurações de pré-aquecimento externo e equipamentos elétricos integram à bacia coletora para torná-la eficiente.

BADRAN et al. (2005), investigaram um dessalinizador com bacia coletora combinada com um tanque de alimentação de água salgada e aquecida, um telhado de vidro com inclinação dupla e um coletor solar plano, ver Figura 19. A alta temperatura da água produziu mais vapor e, portanto, aumento da produtividade. Foi relatado por pelos autores que o dessalinizador acoplado a um coletor solar de placa plana produziu $2,3\text{kg/m}^2$ por dia, enquanto que o dessalinizador sem acoplamento produziu apenas $1,5\text{kg/m}^2$ por dia.

Figura 19 - Dessalinizador de inclinação dupla acoplado a placa do coletor solar plano, esquemático (esquerda) e configuração experimental (direita)



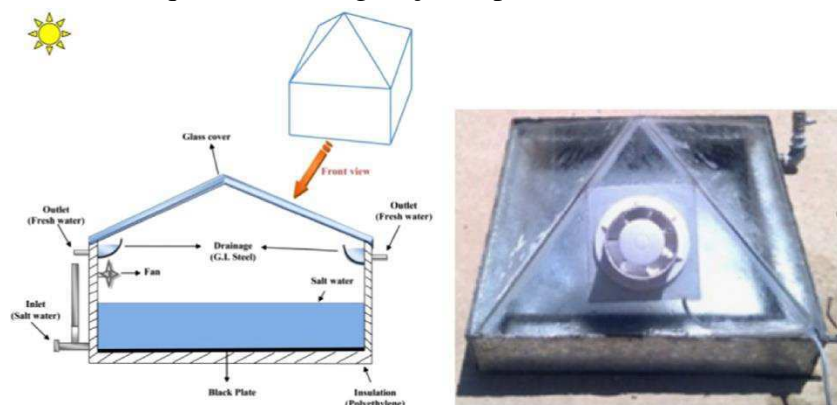
Fonte: Badran et al. (2005).

ZEINAB & ASHRAF (2007), conduziram um estudo experimental e teórico de um dessalinizador solar de única inclinação, acoplado a um concentrador parabólico e a um trocador de calor. O sistema consiste em um dessalinizador convencional cuja temperatura da água da bacia é elevada por uma combinação de canal parabólico, com tubo focal transportando óleo, bomba de circulação de óleo e um trocador de calor juntamente com válvulas de controle. Seus resultados mostraram que a produtividade da água doce foi aumentada em 18% em comparação com um dessalinizador passivo.

ELTAWIL & ZHENGMING (2009), investigaram o desempenho de um dessalinizador híbrido, consistindo de uma turbina eólica e de um dessalinizador solar inclinado integrado a bacia de dessalinização principal. Uma pequena turbina eólica é usada para operar um eixo rotativo instalado no dessalinizador principal para romper a camada limite da superfície da água da bacia. Além disso, um sistema que consiste em uma placa absorvente solar plana inclinada coberta com um pavio preto é anexado à saída do dessalinizador principal. Assim, a evaporação e a condensação ocorrerão no sistema imóvel principal e inclinado, aumentando assim a produtividade do destilado. Os autores realizaram experimentos variando a profundidade da água (0,01; 0,02 e 0,03 m) e a vazão (25,0; 41,7 e 58,3 ml / min) em dois modos de operação. E concluíram que a eficiência média diária do sistema principal imóvel e inclinado para a operação ao sul foi de 67,21 a 69,59% e 57,77 a 62,01%, enquanto na operação de rastreamento solar foi de 66,81 a 69,01% e 57,08 a 62,38%, respectivamente.

TAAMNEH & TAAMNEH (2012), projetaram e construíram um dessalinizador solar com cobertura de vidro em forma de pirâmide, ver Figura 20. Eles investigaram experimentalmente o efeito da convecção forçada no desempenho do dessalinizador. Os resultados experimentais ilustraram que o uso de ventiladores alimentados com painéis solares fotovoltaicos é econômico e viável para aumentar a taxa de evaporação e, portanto, a produção de água doce. Houve um incremento de 25% na produtividade diária da água doce em comparação com o dessalinizador por convecção livre.

Figura 20 - Destilador solar com ventilador na cobertura piramidal, esquemático (esquerda) e configuração experimental (direita)



Fonte: Taamneh e Taamneh (2012).

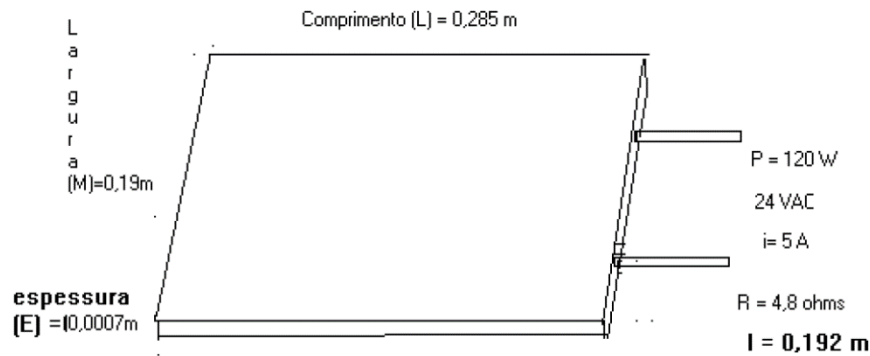
AGOUZ et al. (2017), propuseram um novo método no qual ocorre a circulação de água salgada ao redor da bacia do dessalinizador solar híbrido para extrair o calor residual. A água, agora pré-aquecida, é transportada até a entrada do dessalinizador por meio de uma bomba DC alimentada por um painel fotovoltaico solar. O estudo do modelo de dessalinizador solar mostrou que quase 50% da energia, antes desperdiçada na forma de calor para o ambiente, foi recuperada com a circulação contínua de água no entorno da bacia.

2.8.3 DESSALINIZADORES SOLARES HÍBRIDOS

Os dessalinizadores solares híbridos são encontrados com menos frequência na literatura, quando comparado aos dois outros modelos. Os estudos buscam associar equipamentos elétricos no aumento da produção de água destilada.

LOPES (2004), estudou o dimensionamento e análise de um dessalinizador solar híbrido, constituído de um coletor solar plano para aquecimento de água salobra ou salgada e um trocador de calor que recebe essa água pré-aquecida pelo coletor e eleva a sua temperatura ao ponto de ebulição. Para isso, foi utilizado uma resistência elétrica de $4,8000 \Omega$ de fio Constantan, colada e isolada na parte plana externa da bacia de alumínio, com $0,0542 \text{ m}^2$ de área e espessura $0,0007 \text{ m}$, ver Figura 21. A potência utilizada no evaporador para ser transformada em calor é de 120 Watts, resultado da associação em série de dois painéis fotovoltaicos.

Figura 21 - Placa plana de alumínio com resistência elétrica colada e isolada



Fonte: Lopes (2004).

SOARES (2004), estudou a variação da lâmina d'água em função da produção de água. Para isso, foi desenvolvido uma atmosfera artificialmente luminosa com quatro lâmpadas espelhadas (250 watts) acopladas sobre a cobertura piramidal de vidro, ver Figura 22. O ambiente artificial cumpriu a função de destilar as lâminas d'água em análise, porém foi necessário o uso de um ventilador para resfriar a superfície externa do vidro, melhorando o gradiente de temperatura e consequentemente a produção de água. O estudo concluiu que quanto menor a lâmina d'água bruta no interior da pirâmide melhor a produção de água destilada.

