



UNIVERSIDADE FEDERAL DE CAMPINA GRANDE
CENTRO DE TECNOLOGIA E RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA PÓS-GRADUAÇÃO EM RECURSOS NATURAIS
DOUTORADO EM RECURSOS NATURAIS



JOSÉ ADAILTON LIMA SILVA

**DESSALINIZADOR SOLAR COM CONDENSADOR ACOPLADO PARA PRODUÇÃO DE
ÁGUA POTÁVEL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

**Campina Grande – PB
2017**

JOSÉ ADAILTON LIMA SILVA

**DESSALINIZADOR SOLAR COM CONDENSADOR ACOPLADO PARA PRODUÇÃO DE
ÁGUA POTÁVEL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Tese apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Recursos Naturais, da Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos Naturais. Área de concentração: Sociedade e Recursos Naturais; e linha de pesquisa: Gestão de Recursos Naturais.

Orientadora: Profa. Dra. Vera Lucia Antunes de Lima
Coorientador: Prof. Dr. Francisco José Loureiro Marinho

**Campina Grande – PB
2017**

JOSÉ ADAILTON LIMA SILVA

**DESSALINIZADOR SOLAR COM CONDENSADOR ACOPLADO PARA PRODUÇÃO DE
ÁGUA POTÁVEL NO SEMIÁRIDO BRASILEIRO**

Tese apresentada à Universidade Federal de
Campina Grande, Centro de Tecnologia e Recursos
Naturais, para obtenção do título de Doutor em
Recursos Naturais.

APROVADA em: ____/____/____

Profa. Dra. Vera Lucia Antunes de Lima (CTRN/UFCG)
Orientadora – Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola

Prof. Dr. Francisco José Loureiro Marinho (CCAA/UEPB)
Coorientador – Centro de Ciências Agrárias e Ambientais

Prof. Dr. João Damasceno (CEDUC/UEPB)
1º Examinador Externo: Centro de Educação – Coordenação de Geografia

Prof. Dr. Arsenio Pessoa de Melo Júnior
2º Examinador Externo: IF do Sertão Pernambucano

Prof. Dr. Pedro Vieira de Azevedo (CTRN/UFCG)
1º Examinador Interno – Unidade Acadêmica de Ciências Atmosférica

Prof. Dr. José Dantas Neto (UAEA/UFCG)
2º Examinador Interno – Unidade Acadêmica de Engenharia Agrícola

DEDICATÓRIA

A minha família, em especial aos meus pais, Lourdes e Adauto, que foram peças fundamentais em minha formação, e ponto de apoio nas adversidades da vida. Dedico, ainda, aos meus irmãos: Régia, Alberto, Reginéia, Rejane, Regina, Adailton e Reginaldo; a Pedro Amorim e aos demais familiares e amigos pela compreensão e estímulo nos momentos difíceis. Por fim, dedico este trabalho a todos aqueles que, de forma íntima ou majestosa, contribuíram para a minha formação profissional, e que me ensinam a cada dia o sentido de viver.

AGRADECIMENTOS

A Deus,

Agradeço primeiramente a Deus por ter-me fortalecido nos momentos difíceis.

A Nossa Senhora da Luz,

Por sua intercessão junto ao meu Pai Eterno, pois tudo que sou, e tudo que ainda vou ser, fez-se e se fará realidade em virtude não de minha vontade, mas sim diante da vontade de Deus. A Deus e a Nossa Senhora, toda honra e toda glória, agora e para sempre. Amém.

Aos meus pais, Adauto e Lourdes,

Que me ensinaram a vida com ela é, e como deve ser vivida. A vocês sou eternamente agradecido, pois além de bons pais, proporcionaram-me o privilégio de poder estudar quando nossa realidade econômica sobrevivia às duras penas. Hoje sou o que sou graças ao maravilhoso presente que Deus me deu: *meus amados pais*. Muito obrigado por tudo, pais queridos, pois sem vocês eu nunca saberia o que é amar e ser amado.

Aos meus irmãos Alberto, Régia, Reginéia, Rejane, Regina, Adailton e Reginaldo, a minha namorada Thais Mara, e aos demais familiares,

Pelos conselhos, pela compreensão diante de meu “estresse”, e pelos inúmeros momentos de felicidades a mim proporcionados durante toda a minha vida. Saibam que vocês são de suma importância para mim, e é uma honra tê-los ao meu lado.

A todos os meus amigos (as),

Os quais são minha fonte de conselhos e palavras amigas, e de onde pude encontrar, por várias vezes, a força necessária para superar os obstáculos da vida. A todos vocês, “*Grandes Amigos*”, minha sincera gratidão pelo presente de suas amizades.

A todos os professores, em especial, a Talvaci (*in memoriam*), Romana, Gesinaldo, Pedro Vieira, João Damasceno, Lédiam Rodrigues, José Dantas, Francisco Loureiro e a minha orientadora Vera Lucia, os quais puderam fornecer-me seus ensinamentos e instruções.

A COONAP, ao NERA e a todas as famílias rurais que contribuíram para que este trabalho pudesse ser realizado com presteza.

A Universidade Federal de Campina Grande e ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais, pela oportunidade e apoio para que se tornasse possível a conclusão do doutorado.

A CAPES (Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela bolsa de estudos fornecida ao autor;

E a todos que contribuíram direta ou indiretamente para o nosso crescimento profissional e pessoal. A vocês, minha eterna gratidão.

SILVA, José Adailton Lima. **Dessalinizador solar com condensador acoplado para produção de água potável no semiárido brasileiro**. 2017. Tese (Doutorado em Recursos Naturais). CTRN/UFCG, Campina Grande – PB, 2017, 87 p.