Figura 22 - Ambiente artificial para testar a melhor lâmina d'água



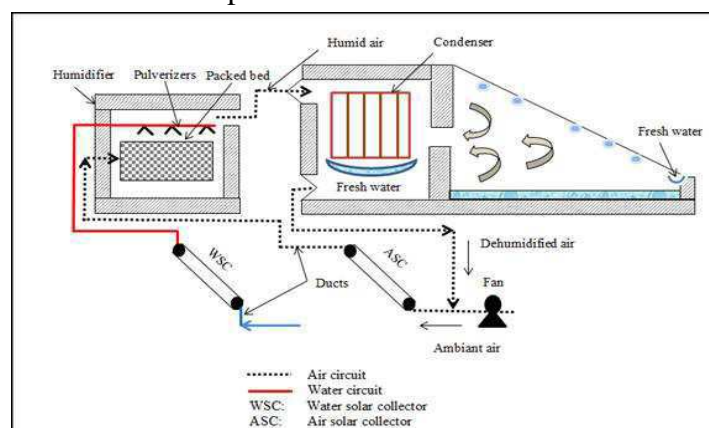
Fonte: Soares (2004).

RAI & PANDEY (2016), estudaram o efeito do quão eficiente é um dessalinizador solar quando sua condensação acontece em separado. Nesta pesquisa dessalinizadores tipo bacia foram projetados e construídos em aço galvanizado de 1,4 mm de espessura, com 1 m² de área na bacia coletora e uma cobertura de vidro com 26° em relação à

horizontal. Para maximizar a absorção da radiação solar, as superfícies internas da bacia galvanizada foram pintadas com tinta preta. Uma unidade condensadora separada foi conectada na parte traseira do dessalinizador. Para comparação outro dessalinizador com as mesmas configurações foi construído, porém sem a unidade condensadora conectada. O resultado mostrou que o dessalinizador solar com condensador separado é 19% mais eficiente que o convencional.

ZARZOOM, ZHANI & BACHA (2017), realizaram uma investigação experimental e teórica de um novo conceito de destilador solar com um condensador acoplado ao aquecedor solar de água, para coletar o ar úmido e aquecido, e assim melhorar o rendimento de água pura desse sistema imóvel solar. Como mostrado na Figura 23, a água foi aquecida por um coletor solar de água e, em seguida, o ar quente e úmido foi transportado para a torre de condensação, onde se condensou ao entrar em contato com as paredes externas dos tubos da câmara do condensador que circulava água fria para garantir a desumidificação do ar úmido. A água condensada obtida foi coletada em uma bandeja colocada abaixo da torre de condensação. A finalidade da pesquisa foi melhorar a transferência de calor e massa e, posteriormente, melhorar a produção de água doce. A Figura 24 mostra a configuração experimental do sistema.

Figura 23 - Esquema do sistema de destilação solar com um condensador interno acoplado e um umidificador.



Fonte: Zarzoum, Zhani & Bacha (2017).

Figura 24 - Configuração experimental do dessalinizador solar



Fonte: Zarzoum, Zhani & Bacha (2017).

2.9 O SEMIÁRIDO BRASILEIRO

O conselho deliberativo da Superintendência do Desenvolvimento do Nordeste por meio das resoluções nº 107, de 27/07/2017 e de nº 115, de 23/11/2017 estipularam três critérios para que um município brasileiro seja classificado como semiárido:

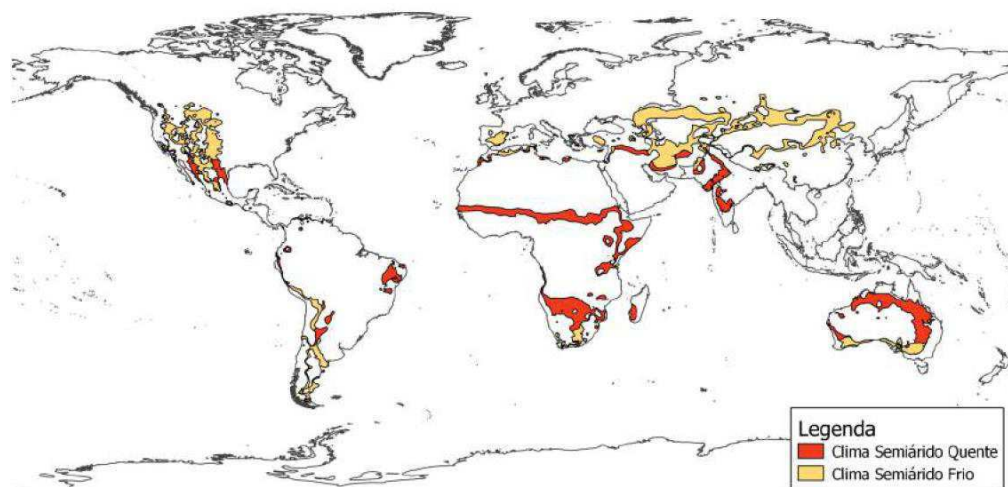
- Precipitação pluviométrica média anual igual ou inferior a 800 mm;
- Índice de Aridez de Thornthwaite igual ou inferior a 0,50;
- Percentual diário de déficit hídrico igual ou superior a 60%, considerando todos os dias do ano.

De acordo com SILVA (2013), a falta de uma infraestrutura de convivência com as secas é o principal fator de risco na região semiárida. As vulnerabilidades sociais, ambientais e econômicas do semiárido nordestino são complexas e caracterizadas por diversas variáveis: a baixa pluviosidade, a geomorfologia do terreno, e a ação predatória do homem. Conseqüentemente, todas essas variáveis são acentuadas pela ausência de políticas públicas baseadas no desenvolvimento sustentável, intensificando ainda mais as vulnerabilidades.

O clima semiárido não é uma exclusividade do Brasil sendo encontrado em várias regiões ao redor do mundo, e como observado na Figura 25 existe dois tipos de clima, o

semiárido quente, presente em todos os continentes com exceção da Europa e o semiárido frio encontrado em todos os continentes (INSA, 2014).

Figura 25 - O Clima Semiárido No Mundo



Fonte: INSA (2017).

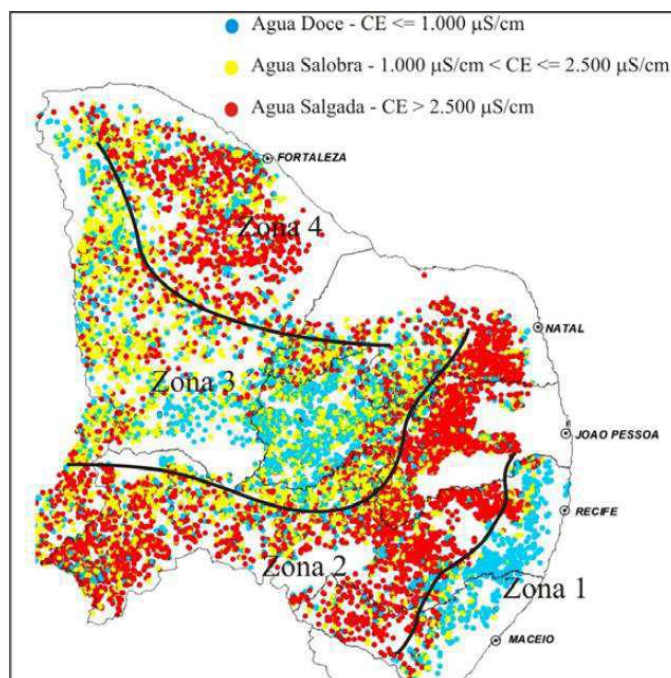
Apesar do semiárido nordestino sofrer constantemente com a escassez de água potável e registros históricos de secas que maltratam os que ali vivem, o semiárido do Brasil quando comparado com outras regiões semiáridas do mundo é considerado chuvoso, pois em outras regiões do mundo o índice pluviométrico é de 80 a 250 mm/ano enquanto que no Nordeste tem-se de 200 a 800 mm/ano. Segundo MALVEZZI (2007):

“É o semiárido mais chuvoso do planeta: a pluviosidade é, em média, 750 mm/ano (variando, dentro da região, de 250 mm/ano a 800 mm/ano). É também o mais populoso, e em nenhum outro as condições de vida são tão precárias como aqui. O subsolo é formado em 70% por rochas cristalinas, rasas, o que dificulta a formação de mananciais perenes e a potabilidade da água, normalmente salinizada”.