RESUMO

As condições edafoclimáticas do semiárido brasileiro têm conduzido à escassez de água, a qual tem contribuído para que inúmeras famílias rurais consumam água de má qualidade que, por vezes, estão com elevados níveis de sais ou contaminadas por microrganismos patogênicos. Diante disso, objetivou-se avaliar, de forma comparativa, como o uso de um condensador acoplado a um dessalinizador solar poderia aumentar a oferta de água potável às famílias rurais que convivem com a escassez hídrica, e com isso obter benefícios socioeconômicos e ambientais. Neste sentido, foram analisados alguns aspectos: i) potencial máximo e mínimo de obtenção de água em função da radiação solar e das temperaturas médias diárias; ii) evidenciar a eficiência do condensador extra na promoção de uma maior obtenção de água potável; iii) analisar o potencial de captação de águas de chuvas adquirido com o uso dos dessalinizadores solar, e investigar possíveis variações de produção de água em função da salinidade da água; iv) averiguar a qualidade/potabilidade das águas antes e depois dos processos de dessalinização e desinfecção com os dessalinizadores solar; e v) diagnosticar os benefícios socioeconômicos e ambientais advindos do uso de dessalinizadores solar no tratamento de águas. Com estas premissas, foi realizada, no Assentamento Olho D'água, município de Seridó-PB, no semiárido paraibano, uma pesquisa experimental e quali-quantitativa, tomando por base: fundamentos teóricos e documentais; visitas técnicas e observações *in loco*; levantamento de dados e realização de cálculos estatísticos; realização de pesquisas participativas junto às famílias rurais; além da realização de análises laboratoriais de amostras de águas. Com isso, pôde-se observar que: o grande potencial de energia solar disponível localmente torna possível o tratamento de águas salinas; o uso do condensador proporcionou um aumento médio de 42% na obtenção de água advinda do dessalinizador; os dessalinizadores solar mostraram-se eficientes na captação de água de chuva, o que contribuiu para aumentar a oferta de água; a salinidade é um fator que reduz a obtenção de água; e, por fim, os dessalinizadores solar possibilitaram inúmeros benefícios socioeconômicos e ambientais (baixo custo de implantação, fornece água de boa qualidade, contribuiu para a gestão e segurança hídrica, utiliza energia solar limpa e renovável, entre outros.). Assim, concluiu-se que o dessalinizador solar com condensador extra é uma tecnologia social e sustentável para a gestão dos recursos hídricos, isso porque o mesmo mostrou-se ser economicamente viável, socialmente justo/disseminável, e ambientalmente correto.

Palavras-Chave: Semiárido. Segurança hídrica. Benefícios socioeconômicos e ambientais.

SILVA, José Adailton Lima. Solar dehydrator with condenser coupled for potable water production in the Brazilian semi-arid. 2017. Thesis (Doctorate in Natural Resources). CTRN/UFCG, Campina Grande – PB, 2017, 87p.

ABSTRACT

The soil and climatic conditions of the Brazilian semi-arid region have led to water scarcity, which has contributed to the fact that numerous rural families consume poor quality water that is sometimes high in salts or contaminated by pathogenic microorganisms.. The objective of this study was to evaluate, in a comparative way, how the use of an condenser coupled to a solar desalinator could increase the supply of drinking water to the rural families living with the water shortage, thus obtaining socioeconomic and environmental benefits. In this sense, some aspects were analyzed: i) maximum and minimum potential for obtaining water as a function of solar radiation and average daily temperatures; Ii) to demonstrate the efficiency of the extra condenser prototype in the promotion of a greater obtaining of drinking water; Iii) to analyze the rainwater harvesting potential acquired with the use of solar desalinators, and to investigate possible variations in water production as a function of water salinity; Iv) to check the quality / potability of the water before and after the desalination and disinfection processes with the solar desalinizers; And v) to diagnose the socioeconomic and environmental benefits derived from the use of solar desalinizers in water treatment. With these premises, an experimental and qualiquantitative research was carried out, in the Olho D'água settlement, in the city of Seridó-PB, in the semi-arid region of Paraíba, based on theoretical and documentary foundations; Technical visits and on-site observations; Data collection and statistical calculations; Conducting participatory research with rural families; In addition to performing laboratory analyzes of water samples. Thus, it could be observed that: the great potential of locally available solar energy makes it possible to treat salt water; The use of the extra condenser provided an average increase of 42% in obtaining water from the desalinator; The solar desalinators were efficient in the capture of rainwater, which contributed to increase the supply of water; The salinity is a factor that reduces the obtaining of water; And finally, solar desalinators have provided numerous socio-economic and environmental benefits (low cost of implementation, good quality water, contributed to water management and safety, uses clean and renewable solar energy, among others.). Thus, it was concluded that the solar desalinator with condenser is a social and sustainable technology for the management of water resources, because it has proved to be economically viable, socially fair / disseminable, and environmentally sound.

Keywords: Semi-arid. Water safety. Socioeconomic and environmental benefits.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Ilustração do Método SODIS	28
Figura 2: Curva de saturação do vapor d'água. O ponto X (e, t) representa uma amostra de ar úmido; A, B e C, três diferentes modos de se obter sua saturação; t_d é a temperatura do ponto de orvalho.....	33
Figura 3: Dessalinização e desinfecção de águas através de dessalinizadores solar	34
Figura 4: Dessalinizador solar acoplado a um coletor solar de pré-aquecimento da água	35
Figura 5: Dessalinizadores solar no sítio Corredor, Remígio-PB	36
Figura 6: Comportamento da evaporação e da produção de água destilada em função da radiação solar disponível ao longo de dias sequenciais.	37
Figura 7: Radiação solar, pluviometria e potencial de captação de água das chuvas disponíveis ao longo de dias sequenciais.	37
Figura 8: Variância da taxa de evaporação d'água em função do acúmulo de sais.....	38
Figura 9: Tecnologias sociais: A - cisternas de placas; B - cisterna de enxurrada; C – barragem subterrânea; D – tanque de pedra.....	40
Figura 10: Localização do sítio Olho D'água, no município de Seridó-PB.....	41
Figura 11: Mapa geológico do município de Seridó-PB. Fonte: CRPM, 2005.....	42
Figura 12: Mapa de solos do município de Seridó-PB. Fonte: EMBRAPA, 2017	43
Figura 13: Coleta de águas de cisternas, açudes e poços, sem tratamento prévio.....	45
Figura 14: Desenho esquemático do dessalinizador solar.....	46
Figura 15: Dessalinizadores solar no sítio Olho D'água, Seridó-PB.....	46
Figura 16: Dessalinizador solar com o condensador extra, sítio Olho D'água, Seridó-PB.	47
Figura 17: Imagem e desenho esquemático do condensador extra.....	48
Figura 18: Acúmulo de sais na base do dessalinizador constituída de lona encerado, sítio Olho D'água, Seridó-PB	50
Figura 19: Dessalinizadores solar: modelo sem condensador extra - “D1”, e o modelo com condensador extra - “D2”.....	53
Figura 20: Coletores de alumínio conectados aos canos de PVC para escoamento das águas das chuvas para um reservatório (caixa de PVC de 310 litros).....	54
Figura 21: Valores médios da radiação solar diária em função da estação do ano	60

Figura 22: Temperatura média diária de cada estação do ano	60
Figura 23: Temperatura média dos horários diários de cada estação do ano.....	61
Figura 24: Produção de água potável em função da temperatura média de cada estação do ano	62
Figura 25: Comparação da obtenção de água potável entre o dessalinizador sem condensador extra (D1) e o dessalinizador com condensador extra (D2).....	63
Figura 26: Relação entre obtenção de água destilada, salinidade e temperatura diária.....	70
Figura 27: Limpeza dos sais acumulados sobre a lona encerado, e armazenamento dos sais em uma caixa de PVC (310 litros), sítio Olho D'água, Seridó-PB.....	70
Figura 28: Utilização da radiação solar para desinfecção das águas salinas de poços, sítio Olho D'água.	70