FEITOSA & DINIZ (2011) apresentaram 18.600 valores de condutividade elétrica de águas de poços, localizados no cristalino dos estados do Ceará, Rio Grande do Norte, Paraíba e Pernambuco. Os valores encontrados indicam o nível de salinidade das águas encontradas nessas regiões, os pontos estão distribuídos em três classes de valores de condutividade, escolhidos para expressar água doce ($CE \leq 500 \mu\text{S/cm}$), salobra ($1.000 \mu\text{S/cm} < CE \leq 2.500 \mu\text{S/cm}$) e salgada ($CE > 2.500 \mu\text{S/cm}$).

Como apresentado na Figura 26 percebe-se que, as águas encontradas nos poços localizados nas zonas 2 e 4 são predominantemente salgadas, na zona 3 são predominantemente salobras e na zona 1, próximo ao litoral, são predominantemente doces.

Figura 26 - Valores de condutividade elétrica medidos in loco em poços tubulares



Fonte: Feitosa (2008)

As secas fazem parte da realidade da região Nordeste desde o século XVII, e continua presente até os dias de hoje com a mesma intensidade do passado. Na região semiárida do Nordeste, as secas, enquanto fenômeno físico constitui um desastre de ordem natural (SILVA, 2013). Assim sendo, é de extrema importância a dessalinização das águas do subsolo no semiárido. A purificação dessas águas pode significar uma melhoria na qualidade de vida de dezenas de pessoas que aí padecem.

3 DESENVOLVIMENTO

No decorrer deste Capítulo serão apresentadas propostas de dessalinizadores solares passivo, ativo, híbrido e contínuo utilizando carcaças de geladeiras, além da conversão de energia renovável disponível na região para produção de água sem sais. Esses dessalinizadores foram propostos com base em uma pesquisa bibliográfica sobre dessalinizadores, realizadas no decorrer da execução do trabalho. Alguns desses estudos foram apresentados de forma resumida no capítulo anterior, para maiores detalhes recomenda-se consultar as referências deste trabalho.

3.1 DESSALINIZADOR SOLAR PASSIVO

Predominantemente a caixa ou bacia de coleta de água salgada do dessalinizador solar é construída de alvenaria ou metal revestido com algum material isolante. Sendo assim, temos que levar consideração os gastos na sua construção e, no caso do metal, a dificuldade encontrada em fazer o isolamento térmico. Diante dessas dificuldades comumente encontradas, um substituto ideal para a bacia coletora do dessalinizador são carcaças velhas de freezer ou geladeira. Pois, podemos tirar proveito de suas paredes duplas (chapa metálica no lado externo e plástico no interno), que formam um ambiente fechado e isolado termicamente, por meio de elementos de baixa condutibilidade térmica (lã de vidro ou espuma injetada de poliuretano).

Para construção do dessalinizador solar passivo, primeiro vamos cobrir as partes externas metálicas com um plástico adesivo, para evitar que o material se deteriore no tempo. Para aumentar a refletância solar sobre a água na bandeja, as partes internas devem ser cobertas com um plástico adesivo espelhado. O próximo passo é a confecção de uma bandeja coletora de alumínio (110 x 50 x 10 cm) com 1mm de espessura, que será colocada dentro da carcaça da geladeira.

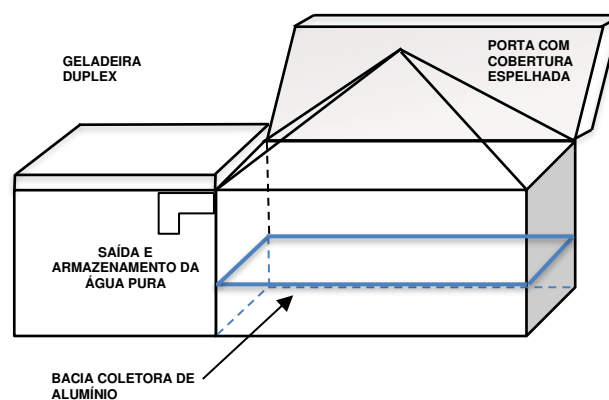
E por último temos, uma cobertura piramidal de vidro 4mm com inclinação de 25° removível, para facilitar a retirada do sal residual. Segundo SOARES (2004, p. 5), “O equipamento de destilação solar tem a forma de uma pirâmide, as faces são de vidro para

permitir a entrada dos raios solares durante todo o tempo independentemente da posição do sol e do próprio equipamento, tornando o interior da pirâmide uma estufa”.

A cobertura de vidro inclinada facilitará o escoamento das gotas de água pelo vidro, de modo que as gotas condensadas deslizam pelas paredes inclinadas para uma calha e daí até um recipiente coletor. É indicado que o dessalinizador esteja sobre uma base de cimento, para melhorar a conservação da carcaça da geladeira.

Com o intuito de também aproveitar a porta da geladeira, esta pode ter sua parte interna coberta com espelho ou um adesivo espelhado, para servir como refletor e assim aumentar a produção de água. Os refletores farão com que os raios solares incidentes sejam irradiados para a água salgada depositada na bacia coletora, aumentando assim sua temperatura e conseqüentemente a evaporação da mesma, ver Figura 27.

Figura 27 – Esquema proposto para o dessalinizador solar passivo



Fonte: Própria

Podemos supor que se o dessalinizador simples sem refletor produz por dia 5 litros de água destilada. De acordo com TANAKA (2009), houve um aumento na produtividade diária de 48% com o uso de refletores internos e externos. Logo, com a utilização dos refletores internos e externos vamos supor que a produção sobe para 7,4 litros por dia.

O dessalinizador solar passivo é alimentado apenas com a energia renovável solar, é a configuração mais básica para a produção de água e conseqüentemente com menor custo de implementação.

3.1.1 CUSTOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO DESSALINIZADOR SOLAR PASSIVO

Esse modelo proposto é o mais simples, sua produção de água depende apenas da radiação solar, com pico de produção entre 10hs e 14hs. Por isso seu, custo de

implementação depende apenas do material utilizado na confecção do dessalinizador. Os materiais necessários e os valores aproximados são:

- Carcaça de geladeira: R\$ 200,00;
- Base de cimento: R\$ 100,00;
- Plástico adesivo: R\$ 80,00;
- 2 folhas adesivas espelhada: R\$ 100,00;
- Chapa de alumínio de 1mm: R\$ 92,44;
- Vidro transparente comum 4mm: R\$ 89,78
- Loctite Durepoxi Líquido: R\$ 11,15.

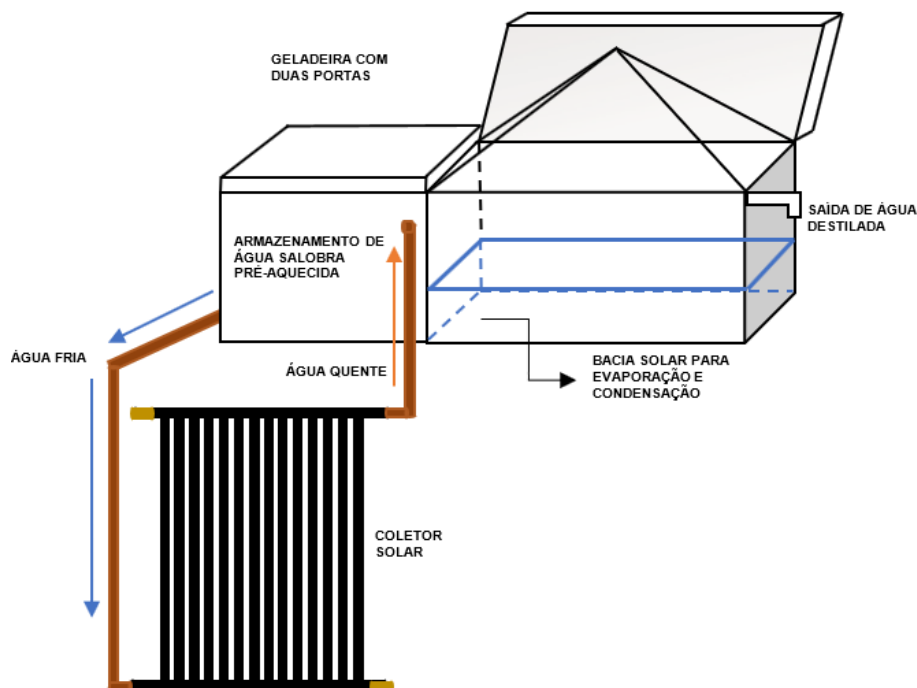
O valor total médio estimado para a confecção do modelo de dessalinizador proposto é R\$ 673,37. Se a geladeira vir de uma doação, o valor do projeto se reduz para R\$ 473,37.

3.2 DESSALINIZADOR SOLAR ATIVO

O dessalinizador solar ativo é caracterizado por utilizar algum auxílio externo para aquecer a água, como coletores solares, coletores de concentração acoplados a unidade de dessalinização, etc. Para aumentar a produção de água destilada, um coletor solar plano integrado a carcaça de uma geladeira deverá pré-aquecer a água salobra ou salgada armazenada no compartimento do freezer. Segundo LOPES (2004, p. 13), “O coletor solar é a parte mais importante do sistema de aquecimento solar. Ele é o dispositivo responsável pela absorção e transferência da radiação solar para um fluido sob a forma de energia térmica”.

Essa água pré-aquecida deverá ser conduzida ao segundo compartimento onde será evaporada e condensada na cobertura com inclinação em forma de pirâmide. O modelo proposto aqui é uma extensão do projeto anterior, como observado na Figura 28.

Figura 28 - Esquema do dessalinizador com coletor solar acoplado



Fonte: Própria

Porém agora, a água fornecida à bacia coletora de alumínio receberá um pré-aquecimento, decorrente de um coletor solar acoplado ao reservatório de água salobra ou salgada. O compartimento superior da geladeira, termicamente isolado, é ideal para manter a água de alimentação aquecida durante todo o dia.

A bibliografia consultada (BADLAN et al., 2005) relata um aumento de 53% na produção de água destilada com o uso do coletor solar. Baseado nessas informações podemos supor uma produção de 11,32 litros de água por dia.

3.2.1 CUSTOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO DESSALINIZADOR SOLAR ATIVO

Esse modelo proposto é mais eficiente que o anterior, porque a água que chega até a bacia coletora foi previamente aquecida, o que acelera o processo de evaporação da água salobra ou salgada. O custo de implementação depende dos materiais utilizados na confecção do dessalinizador solar e do coletor solar. Os materiais necessários e os valores aproximados são:

- Carcaça de geladeira: R\$ 200,00;
- Base de cimento: R\$ 100,00;

- Plástico adesivo: R\$ 80,00;
- 2 folhas adesivas espelhada: R\$ 100,00;
- Chapa de alumínio de 1mm: R\$ 92,44;
- Vidro transparente comum 4mm: R\$ 89,78
- Loctite Durepoxi Líquido: R\$ 11,15;
- Coletor solar TekSol (1m²): R\$ 82,80.

O valor total médio estimado para a confecção do modelo de dessalinizador solar ativo proposto é R\$ 756,17. Se a geladeira vir de uma doação, o valor do projeto se reduz para R\$ 556,17.

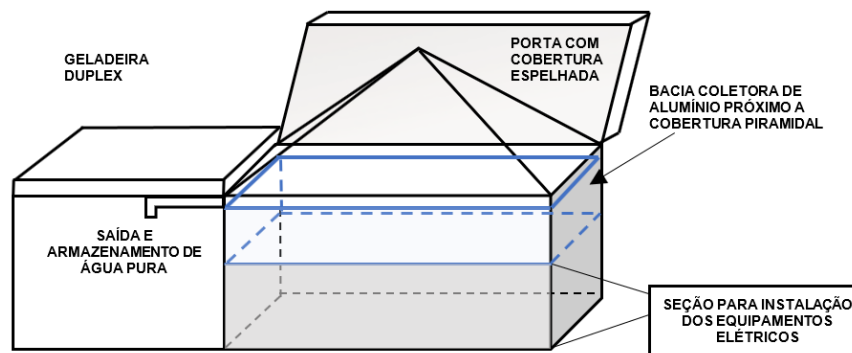
3.3 DESSALINIZADOR HÍBRIDO

A ideia proposta aqui, visa a integração da energia solar em conjunto com a energia elétrica, a fim de aumentar mais a temperatura da água salobra ou salgada contida na bacia coletora de alumínio, e conseqüentemente provocar o aumento da evaporação da mesma. Entretanto agora, com o auxílio de equipamentos elétricos, pretendemos sugerir um sistema que consiga ofertar mais água pura por dia, ou seja um dessalinizador solar híbrido.

3.3.1 DESSALINIZADOR SOLAR COM LÂMPADAS E RESISTOR EM AMBIENTE SECO

Para essa configuração, a bacia coletora feita de alumínio deve ser instalada próximo a cobertura de vidro piramidal, de modo que abaixo da bacia exista uma seção para a instalação de duas lâmpadas refletoras de calor e uma resistência em contato com a bacia de alumínio, ver Figura 29.

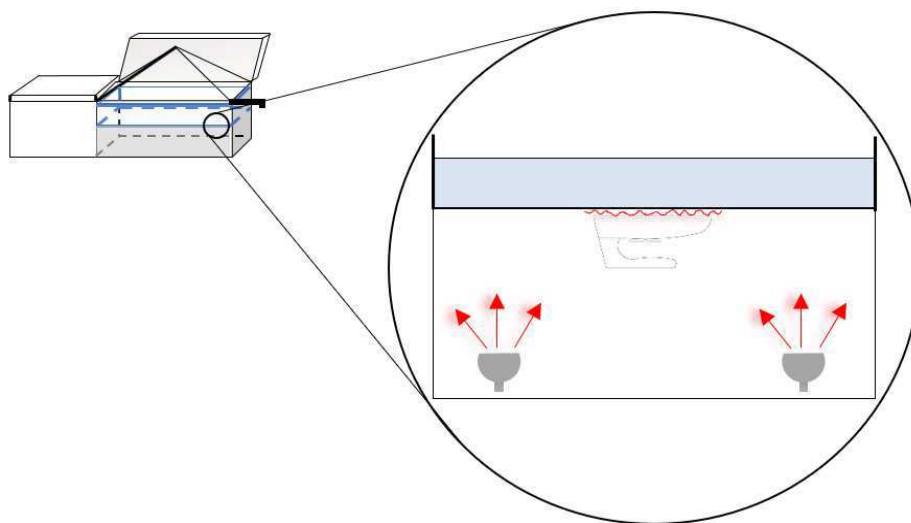
Figura 29 – Esquema do dessalinizador solar híbrido com seção para instalação de equipamentos elétricos



Fonte: Própria

A sugestão do trabalho é que a resistência utilizada seja a de um ferro de passar roupas invertido. As duas lâmpadas instaladas são de 250W cada. A vantagem desse modelo híbrido é que uma maior massa de líquido pode ser aquecida na bacia de alumínio, pois o processo de dessalinização não depende apenas da radiação solar para aquecer a água salgada ou salobra, ver Figura 30.

Figura 30 – Esquema dos equipamentos que fornecem calor para a bacia coletora.