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Limites máximos de parâmetros para água segundo a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde	23
Tabela 2 – Análise de variância (<i>teste “F” e teste “T”</i>) dos dados de produção diária de água obtida pelo dessalinizador sem condensador extra (tratamento 1) e com condensador extra (tratamento 2)	65
Tabela 3 – Estimativa, em percentual, do potencial de captação de água de chuvas pelos dessalinizadores em dois eventos de chuvas: 7,6mm e 15mm.....	67
Tabela 4 – Resultado das análises físico-químicas das águas <i>in natura</i> e dessalinizadas	72
Tabela 5 – Resultado das análises microbiológicas das águas <i>in natura</i> e dessalinizadas	73

LISTA DE QUADROS

Quadro 01 – Processos de dessalinização: descrição, benefícios, pontos negativos e positivos	24
Quadro 2 – Doenças veiculadas pela água, seus agentes e forma de transmissão	27

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

ANA – Agência Nacional de Águas

ABRH – Associação Brasileira de Recursos Hídricos

AESA – Agência Executiva de Gestão das águas do Estado da Paraíba

ANVISA - Agência Nacional de Vigilância Sanitária

ASA – Articulação do Semiárido Brasileiro

CMMAD – Conferência Mundial para o Meio Ambiente e Desenvolvimento

COONAP – Cooperativa de Trabalho Múltiplo de Apoio às Organizações de Auto Promoção

CNPQ – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico

CPRM – Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais

DNOCS – Departamento Nacional de Obras contra a Seca

ETp – Evapotranspiração Potencial

FAO – Organização das Nações Unidas para Alimentação e Agricultura

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

IDH – Índice de Desenvolvimento Humano

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia

IOCS – Instituto de Obras Contra Seca

MDS – Ministério de Desenvolvimento Social

MIN – Ministério de Integração Nacional

MMA – Ministério do Meio Ambiente

OMS – Organização Mundial da Saúde

ONG – Organização Não Governamental

ONU – Organização das Nações Unidas

P1MC – Programa de Formação e Mobilização Social para a Convivência com o Semiárido:
Programa Um Milhão de Cisternas Rurais

P1+2 – Programa Uma Terra e Duas Águas

PIB – Produto Interno Bruto

PNRH – Política Nacional de Recursos Hídricos

SAB – Semiárido Brasileiro

T_d – Ponto de orvalho

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	15
1.1 Justificativa	17
1.2 Enfoque interdisciplinar	19
1.3 Objetivos	20
1.3.1 <i>Geral</i>	20
1.3.2 <i>Específicos</i>	20
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA	21
2.1 Semiárido brasileiro: condições climáticas e de solo, e a problemática da oferta de água	21
2.2 Dessalinização e desinfecção das águas: processos e tecnologias	22
2.2.1 <i>Dessalinização</i>	22
2.2.2 <i>Desinfecção das águas</i>	26
2.3 Energia solar	29
2.4 Umidade do ar e obtenção de água potável	31
2.5 Uso de energia solar para dessalinização e desinfecção da água	34
2.6 Dessalinizadores solar: tecnologias sociais de gestão hídrica	38
3 MATERIAL E MÉTODOS	41
3.1 Espaço de pesquisa	41
3.2 Modelo de dessalinizador solar e o protótipo de condensador extra	45
3.2.1 <i>Conhecimentos técnicos do modelo de dessalinizador solar</i>	49
3.3 Métodos Empregados	50
3.3.1 <i>Estimativa e medições de dados</i>	51
3.3.2 <i>Determinação da eficiência do condensador extra</i>	52
3.3.3 <i>Mensuração de dados qualiquantitativos</i>	53
3.3.4 <i>Análises das amostras das águas</i>	55
3.3.5 <i>Levantamento de dados sobre a importância socioambiental do dessalinizador solar</i>	56
3.3.6 <i>Processamento de dados</i>	57
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	59
4.1 Potencial de energia solar e de temperaturas diárias	59
4.2 Obtenção de água potável com e sem o uso do condensador extra	62
4.3 Potencial de captação de águas de chuvas	67

4.4 A influência da salinidade da água na obtenção de água potável	68
4.5 Qualidade das águas	71
4.6 Benefícios socioeconômicos e ambientais	73
5 CONCLUSÕES	77
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	79
ANEXOS	83

1 INTRODUÇÃO

A problemática que envolve a disponibilidade de água para atender as necessidades humanas torna-se mais fortemente observável em regiões semiáridas, as quais apresentam condições climáticas adversas: baixo índice pluviométrico; alto índice de evapotranspiração; elevadas temperaturas, e chuvas distribuídas de forma irregular tanto no tempo quanto no espaço.

Somado ao cenário climático descrito anteriormente, Marinho *et al.* (2012, p. 54) afirmam que grande parte do semiárido brasileiro (SAB) apresenta limitada e irregular disponibilidade de recursos hídricos, além de elevados níveis de salinidade nos solos e nas águas, principalmente em áreas cristalinas.

A realidade edafoclimática descrita anteriormente tem condicionado uma carência de recursos hídricos que afeta diretamente a qualidade de vida das populações locais. Neste sentido, Amaral *et al.* (2003) afirmam que: em algumas regiões semiáridas, a carência extrema de água de boa qualidade força as populações a consumirem águas com elevados níveis de sais ou contaminadas por patógenos, com consequentes danos a saúde.

Consoante ao exposto anterior, ressalva-se que no semiárido brasileiro há problemas de saúde correlacionados às águas (escura/barrenta ou salobra) armazenadas em cisternas de placas, em cacimbões e açudes (JOVENTINO *et al.*, 2010). Segundo estes autores, em 2004, no Nordeste brasileiro, as doenças diarreicas diretamente relacionadas com as condições de abastecimento hídrico e de saneamento básico, foram responsáveis por 56% dos óbitos em menores de cinco anos ocorridos no país. Assim, percebe-se que a escassez de água potável torna-se, também, um problema de saúde pública.

Na busca de solução para obter água potável no semiárido brasileiro, tem-se a dessalinização e desinfecção das águas a partir uso de dessalinizadores solar. Em síntese, o dessalinizador solar utiliza a radiação solar para aquecer a água, a qual irá evaporar e condensar dentro do dessalinizador. Com isso, a água torna-se potável em virtude das altas temperaturas, no interior do dessalinizador, eliminar os microrganismos patógenos, e possibilitar a retirada dos sais dissolvidos na água (MARINHO *et al.*, 2015).

Um dessalinizador solar pode produzir água para beber sem consumo de eletricidade, sem produtos químicos e sem uso de elementos filtrantes (SOARES, 2004). Segundo este autor, em lugares onde a radiação solar disponível é de média a alta, como acontece no semiárido brasileiro (radiação solar global entre 500 e 900W.m⁻², durante 6 a 7 horas em dias

sem nuvens), o dessalinizador pode ser utilizado não só na retirada de sais, mas também no tratamento da água com microrganismos vivos, ou até com compostos não-biodegradáveis.