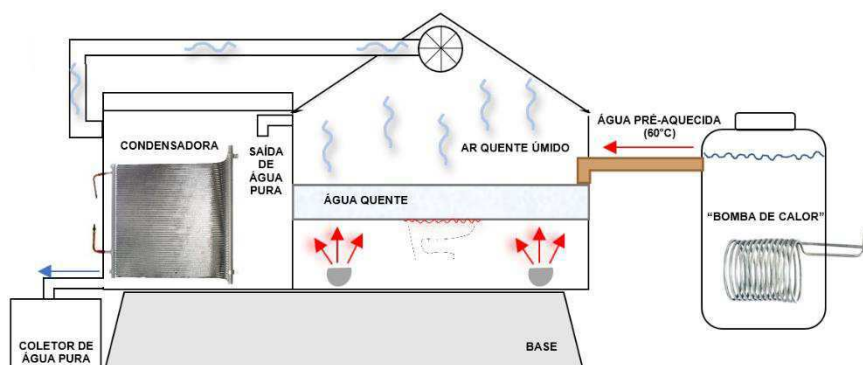
Fonte: Própria

Uma maneira de tornar o dessalinizador híbrido mais eficiente é inserindo no sistema uma bomba de calor e uma condensadora. Como o objetivo do trabalho é propor dessalinizadores de baixo custo, a condensadora proposta é a da própria geladeira, ou de qualquer outro sistema de gelar água, como por exemplo um gelagua. E a bomba de calor proposta é alimentada por um compressor de geladeira ou por um compressor do gelagua.

A ideia é utilizar um recipiente térmico à parte, no qual será instalado uma serpentina por onde circulará o gás quente proveniente do compressor, esse sistema funcionará como uma bomba de calor para pré-aquecer, em torno de 60°C, a água salgada armazenada (MOREIRA & ZUZARTE, 2015).

Na cobertura piramidal será instalado um ventilador exaustor que levará uma parte do ar quente até a condensadora por meio de um tubo. A outra parte será condensada normalmente na superfície do vidro. A condensadora reciclada será inserida no compartimento do freezer, e assim que o ar quente entrar em contato com a superfície fria da condensadora ocorrerá a produção de água destilada, ver o esquema proposto na Figura 31.

Figura 31 – Esquema de um dessalinizador híbrido com condensação e pré-aquecimento externo.



Fonte: Própria

3.3.1.1 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DO DESSALINIZADOR HÍBRIDO

Para a alimentação dos equipamentos elétricos sugeridos é aconselhável um sistema de conversão de energia limpa, como a solar e a eólica. Porém um sistema *off-grid* elevaria os custos do projeto. É importante ressaltar que a Lei nº 10.438, de 2002 garante aos proprietários rurais descontos na tarifa de energia para aqueles que a utilizam no intervalo entre 21h:30 e 6h. Sendo assim, uma rede de alimentação *on-grid* supriria as necessidades do sistema, onde a parte elétrica do dessalinizador é alimentada durante o dia apenas com energia da conversão solar e eólica, e a noite a rede da concessionária seria responsável funcionamento do dessalinizador.

A alimentação das duas lâmpadas refletoras se dará por meio de dois painéis fotovoltaicos de 330W e um inversor de 600W. O resistor é alimentado diretamente por

um aerogerador de 500W. O compressor será alimentado diretamente pela rede da concessionária.

3.3.1.2 CUSTOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO DESSALINIZADOR SOLAR COM LÂMPADAS E RESISTOR EM AMBIENTE SECO

Esse modelo híbrido é bem mais eficiente que o ativo, porque a água que chega até a bacia coletora além de receber o calor solar será aquecida pelo conjunto de lâmpadas e resistor, tendo assim a produção de água acelerada. O custo de implementação depende dos materiais utilizados na confecção do dessalinizador solar e os equipamentos elétricos utilizados na conversão de eletricidade em calor. Os materiais necessários e os valores aproximados são:

- Carcaça de geladeira: R\$ 500,00;
- Geladeira + compressor + condensadora: R\$ 700,00;
- Base de cimento: R\$ 100,00;
- Plástico adesivo partes externas: R\$ 80,00;
- Chapa de alumínio de 1mm: R\$ 92,44;
- Vidro transparente comum 4mm: R\$ 89,78
- Loctite Durepoxi Líquido: R\$ 11,15;
- Duas lâmpadas refletoras de calor 250W: R\$ 177,80;
- Ferro de passar roupas à seco: R\$ 37,90;
- Ventilador exaustor: R\$ 173,28.
- Reservatório térmico com capacidade para 100 litros: R\$ 765,00;
- Serpentina inox 10m: R\$ 155,00;
- Coletor de água 20 litros: R\$ 66,05;
- Aerogerador 500W + controlador 12V: R\$ 2.133,22;
- 2 painéis fotovoltaicos 330W: R\$ 549,63;
- 2 Inversores Eólico Solar On Grid Tie 600W 220V: R\$ 619,00 (cada).

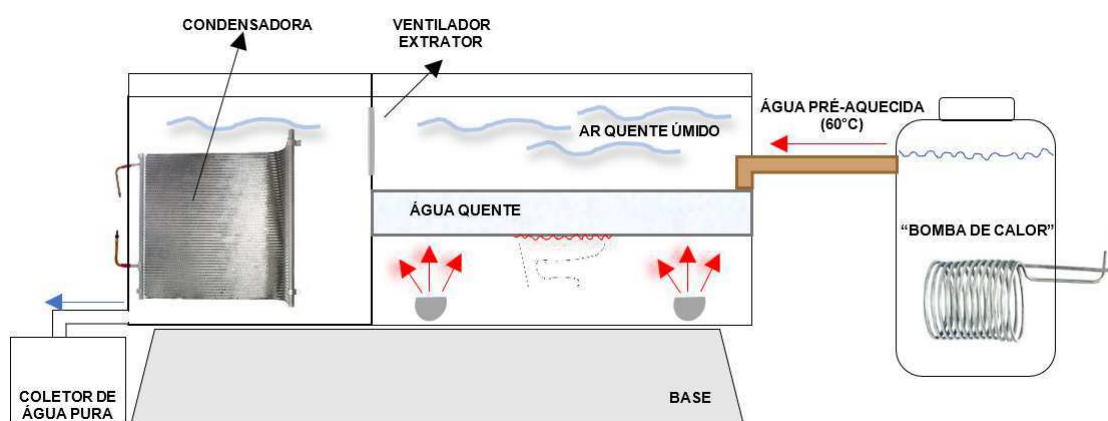
O valor total médio estimado para a confecção do modelo de dessalinizador solar híbrido sem condensadora e bomba de calor é R\$ 5.009,92, com condensadora e pré-aquecimento externo é R\$ 6.369,25.

3.4 DESSALINIZADOR ELÉTRICO CONTÍNUO

A proposta desse dessalinizador elétrico é a produção contínua de água pura. Para isso, precisamos da geladeira e de todo o seu sistema de funcionamento. A ideia é utilizar um recipiente térmico à parte, no qual será instalado uma serpentina por onde circulará o gás quente de um compressor, esse sistema funcionará como uma bomba de calor para pré-aquecer, em torno de 60°C, a água salgada armazenada. Entre os dois compartimentos da carcaça é instalado um ventilador extrator, para levar o ar úmido quente até a condensadora.

A condensadora retirada da geladeira é inserida no compartimento do freezer, onde tem a função de produzir a água pura resultante da condensação da água salgada, ver o esquema proposto na Figura 32.

Figura 32: Esquema do dessalinizador elétrico proposto



Fonte: Própria

A vantagem do dessalinizador elétrico é a produção contínua de água destilada, além disso sua utilização acontece em um ambiente interno, dentro de uma sala por exemplo, preservando o sistema das intempéries do ambiente externo.

A desvantagem é o custo da produção da água destilada, pois como o sistema é todo elétrico (pré-aquecimento, aquecimento e condensação), o consumo de energia é maior que o modelo de dessalinização híbrido.

A alimentação do dessalinizador elétrico será pela conversão de energia híbrida (solar e/ou eólica + convencional), com o intuito de oferecer um dessalinizador econômico e eficiente. Para a conversão de energia eólica é necessário um aerogerador de 500W para alimentar diretamente o resistor do sistema. Já para a conversão fotovoltaica é necessário. O compressor removido da geladeira, e que agora tem a função de pré-aquecer a água e condensar o vapor quente é alimentado diretamente pela rede.