Contemporaneamente, a dessalinização e desinfecção de águas através do dessalinizador solar já são aplicadas em diversos países, com boa aceitação familiar para produção de água potável, tendo como estímulo: não detém custos com energia elétrica e é considerada uma tecnologia limpa e sustentável (BOUKAR & HARMIN, 2001).

Em consonância ao exposto, Marinho *et al.* (2012) afirmam que o dessalinizador solar é de suma importância, pois além de dessalinizar as águas salobras para o consumo humano, também proporciona a eliminação de microrganismos patogênicos, não causa impacto ambiental, e é economicamente viável para pequenos agricultores.

Diante do contexto, o presente estudo avaliou-se como o uso de um condensador extra acoplado a um dessalinizador solar pode aumentar a oferta de água potável e, com isso, possibilitar benefícios socioambientais. Para tanto, foram avaliados, de forma comparativa, dois dessalinizadores solar: “D1” - o dessalinizador solar proposto por Marinho *et al.* (2012); e “D2”: que é o mesmo modelo de dessalinizador solar proposto pelos referidos autores, mas com um diferencial/inação: o uso de um condensador extra. Assim, objetivou-se evidenciar que o uso do condensador extra possibilitou uma maior produção de água potável para atender as necessidades hídricas das famílias do Assentamento Olho D’água, município de Seridó-PB, no semiárido paraibano.

Sabendo-se que a energia solar disponível em regiões semiáridas pode proporcionar benefícios socioambientais através de dessalinizadores solar (SOARES, 2004), o presente estudo buscou responder: qual é o potencial de energia solar disponível, localmente, para promover a desinfecção e dessalinização de águas? Qual a produção máxima e mínima diária de água pode ser alcançada em função da energia solar local? Até que ponto o condensador acoplado ao modelo de dessalinizador solar usado nesta pesquisa, contribuirá para o aumento da produção de água potável? Quais os benefícios socioeconômicos e ambientais advindos do uso de dessalinizadores solar?

Procurou-se, neste trabalho, responder esses questionamentos através de uma pesquisa experimental, descritiva e quali-quantitativa, tomando por base: fundamentos teóricos e documentais; visitas técnicas e observações *in loco*; levantamento de dados e realização de cálculos estatísticos; realização de pesquisas participativas junto às famílias rurais; além da realização de análises laboratoriais das amostras de águas coletadas antes e depois do processo de dessalinização solar.

Por fim, sabendo-se que o consumo de água potável aumenta à medida que cresce a população, restando como uma das saídas para satisfazer as necessidades hídricas, a dessalinização e desinfecção das águas de poços (CRAVO & CARDOSO, 1996), objetivou-se validar a tese de que: o uso de um condensador extra junto a um dessalinizador solar poderá aumentar a obtenção de água potável e, com isso, atender as necessidades hídricas das famílias que convivem com a escassez hídrica.

1.1 Justificativa

Inicialmente, a escolha do município de Seridó-PB como escopo espacial desta pesquisa, se deu em virtude do mesmo apresentar algumas características imprescindíveis para esta pesquisa: o município encontra-se sobre as condições edafoclimáticas do semiárido; a população local convive com a escassez periódica de água; e cerca de 90% da população rural (5.126 habitantes) sobrevive com condições inadequadas de saneamento básico: água e esgoto (IBGE, 2010). Além disso, tem-se o fato de que grande parte da população rural consome águas de poços sem nenhum tratamento, o que tem contribuído para o aumento dos casos de doenças de veiculação hídrica.

Tendo em vista a realidade exposta anteriormente, foram instalados dessalinizadores solar em uma comunidade local (Assentamento Olho D'água), pois os dessalinizadores podem ofertar um volume de água potável capaz de atender as necessidades hídricas de famílias do semiárido brasileiro (MARINHO *et al.*, 2015).

Atualmente, é substancial o acervo de resultados de pesquisas sobre o uso de destiladores solares para promover a dessalinização e desinfecção de águas. Neste universo, têm-se os estudos de Cravo & Cardoso (1996), Soares (2004), Lopes (2004), Vargas *et al.* (2012), e Marinho *et al.* (2015), os quais objetivaram avaliar experimentos/protótipos, custos e benefícios socioambientais advindos do uso de dessalinizadores solar.

Todavia, existe a necessidade de novos estudos sobre o uso de dessalinizadores solar, isso em virtude de alguns pontos, a saber: 1) devido à distribuição irregular da radiação solar, existem divergências quanto ao real potencial de energia solar disponível para o processo de dessalinização; 2) são insuficientes os resultados de pesquisas sobre como as condições climáticas locais (cobertura de nuvens, radiação solar, temperatura etc.) influenciam no processo de dessalinização solar; 3) há uma necessidade de estudos que forneçam dados confiáveis sobre quais os potenciais máximo e mínimo de produção de água potável alcançados com os dessalinizadores solar em função das condições climáticas e da

concentração salina no interior do dessalinizador; e 4) torna-se eminente as pesquisas que possibilitem novos modelos de dessalinizadores solar, os quais possam ser de baixo custo de construção e manutenção, de fácil disseminação social, e que aumentem a obtenção de água potável para atender as necessidades hídricas das famílias do semiárido brasileiro.

Diante da ressalva anterior, a presente pesquisa contribuiu, no tocante ao ineditismo e cientificidade, à medida que produziu conhecimentos sobre: a) o real potencial de energia solar disponível e passível de promover a dessalinização de águas; b) em que condições climáticas se obtêm os níveis máximo e mínimo de produção de água potável no modelo de dessalinizador em estudo; c) até que ponto o condensador extra acoplado ao modelo de dessalinizador investigado pode ser considerado uma tecnologia social eficiente e de baixo custo de construção e manutenção; e d) quais os problemas técnicos, e quais os benefícios socioambientais que o condensador acoplado ao dessalinizador solar poderá fornecer às famílias que convivem com a escassez de água potável.