A característica essencial do dessalinizador elétrico é a produção contínua de água logo, para manter a característica é importante que os sistemas eólico, fotovoltaico e convencional estejam interligados. Pois, quando não houver conversão de energia eólica e/ou fotovoltaica o dessalinizador elétrico será alimentado pela rede elétrica da concessionária.

3.4.1 SISTEMA DE ALIMENTAÇÃO DO DESSALINIZADOR ELÉTRICO

O dessalinizador é completamente alimentado dia e noite por energia elétrica, por isso é fundamental a implementação de um sistema de conversão de energia limpa, como a solar e a eólica. Para esse dessalinizador o ideal é um sistema *on grid*, pois assim os custos da produção de água seriam reduzidos.

A alimentação das duas lâmpadas refletoras se dará por meio de dois painéis fotovoltaicos de 330W e um inversor de 600W. O resistor é alimentado diretamente por um aerogerador de 500W. O compressor será alimentado diretamente pela rede da concessionária.

3.4.2 CUSTOS DA IMPLEMENTAÇÃO DO DESSALINIZADOR ELÉTRICO

O dessalinizador elétrico funcionando continuamente confere uma produção de água mais eficiente que o dessalinizador híbrido, porque a água pré-aquecida que chega até a bacia coletora recebe todo o calor convertido pelas lâmpadas e pelo resistor, esse calor concentrado faz a água aquecer mais rápido e, portanto, evaporar mais rápido também. O custo de implementação depende do custo de uma geladeira usada funcionando, e dos equipamentos elétricos utilizados na conversão de eletricidade em calor. Os materiais necessários e os valores aproximados são:

- Carcaça de geladeira + compressor + condensadora: R\$ 700,00;
- Serpentina inox 10m: R\$ 155,00;
- Chapa de alumínio de 1mm: R\$ 92,44;
- Duas lâmpadas refletoras de calor 250W: R\$ 177,80;
- Ventilador exaustor: R\$ 173,28.
- Ferro de passar roupas à seco: R\$ 37,90;
- Reservatório térmico com capacidade para 100 litros: R\$ 765,00;
- Coletor de água 20 litros: R\$ 66,05;

- Aerogerador 500W + controlador 12V: R\$ 2.133,22;
- 2 painéis fotovoltaicos 330W: R\$ 549,63;
- 2 Inversores Eólico Solar On Grid Tie 600W 220V: R\$ 619,00 (cada).

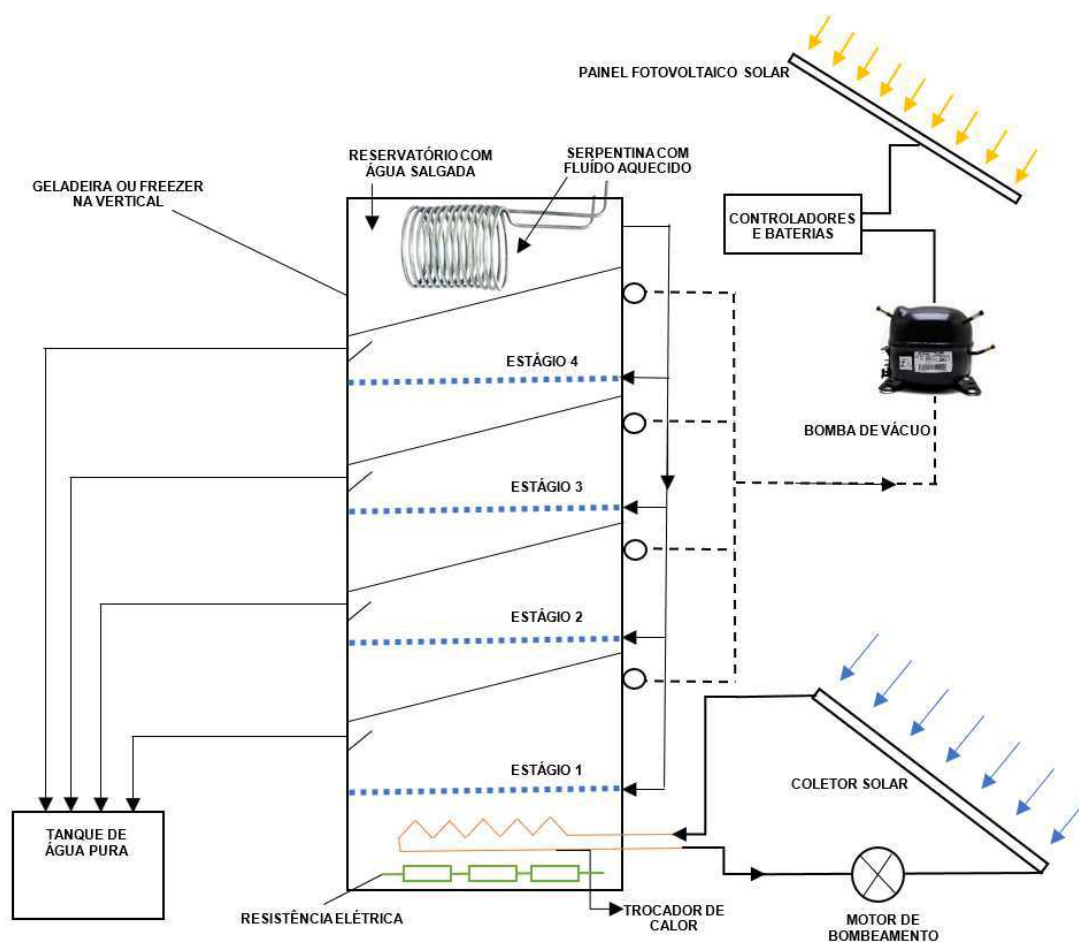
O valor total médio estimado para o projeto de dessalinizador elétrico é R\$ 6.088,32.

3.5 DESSALINIZADOR SOLAR COM 4 ESTÁGIOS

A carcaça de um freezer ou geladeira na vertical também poderá ser utilizada como um dessalinizador solar de 4 estágios de dessalinização, pois seu ambiente isolado termicamente é ideal para implementação deste tipo de modelo. Além disso, o dessalinizador pode continuar produzindo água a noite (dessalinizador híbrido), com a ideia de uma bomba de calor em cada estágio em conjunto com uma resistência na bacia inferior do primeiro estágio.

O esquemático da proposta encontra-se na Figura 33, o dessalinizador será composto por 4 superfícies inclinadas de vidro. O estágio 1 contém a água que será aquecida por meio de um coletor solar durante o dia, e por uma resistência a noite. A resistência sugerida é um ebulidor elétrico inserido em água pura, o aquecimento da água acontecerá por banho-maria. A água aquecida será evaporada e aquecerá a superfície inferior do estágio 2. Logo, devido a recuperação de calor latente, a temperatura da segunda bacia aumenta, levando a evaporação e condensação. O mesmo fenômeno continua até o último estágio.

Figura 33– Esquema do dessalinizador misto com 4 estágios



Fonte: Própria

Visando aproveitar o calor gerado e dissipado no ar por geladeiras e ar condicionado para aquecimento da água e ainda contribuir para a economia de energia nos equipamentos é sugerido a utilização da bomba de calor. Por meio de serpentinas colocadas dentro do depósito com água salobra ou salgada, que serão alimentadas pelo fluido aquecido através do funcionamento dos equipamentos elétricos (geladeiras, freezer ou ar condicionado) que pré-aquecerá a água armazenada em um compartimento térmico localizado na parte superior da geladeira. O uso desse método além de aquecer a água sem custo adicional, ainda reduz o consumo de energia da geladeira, pois o gás volta à geladeira mais frio. No caso do ar condicionado, o ar quente desperdiçado seria utilizado para pré-aquecer água para a produção de água destilada, ou seja, com custo zero de energia para o processo de dessalinização.

Para tornar o sistema mais eficiente, aumentar a taxa de evaporação, uma bomba de vácuo instalada será responsável por diminuir a pressão interna em cada estágio e assim aumentar a condensação no dessalinizador solar. Como a ideia é propor um

dessalinizador de baixo custo, a bomba de vácuo utilizada será um motor compressor de bebedouro ou motor compressor de geladeira.

Foi proposto aqui um dessalinizador com exatamente 4 estágios de dessalinização, porque segundo a bibliografia consultada (KUMAR et al., 2012), é a quantidade adequada de estágios para se conseguir uma ótima produção de água destilada.

4 CONCLUSÃO

É necessário analisar o problema da escassez de água no semiárido, como um tema cada vez mais abrangente a nível nacional, promovendo e desenvolvendo novos recursos e novas formas de abastecimento de água. A dessalinização deve ser considerada como um meio viável para dar resposta a este problema.

O desafio nesse trabalho foi apresentar maneiras econômicas de produção de água, pois muitas vezes, principalmente na zona rural do nordeste agricultores dispõem de jazidas de águas em suas terras, enquanto os mesmos padecem com a falta de água. Porém, como sabido os dessalinizadores solares são pouco eficientes, então baseados em pesquisas anteriores foram propostos modelos de destiladores em conjunto com equipamentos elétricos a fim de conseguir sistemas mais produtivos. Os equipamentos elétricos mencionados, devido as potencialidades solar e eólica da região podem ser alimentados de forma autônoma ou não, de acordo com as características de cada lugar.

Conclui-se que a utilização de equipamentos elétricos, como lâmpadas, resistores, ventilador, compressor no aumento da produção de água pura é extremamente vantajosa, uma vez que o consumo de energia além de baixo é oferecido por sistemas de conversão de fontes renováveis abundantes no Nordeste.

É importante destacar que os dessalinizadores propostos são ecologicamente corretos, uma vez que produzem zero poluentes, o sal resultante do processo de destilação poderá ser aproveitado na alimentação de animais ruminantes. E seu sistema elétrico é alimentado por fontes de energia limpa.

O objetivo do trabalho foi alcançado, já que os dessalinizadores sugeridos utilizando a carcaças de materiais descartados são viáveis, de baixo custo e fácil implementação. As ideias foram apresentadas, restando agora colocá-las em prática para solucionar o problema da escassez de água potável.

REFERÊNCIAS

- ABDEL-REHIM, Zeinab S.; LASHEEN, Ashraf. Experimental and theoretical study of a solar desalination system located in Cairo, Egypt. **Desalination**, v. 217, p. 52-64, nov, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916407004717#!>>. Acesso em: 23 nov 2019.
- AGOZ, Elsayed et al. Theoretical Analysis of Continuous Heat Extraction from Absorber of Solar Still for Improving the Productivity. **Periodica Polytechnica Mechanical Engineering**, v. 62, n. 3, p. 187-195, fev, 2018. Disponível em: <<https://pp.bme.hu/me/article/view/11213/8002>>. Acesso em: 05 nov 2019.
- AHMED, Husham M.; ALFAYLAKAWI, Khalid A.. Productivity Enhancement of Conventional Solar Stills Using Water Sprinklers and Cooling Fan. **Journal of Advanced Science and Engineering Research**, v. 2, n. 3, p. 168-177, set, 2012. Disponível em: <<https://pdfs.semanticscholar.org/63ba/6a552d7bd199a658834ca94b5b9564e2949d.pdf>>. Acesso em: 23 nov 2019.
- AHMED, Husham M.; IBRAHIM, Ghaleb A.. Performance Evaluation of a Conventional Solar Still with Different Types and layouts of Wick Materials. **Journal of Energy Technologies and Policy**, v. 6, n. 9, p. 5-14, 2016. Disponível em: <https://www.researchgate.net/publication/309463087_Performance_Evaluation_of_a_Conventional_Solar_Still_with_Different_Types_and_layouts_of_Wick_Materials>. Acesso em: 05 nov 2019.
- AHMED, M. I.; HRAIRI, M.; ISMAIL, A. F.. On the characteristics of multistage evacuated solar distillation. **Renewable Energy**, v. 34, p. 1471-1478, jun, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0960148108003911>>. Acesso em: 23 nov 2019.
- ALMEIDA, Thales Hieron Soares de. Dimensionamento de um Sistema Fotovoltaico Grid-Tie e Off-Grid para Alimentação de Energia Elétrica do Laboratório Hidráulico do CCTA / UFCG. Artigo (Mestrado em Sistemas Agroindustriais) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciência e Tecnologia Agroalimentar, Pombal – PB, 2018. Disponível em: <<http://dspace.sti.ufcg.edu.br:8080/xmlui/handle/riufcg/4375>>. Acesso em: 28 nov 2019.
- Atlas de Energia Elétrica do Brasil. Agência Nacional de Energia Elétrica. 2 ed, p. 243. Brasília. ANEEL, 2005. ISBN 85-87491-09-1.
- BADRAN, Ali A.. A solar still augmented with a flat-plate collector. **Desalination**, v. 172, p. 227-234, 20 fev 2005. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916405800402>>. Acesso em: 20 nov 2019.
- BOUZOID, M. Numerical Analysis of Thermal Performances for a Novel Cascade Solar Desalination Still Design. **Energy Procedia**, v. 157, p. 1071-1082, jan, 2019. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1876610218312475>>. Acesso em: 05 nov 2019.
- BRITO, Miguel C.; SILVA, José A.. Energia fotovoltaica: conversão de energia solar em electricidade. **O instalador**, jun, 2006. Disponível em: <<http://solar.fc.ul.pt/i1.pdf>>. Acesso em: 13 nov 2019.
- BRITO, Sabrina. ONG perfura poços artesianos no semiárido da Bahia. **Veja**, abr, 2019. Disponível em: <<https://veja.abril.com.br/ciencia/ong-perfura-pocos-artesianos-no-semiarido-da-bahia/>>. Acesso em: 23 nov 2019.

- Delimitação do Semiárido. Disponível em: <<http://www.sudene.gov.br/delimitacao-do-semiárido>>. Acesso em: 11 dez 2019.
- Dispositivo criado na Poli aquece a água com o calor da geladeira. Disponível em: <<https://www5.usp.br/90812/dispositivo-criado-na-poli-aquece-a-agua-com-o-calor-da-geladeira/>>. Acesso em: 23 nov 2018.
- EDALATPOUR, Mojtaba et al. Solar stills: A review of the latest developments in numerical simulations. **Solar Energy**, v. 135, p. 897-922, out, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0038092X16001791>>. Acesso em: 05 nov. 2019.
- ELTAWIL, Mohamed A.; ZHENGMING, Zhao. Wind turbine-inclined still collector integration with solar still for brackish water desalination. **Desalination**, v. 249, p. 490-497, dez, 2009. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916409007735>>. Acesso em: 23 nov 2019.
- ESTEBAN, Carmen; FRANCO, Judith; FASULO, Amílcar. Destilador solar asistido con colector solar acumulador. **Revista: Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente (AVERNA)**, v. 04, p. 39-42, 2000. ISSN: 0329-5184. Disponível em: <<http://sedici.unlp.edu.ar/handle/10915/79072>>. Acesso em: 10 out 2019.
- FEDERIZZI, Fernando Rafael. Energia Solar. 2011. Disponível em: <<https://www.trabalhosfeitos.com/ensaios/Energia-Solar/706428.html>>. Acesso em: 15 nov 2019.
- FEITOSA, Fernando A. C.; DINIZ, João Alberto Oliveira. Água subterrânea no cristalino da região semiárida brasileira. **Revista Águas Subterrâneas**, 2011. Disponível em: <<https://aguassubterraneas.abas.org/asubterraneas/article/view/28026/18153>>. Acesso em: 22 out 2019.
- FILHO, João Manoel. Modelo de dimensão fractal para avaliação de parâmetros hidráulicos em meio fissural. Tese (Doutorado em Recursos Minerais e Hidrogeologia) – Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo – SP, 1996. Disponível em: <<https://teses.usp.br/teses/disponiveis/44/44133/tde-04112015-155049/pt-br.php>>. Acesso em: 22 nov 2019.
- GAIO, Susana Sofia Marques. Produção de água potável por dessalinização: tecnologias, mercado e análise de viabilidade econômica. Dissertação (Mestrado em Engenharia da Energia e do Ambiente) – Departamento de Engenharia Geografia, Geofísica e Energia, Universidade de Lisboa, Lisboa – PT, 2016. Disponível em: <https://repositorio.ul.pt/bitstream/10451/26066/1/ulfc120740_tm_Susana_Gaio.pdf>. Acesso em: 26 out 2019.
- GOMES, Adjerfeson Cústodio et al. Análise Comparativa do Potencial de Energia Solar da Região Nordeste do Brasil x Alemanha. **Revista Científica Semana Acadêmica**, v. 1, n. 142, nov, 2018. Disponível em: <<https://semanaacademica.org.br/artigo/analise-comparativa-do-potencial-de-energia-solar-na-regiao-nordeste-do-brasil-x-alemanha>>. Acesso em: 01 nov 2019.
- GOMÉS, J. M. Rodríguez et al.. Irradiância Solar: Conceitos Básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física** (on-line), v. 40, n. 3, fev, 2018. ISSN: 1806-9126. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/rbef/v40n3/1806-9126-RBEF-40-3-e3312.pdf>>. Acesso em: 06 nov 2019.
- GUPTA, Bhupendra et al. Performance enhancement of modified solar still using water sprinkler: An experimental approach. **Perspectives in Science**, v. 8, p. 191-194, set, 2016. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213020916300453>>. Acesso em: 04 nov 2019.