Cabe ressaltar que o presente estudo avança em comparação às inúmeras pesquisas sobre dessalinizador solar, especialmente a de Marinho *et. al.* (2012), à medida que buscou, com o uso de um condensador extra, aumentar a obtenção de água potável a partir de três hipóteses ou fundamentos físicos:

- 1) Quanto maior a temperatura, maior será a produção de vapor de água (LOPES, 2004). Neste sentido, as altas temperaturas no interior do dessalinizador solar produzirá uma grande quantidade de vapor d'água, o qual poderá ser condensado pelo condensador extra e, com isso, obter-se um volume de água potável bem maior que o encontrado nas pesquisas atuais;
- 2) Atingida a saturação, desde que a temperatura não se altere, nenhuma quantidade adicional de vapor d'água pode ser incorporada ao ar, e com isso a evaporação diminui (VAREJÃO-SILVA, 2006). Neste sentido, procurou-se evidenciar que a utilização do condensador extra promove uma maior condensação do ar saturado, o que reduz o excesso de vapor de água no interior do dessalinizador, e potencializa uma maior evaporação da água dentro do dessalinizador solar; e
- 3) A condensação do "excesso" de vapor de água pode ser provocado através do contato do ar quente e úmido junto às superfícies frias, atingindo assim o ponto de orvalho (*td*), o que causará a condensação do vapor d'água (SILVA & SOUSA, 2009). Assim, com o excesso de vapor de água produzido pelas altas temperaturas (mais de 50°C) dentro do dessalinizador solar, irar-se obter mais água potável com o aumento da superfície de condensação proporcionado pelo protótipo de condensador.

Assim, o que se propôs nesse trabalho foi analisar até que ponto o uso do condensador extra promoveu uma maior obtenção de água potável para atender as necessidades das famílias locais que convivem com a escassez hídrica.

Diante do exposto, e tendo em vista que a energia solar ainda necessita de intenso avanço tecnológico no que diz respeito ao seu aproveitamento (VARGAS *et al.*, 2012, p. 74), a presente pesquisa justifica-se pela busca de inovações técnicas em um modelo de dessalinizador solar para que o potencial de energia solar disponível em regiões semiáridas possa ser melhor aproveitado, e para que se tenha mais água segura para as populações rurais que convivem com a escassez de água potável.

1.2 Enfoque interdisciplinar

A interdisciplinaridade é o confronto e integração de diferentes saberes disciplinares que desenham estratégias de pesquisa para entender as questões ambientais, as quais estão intimamente ligadas às questões sociais (DEPONTI, 2013).

A prática da interdisciplinaridade, mais do que em qualquer outra época, coloca-se como necessidade emergente, pois as crises socioambientais vigentes precisam de respostas que certamente não virão meramente de tratamento disciplinar (PHILIPPI JR *et al.*, 2013). Ainda segundo estes autores:

Para a prática da interdisciplinaridade nas Ciências Ambientais, é exigido dos pesquisadores o exercício de sair da zona de conforto de suas disciplinas para buscar o entendimento a partir da perspectiva de outras disciplinas. Esse exercício visa maximizar naturalmente a contribuição de cada disciplina na compreensão e resolução de problemas ambientais, pois se dará não apenas a partir de sua própria visão de mundo, mas considerando também a visão de mundo de outras disciplinas (PHILIPPI JR *et al.*, 2013, p 527).

Diante do exposto, atualmente as pesquisas sobre uso de dessalinizadores solar têm buscado, nas mais diversas áreas do conhecimento, ensinamentos teórico-metodológicos sobre como gerir os recursos naturais disponíveis localmente, e com isso atender as necessidades hídricas e/ou interesses econômicos da sociedade vigente.

Como afirmativa ao enunciado anterior, para atingir os objetivos da presente pesquisa, buscaram-se conhecimentos teóricos e práticos nas mais diversas disciplinas, dentre elas: i) a Meteorologia para compreender os elementos climáticos (radiação solar, temperatura, precipitação etc.); ii) a Biologia para entender sobre agentes patógenos e doenças de

veiculação hídrica; iii) a Química para analisar os problemas/benefícios dos elementos químicos presentes nas águas; e iv) a Geografia para compreender como o uso de tecnologias de gestão hídrica podem proporcionar benefícios socioeconômicos e ambientais para as populações que convivem com a escassez de água.

Por fim, de posse dos conhecimentos adquiridos nas mais diversas disciplinas, a presente pesquisa teve como objetivos:

1.3 Objetivos

1.3.1 Geral

Avaliar como o uso de um condensador extra acoplado a um dessalinizador solar poderá aumentar a obtenção de água potável e, com isso, possibilitar benefícios socioambientais para as famílias que convivem com a escassez hídrica.

1.3.2 Específicos:

- Estimar o potencial de água potável obtido em função da energia solar e das temperaturas diárias;
- Avaliar, de forma comparativa, a eficiência de um protótipo de condensador acoplado a um modelo de dessalinizador solar;
- Analisar o potencial de captação de águas de chuvas adquirido com o uso dos dessalinizadores solar;
- Investigar possíveis variações de produção de água em função da salinidade da água;
- Averiguar a qualidade/potabilidade das águas antes e depois dos processos de dessalinização e desinfecção com os dessalinizadores solares;
- Diagnosticar os benefícios socioeconômicos e ambientais do uso de dessalinizadores solar no tratamento de águas;

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

2.1 Semiárido brasileiro: condições climáticas e de solo, e a problemática da oferta de água

Contemporaneamente, muitos países já sofrem em relação à baixa reserva de água potável (KHAWAJI, 2008). A disponibilidade de recursos de água doce tem diminuindo ao longo do tempo devido não só ao aumento da população e ao crescimento da indústria, mas também pelo uso irracional, desperdício e poluição deste recurso (MATHIOULAKIS, 2007).

O Brasil é um país privilegiado no tocante a disponibilidade de água. Todavia, a distribuição territorial dos recursos hídricos é irregular, o que reflete regiões com elevados índices pluviométricos (Norte, Sul e Sudeste), mas também regiões secas, em especial, a região semiárida brasileira (SAB).

A SAB é caracterizada, de modo geral, pela aridez do clima, pela deficiência hídrica com imprevisibilidade das precipitações pluviométricas, e pela presença de solos pobres em matéria orgânica (SILVA, 2007, p. 468).

A insuficiência e irregularidade na distribuição de chuvas, a temperatura elevada, e a alta taxa de evaporação, são características climáticas que “projetam derivadas radicais para o mundo das águas, para o mundo orgânico das caatingas e para o mundo socioeconômico dos viventes dos sertões” (AB’SÁBER, 2003, p. 85).

Desde muito tempo, a escassez hídrica condicionada pelo clima semiárido brasileiro tem fomentado árduas realidades para as famílias locais que convivem com a falta de água, especialmente a de boa qualidade.

O Nordeste é a segunda região mais populosa do Brasil com 54 milhões de habitantes (IBGE, 2010), mas detém apenas 3% da água doce disponível no território brasileiro (TAKEDA, 2010); e as condições climáticas que essa região enfrenta ao longo de cada ano são um dos parâmetros responsáveis pela falta de água para o consumo humano.

Sabendo-se que os períodos de estiagem anual, e seu prolongamento temporal (as secas), são fenômenos climáticos naturais, e como tal, não deixarão de existir, cabe às famílias locais buscar novas práticas e técnicas pautadas num novo paradigma: convivência com o semiárido. Neste sentido, atualmente tem-se a busca de tecnologias para fomentar uma maior oferta de água para atender as necessidades hídricas locais.

De forma prática, no Semiárido brasileiro existem inúmeras ações e projetos voltados para o uso de tecnologias de gestão hídrica. Tal iniciativa se dá pela necessidade de se buscar,

nas tecnologias, formas de convivência com as condições climáticas adversas do clima semiárido.

Em busca de soluções para escassez periódica de água no semiárido brasileiro, o homem tem utilizado as águas subterrâneas como alternativa para atender suas necessidades hídricas. Isso ocorre, principalmente, através da perfuração de poços. Todavia, grande parte das águas encontradas no subsolo é imprópria para o consumo humano em virtude dos altos índices de sais dissolvidos.

A salinidade é uma característica comum nos solos e subsolo das regiões semiáridas, isso em função destas regiões apresentarem: grande predominância de rochas cristalinas; muitos solos são rasos, pedregosos, com baixos valores de porosidade, e com baixa permeabilidade, o que condiciona uma circulação lenta dos fluidos e, conseqüentemente, maior tempo de permanência das águas em contato com o corpo cristalino (rico em sais), acarretando assim uma maior salinização das águas locais.

Entretanto, mesmo com altos níveis de sais dissolvidos nas águas dos poços perfurados, muitas famílias acabam por ingerir estas águas. Tal realidade tem causado problemas de saúde pública, visto que existem inúmeros casos de pessoas acometidas por doenças de veiculação hídrica.

Sabendo-se que a escassez periódica de água acaba por forçar inúmeras famílias a consumirem água de má qualidade (rica em sais ou com poluentes biológicos), a dessalinização e a desinfecção das águas tornam-se imprescindíveis para aumentar a oferta de água potável para uma população que cresce a cada dia.

Diante da ressalva anterior, torna-se importante discutir sobre possíveis modos ou técnicas que podem ser utilizadas na promoção da dessalinização e desinfecção das águas disponíveis em regiões semiáridas.

2.2 Dessalinização e desinfecção das águas: processos e tecnologias

2.2.1 Dessalinização

Atualmente, sabe-se que muitas das águas disponíveis para a sociedade vigente, estão com alto teor de sais dissolvidos, ou contaminadas biologicamente, o que corrobora para o aumento de doenças. Assim, torna-se urgente fornecer água de boa qualidade para o consumo humano. Neste sentido, o uso de tecnologias tem se mostrado uma ferramenta eficiente na promoção de uma água potável, ou seja, as tecnologias tem buscado fornecer uma água segura

que atenda a alguns parâmetros estabelecidos pelo Ministério da Saúde, na portaria 2.914/11 (Tabela 1).

Tabela 1 - Limites máximos de parâmetros para água segundo a Portaria 2.914/11 do Ministério da Saúde

PARÂMETRO	UNIDADE	LIMITE PERMITIDO (PORTARIA 2914/11 DO MS)
Cloreto (Cl⁻)	mg/L ⁻¹	250
Sódio (Na⁺)	mg/L ⁻¹	200
Potencial Hidrogeniônico (pH)	-	6,0 a 9,5
Sulfato (SO₄⁻²)	mg/L ⁻¹	250
Ferro Total	mg/L ⁻¹	0,3
Alumínio (Al³⁺)	mg/L ⁻¹	0,2
Amônia (NH₃)	mg/L ⁻¹	1,5
Nitrato (NO₃⁻)	mg/L ⁻¹	10
Nitrito (NO₂⁻)	mg/L ⁻¹	1
STD (Sólidos Totais Dissolvidos)	mg/L ⁻¹	1000

Fonte - BRASIL, 2011

Dentre as muitas técnicas para promoção de água potável, tem-se a dessalinização, que é um processo físico-químico de retirada de sais da água, tornando-a potável e passível para o consumo humano.

A dessalinização não é uma descoberta recente. Segundo Lopes (2004), a partir de estudos sobre a evolução histórica da dessalinização de água salgada ou salobra do mar, dos açudes e dos poços, verifica-se que os cientistas pesquisam a dessalinização há mais de 2300 anos, tendo em Aristóteles o seu precursor.

Na dessalinização, a retirada de sais dissolvidos nas águas se dá através de várias formas/processos e, também, através de muitas tecnologias.

Atualmente, há inúmeros processos de dessalinização, os quais são utilizados de acordo com o volume de água, e levando-se em conta a quantidade de sais dissolvidos nela. Dentre os muitos processos de dessalinização existentes, pode-se citar: 1) processo de

destilação em tubo vertical longo a múltiplo efeito; 2) processo de congelamento; 3) processo por osmose reversa; e 4) processo de dessalinização através da energia solar (Quadro 1).

PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO	PONTOS POSITIVOS (PP) PONTOS NEGATIVOS (PN)
Destilação em tubo vertical longo a múltiplo efeito.	Dá-se através da evaporação instantânea em etapas múltiplas onde as águas salgadas são purificadas por evaporação. O vapor é condensado de modo a permitir a recuperação e reutilização da maior parte do seu conteúdo térmico, e a salmoura concentrada é descarregada como rejeito. Estes processos são usados há décadas em navios e em outras circunstâncias (ROGÉRIO <i>et al.</i> , 2013).	<p>PP: produz água de boa qualidade, além de servir no tratamento de leite em pó, café solúvel etc.</p> <p>PN: Alto custo econômico com aparelhagem e energia; exige qualificação profissional para a operacionalização; e produz grande quantidade de rejeito.</p>
O processo de congelamento	É efetuado pela cristalização de águas muito salgadas, constituindo-se uma suspensão grossa de cristais de gelo e de salmoura, de onde se separam os cristais de gelo, que são lavados e fundidos. Noutras palavras, quando a temperatura da água salgada começa a diminuir, o gelo formado é composto somente de água pura, pois a mistura dos sais na água diminui seu ponto de congelamento.	<p>PP: é eficiente na dessalinização, e possibilita a obtenção de água potável;</p> <p>PN: alto custo econômico com aparelhagem; grande consumo de energia elétrica; exige qualificação profissional para a manutenção das tecnologias de dessalinização por congelamento;</p>
Dessalinização por Osmose Reversa (OR)	A osmose reversa se dá com a aplicada de uma pressão na região da solução mais concentrada, ou mais salina, a qual será provocada uma inversão no fluxo natural: a água da solução irar passar para a região de menor concentração de sais, retendo-se os íons na membrana que separa as duas soluções, esse é o princípio da osmose reversa. A pressão a ser aplicada deve ser maior que a pressão osmótica. As membranas osmóticas (TFC - THIN FILM COMPOSITE) utilizadas em equipamentos para dessalinização da água são do tipo sintética, produzidas especialmente para este fim.	<p>PP: possibilita a obtenção de grandes volumes de água potável (mais de 500l/h), além de fornecer o concentrado (água salobra) para a criação de animais (tilápias, camarão etc.);</p> <p>PN: Alto custo econômico na construção e manutenção; grande consumo de energia elétrica; exige qualificação profissional para a manutenção, etc.</p> <p>1- Tem que haver um tratamento inicial para remoção de eventuais sólidos e para que não ocorra precipitação de sais ou crescimento de microrganismos sobre as membranas;</p> <p>2- Grande produção de concentrado (de 40% a 60% da água colocada no sistema);</p>