- JESUS, Ariany Fernanda Sueitt de; BUENO, Marcos José Corrêa. Estudo de caso: A logística reversa de geladeiras e seus componentes. Encontro Internacional sobre Gestão Empresarial e Meio Ambiente – **ENGEMA**, dez., 2017. Anais (on-line). ISSN: 2359-1048. Disponível em: <<http://engemausp.submissao.com.br/19/anais/arquivos/492.pdf>>. Acesso em; 28 nov 2019.
- KUMAR, P. Vishwanath et al.. Optimization of design and operating parameters on the year round performance of a multi-stage evacuated solar desalination system using transient mathematical analysis. **International Journal of Energy and Environment**, v. 3, n. 3, p. 409-434, 2012. Disponível em: <http://ijee.ieefoundation.org/vol3/issue3/IJEE_07_v3n3.pdf>. Acesso em: 01 dez 2019.
- LOPES, Joaquim Teixeira. Dimensionamento e Análise Térmica de um Dessalinizador Solar Híbrido. Dissertação (Mestrado em Refrigeração e Condicionamento Ambiental) – Departamento de Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas – SP, 2004. Disponível em: <<http://tratamentodeagua.com.br/wp-content/uploads/2016/09/Dimensionamento-e-An%C3%A1lise-T%C3%A9rmica-de-um-Dessalinizador-Solar-H%C3%ADbrido.pdf>>. Acesso em: 30 set 2019.
- MARTINS, F. R.; GUARNIERI; PEREIRA, E. B.. O aproveitamento da Energia Eólica. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 30, n. 1, p. (1304)1-13, 2008. Disponível em: <<http://www.sbfisica.org.br/rbef/pdf/301304.pdf>>. Acesso em: 18 nov 2019.
- MELO, Ingrid Kely Cosme. Análise da Viabilidade da Instalação de uma Turbina Eólica de Pequeno Porte na Universidade Federal Rural do Semi-Árido – UFERSA, Campus Angicos. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Ciência e Tecnologia) - Universidade Federal Rural do Semi-Árido, Angicos – RN, 2018. Disponível em: <http://repositorio.ufersa.edu.br/handle/prefix/2396>. Acesso em: 25 nov 2019.
- OLIVEIRA, Larissa Mattos; CRUZ, Antônia Ferreira dos Santos. Análise comparativa de viabilidade técnica e econômica de um sistema fotovoltaico e um sistema híbrido (eólico - fotovoltaico) *on grid* para iluminação predial. **UNIFACS**, 2016. Disponível em: <<http://www.revistas.unifacs.br/index.php/sepa>>. Acesso em: 08 dez 2019.
- PANDEY, Narayan; RAI, A. K.. Performance study of solar still with separate condenser. **International Journal of Mechanical Engineering and Technology**, v. 7, n. 4, p. 125-130, jul-ago, 2016. Disponível em: <http://www.iaeme.com/MasterAdmin/uploadfolder/IJMET_07_04_012/IJMET_07_04_012.pdf>. Acesso em: 02 dez 2019.
- PEREIRA, Enio Bueno et al. Atlas Brasileiro de Energia Solar. 2. Ed. São José dos Campos: INPE, 2017. E-book(88p.). ISBN 978-85-17-00089-8.
- PHADATARE, M. K.; VERMA, S. K. Influence of water depth on internal heat and mass transfer in a plastic solar still. **Dessalination**, v. 217, p. 267-275, nov, 2007. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916407004900>>. Acesso em: 23 nov 2019.
- PRADO FILHO, Hayrton Rodrigues do. A energia que vem do vento. **Revista Digital AdNormas** (on-line). ISSN: 2595-3362. Disponível em: <<https://revistaadnormas.com.br/2018/09/25/a-energia-que-vem-do-vento/>>. Acesso em: 08 dez 2019.
- RAI, S. N.; TIWARI, G. N.. Single basin solar still coupled with flat plate collector. **Energy Conversion and Management**, v. 23, p. 145-149, 1983. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/0196890483900572#!>>. Acesso em: 20 nov 2019.
- REDDY, K. S. et al.. Performance analysis of an evacuated multi-stage solar water desalination system. **Desalination**, v. 288, p. 80-92, mar, 2012. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916411010368>>. Acesso em: 20 nov 2019.

- Sistemas Híbridos aplicados na Indústria. Disponível em:
<<https://www.tecnoveritas.net/pt/multimedia/newsletters-pt/industria/sistemas-hibridos-industria/>>. Acesso em: 09 nov 2019.
- SOUZA, Amaury de; ARISTONE, Flávio. Um estudo da temperatura e da irradiação solar em células fotovoltaicas. **Tecno-Lógica**, v. 22, n. 2, p. 194-200, jul./dez., 2018. Disponível em:
<<https://online.unisc.br/seer/index.php/tecnologica/article/view/11378>>. Acesso em: 06 nov 2019.
- TAAMNEH, Yazan; TAAMNEH, Madhar M.. Performance of pyramid-shaped solar still: Experimental study. **Desalination**, v. 291, p. 65-68, abr, 2012. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916412000744>>. Acesso em: 23 nov 2019.
- TANAKA, Hiroshi. Experimental study of a basin type solar still with internal and external reflectors in winter. **Desalination**, v. 249, p. 130-134, nov, 2009. Disponível em:
<<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0011916409007620>>. Acesso em: 23 nov 2019.
- TIWARI, G. N. et al. Comparison of various designs of solar stills. **Desalination**, v. 60, p. 191-202, 1986. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0011916486900081>>. Acesso em: 23 nov 2019.
- VASCONCELOS, et al.. Sistema híbrido de energia: Funcionamento e utilização residencial. **Projectus**, v. 1, n. 2, p. 104-109, abr-jun, 2016. Rio de Janeiro – RJ, 2016. Disponível em:
<<http://apl.unisuam.edu.br/revistas/index.php/projectus/article/view/1460>>. Acesso em: 09 dez 2019.
- ZARZOOM, K.; ZHANI, K.; BACHA, H. B.. Experimental Validation of Optimized Solar Still Using Solar Energy. **Journal of Fundamentals of Renewable Energy and Applications**, v. 7, p. 242, nov, 2017. Disponível em: <<https://www.omicsonline.org/open-access/experimental-validation-of-optimized-solar-still-using-solar-energy-2090-4541-1000242-95724.html>>. Acesso em: 01 dez 2019.