Continuação do Quadro 1

PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO	DESCRIÇÃO DO PROCESSO DE DESSALINIZAÇÃO	PONTOS POSITIVOS (PP) PONTOS NEGATIVOS (PN)
Processo de dessalinização com o uso de energia solar	Dá-se através do uso de dessalinizadores solar, os quais condicionam um aumento de temperatura em seu interior capaz de evaporar as águas salinas, além de promover a condensação do vapor de água contido em seu interior. Logo, a água condensada estará livre dos sais antes dissolvidos nela.	PP: obtém água potável; não consome energia elétrica; é de baixo custo; e não causa impactos ambientais; PN: apesar de pequena, há a produção de rejeito (salmouras).

Quadro 1 - Processos de dessalinização: descrição, benefícios, pontos negativos e positivos
Fonte - Adaptado de LOPES, 2004

Tendo em vista as informações expostos no Quadro 1, observa-se que muitos processos não são amplamente utilizados em virtude de problemas correlacionados aos altos custos econômicos das técnicas (o que dificulta sua disseminação social), ou ainda, por serem técnicas que produzem grande quantidade de rejeitos (águas salobras), indo de encontro à promoção de uma dessalinização eficiente.

Somado ao exposto anterior, tem-se o fato da grande quantidade de rejeitos (salmouras) produzidos pelas técnicas de dessalinização ser descartadas sem tratamento e de forma inadequada. Tal prática tem contribuído para o aumento de problemas ambientais. Neste sentido, Matos *et al.* (2006) ressalva que:

Os métodos atuais de disposição do rejeito são preocupantes, como a injeção em poços, despejo em terrenos, lançamento em lagoas e em outros corpos de água que, certamente, prejudicarão os solos e as plantas, além de contaminar mananciais subterrâneos e superficiais... Diante disso, os estudos estão centralizados em três linhas de pesquisa: 1) extração de sais minerais por evaporação; 2) formação de meio líquido para o cultivo de tilápias, que são espécies extremamente resistentes a ambientes salinos; e 3) cultivo irrigado com plantas halófilas (a exemplo da *Atriplex nummularia*), que necessitam de águas com teores salinos elevados para se desenvolver (MATOS *et al.*, 2006, p. 144).

Dessalinizar a água potável sem agredir o meio ambiente, requer um programa bem formulado. No semiárido brasileiro existem muitos exemplos de programas ineficientes marcados pela improvisação, paternalismo e com o desperdício de dinheiro público. Para enfrentar estes desafios são necessários: o avanço em tecnologias adequadas; o planejamento prévio sobre os mecanismos de uso e gestão dos recursos hídricos; além da capacitação de pessoas, o que tornará possível não só a implantação das tecnologias, mas também o bom uso

e manutenção dos instrumentos e/ou equipamentos utilizados na promoção da gestão dos recursos hídricos disponíveis localmente.

Por fim, sabendo-se que a água é um importante veículo de transmissão de doenças, especialmente para as populações rurais que não possuem acesso ao saneamento público e estão mais susceptíveis às doenças de vinculação hídrica (SATAKE *et al.*, 2012, p. 48), torna-se de suma importância não só a dessalinização das águas, mas também a desinfecção das mesmas para o consumo dos camponeses.

2.2.2 Desinfecção das águas

A desinfecção é um processo de tratamento da água que consiste na inativação dos micro-organismos patogênicos (bactérias, vírus etc.). Tal processo é realizado por intermédio de agentes físicos e ou químicos.

A desinfecção da água é imprescindível, haja vista o grande número de pessoas que são acometidas de doenças através do consumo de águas de má qualidade.

As águas contaminadas provocam muitas doenças, tais como: diarreia, hepatite A, febre tifoide, rotavírus, cólera, leptospirose etc. Segundo dados da Organização Mundial de Saúde (OMS, 2014), aproximadamente 28 mil pessoas morrem por ano no Brasil em virtude de doenças provocadas por água contaminada.

Assim, águas contaminadas/poluídas com microrganismos patogênicos podem causar inúmeras doenças. Microrganismos Patogênicos são organismos (bactérias, vírus, fungos e protozoários) microscópicos que provocam doenças aos seres humanos e animais (FUNASA, 2014). Muitos desses microrganismos são transportados pela água, por essa razão é que a água para consumo humano deve receber tratamento adequado, dentre os quais se destaca a desinfecção.

No Quadro 2 estão relacionadas algumas doenças veiculadas pela água e seus agentes transmissores. De todas elas, as diarreias são as mais comuns. De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS, 2014), a diarreia era a sétima causa de mortes no mundo e também a principal causa de morbidade em seres humanos, com quatro bilhões de casos por ano.

Considerando que as doenças diarreicas estão diretamente relacionadas com as condições de abastecimento hídrico, saneamento básico e higiene, verificou-se que no Nordeste brasileiro, em 2004, as doenças diarreicas foram responsáveis por 56% dos óbitos em menores de cinco anos ocorridos na região (JOVENTINO *et al.*, 2010). Segundo estes

autores, em virtude da escassez de água no semiárido brasileiro, há uma necessidade urgente na adoção de medidas de prevenção de doenças veiculadas pela água.

DOENÇA	AGENTE CAUSADOR	FORMA DE TRANSMISSÃO
Disenteria bacilar	Bactéria <i>Shigella</i>	Via oral
Febre Tifóide	Bactéria <i>Salmonella Typhi</i>	Via oral
Febre Paratífóide	Bactéria <i>Salmonella Paratyphoide</i>	Via oral
Diarreia Infantil	Bactérias Intestinais	Via oral
Poliomielite	Vírus	Via oral
Hepatite Infeciosa	Vírus	Via oral
Ancilostomiase	<i>Ancylostoma</i> (helmintos)	Via Cutânea
Leptospirose	<i>Leptospira icterohaemorrhagiae</i>	Através de pequenas feridas na pele ou nas membranas, mucosas, nariz e boca.
Esquistossomose	<i>Schistosoma Mansoni</i> (verme)	Via Cutânea
Cólera	Vibrião Colérico	Via oral

Quadro 2: Doenças veiculadas pela água, seus agentes e forma de transmissão.

Fonte: OPAS, 1999.

No Brasil, em especial no semiárido, muitas famílias armazenam as águas das chuvas em reservatórios (açudes, cisternas etc.), e as utilizam, em muitos casos, sem nenhum tratamento de desinfecção. Com isso, torna-se crescente o número de casos de doenças devido à ingestão de água de má qualidade (JOVENTINO *et al.*, 2010).

Há muitas comunidades do semiárido brasileiro que possuem algum tipo de abastecimento coletivo (a exemplo de carros-pipas que abastecem comunidades), mas não realizam qualquer tratamento da água, embora a Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011, do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011), estabeleça a obrigatoriedade de que toda água para consumo humano, fornecida coletivamente, deva passar por processo de desinfecção ou cloração.

É evidente que muitos fatores influenciam na carência de tratamento da água dessas comunidades, tais como: ausência do poder público, desconhecimento da legislação, precariedade do sistema de água, deficiência ou falta de pessoal qualificado, custo dos materiais e dos produtos de desinfecção, e falta de conhecimento das práticas ou tecnologias existentes (FUNASA, 2014).

Existem muitos meios para promover a desinfecção das águas, dentre os quais se podem citar: cloro; ozônio; dióxido de cloro; radiação ultravioleta; iodo; sais de prata etc.

Muitos destes meios de desinfecção exigem altos custos econômicos, e por isso não são amplamente utilizados.

Atualmente, segundo a Funasa (2014), o cloro é o método mais utilizado, pois ele é de fácil acessibilidade, seu custo é razoavelmente baixo, possui uma alta capacidade oxidante da matéria orgânica e inorgânica, e sua ação germicida é de amplo espectro e boa persistência nos sistemas de distribuição.

Contemporaneamente, tem-se utilizado o método SODIS para a desinfecção de águas em virtude da simplicidade de aplicação e pela obtenção de bons resultados. Este método utiliza a temperatura e a radiação ultravioleta do sol, para eliminar bactérias e microrganismos, desinfetando, assim, a água (SODIS, 2015). O SODIS consiste em colocar a água in natura em um recipiente (a garrafa PET, por exemplo), o qual ficará exposto à radiação solar durante um período de 6hs ou 8hs (Figura 1). Com isso, a alta temperatura dentro do recipiente eliminará os microrganismos patogênicos.

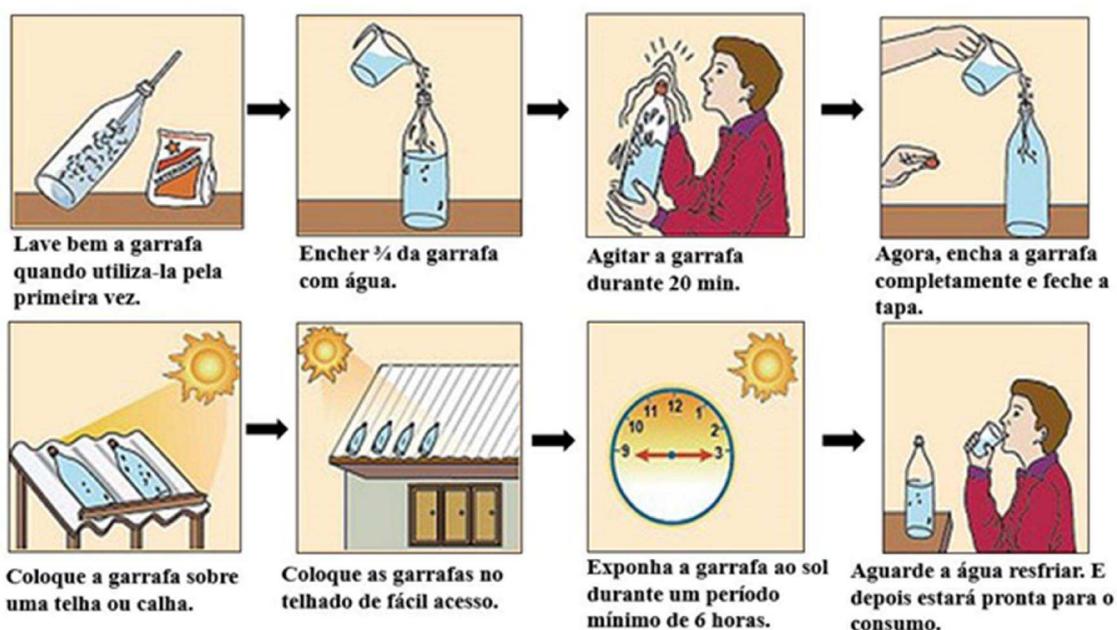


Figura 1: Ilustração do Método SODIS

Comparando com outros métodos de desinfecção de águas, o SODIS tem a vantagem de não alterar o sabor da água, além de poder ser feito sem altos custos e exigir pouco trabalho.

Cabe ressaltar que: mesmo havendo um grande número de medidas de desinfecção das águas, há populações, especialmente na zona rural do semiárido brasileiro, que não realizam

quaisquer medidas para desinfecção das águas disponíveis localmente, o que tem contribuído para o aumento dos casos de doenças de veiculação hídrica.

Sabendo-se que na região semiárida brasileira, a carência extrema de água potável força as populações a consumir águas com elevados níveis de contaminação biológica e química (sais), prejudicando a saúde pública (AMARAL *et al.*, 2003), torna-se imprescindível o uso de técnicas de dessalinização e desinfecção das águas.

Objetivando obter água potável sem grandes investimentos econômicos e com grande eficiência, atualmente têm-se o uso de tecnologias (a exemplo de dessalinizadores solar) para dessalinizar e desinfetar águas utilizando a radiação solar, a qual é uma fonte de energia limpa e renovável. Diante disso, torna-se oportuno conhecer mais sobre a importância e características da distribuição de energia solar no globo terrestre.

2.3 Energia solar

A quantidade de energia solar recebida na atmosfera externa por ano é chamado SERPY e é igual a $1,5 \times 10^{10}$ MWh, onde 1 SERPY é igual a 28000 vezes a energia utilizada no mundo por ano (LOPES, 2004). Todavia, segundo este autor, tem-se que: 30% da radiação solar recebida na atmosfera externa da terra é refletida de volta ao espaço na forma de radiação de ondas curtas; quase 47% é absorvida pela atmosfera, superfície da terra, oceanos e convertida em calor na forma de temperatura ambiental do planeta; e o restante (23%) provoca evaporação, convecção, precipitação etc. Deste modo, tem-se um grande potencial de energia solar disponível, mesmo que com distribuição irregular no globo.

A atmosfera é composta por vários gases e por vapor d'água. Assim, quando a radiação solar atravessa a atmosfera, parte desta radiação é absorvida e/ou refletida. Com isso, o estudo da radiação solar incidente na superfície da terra divide-se em duas partes distintas: a radiação solar direta, que é definida pela parcela da radiação que continuou seu caminho sem ser espalhada pela atmosfera, e a radiação solar difusa, parcela da radiação que sofreu modificações em sua trajetória ao atravessar a atmosfera (MOOJEN *et al.*, 2012). A soma das parcelas direta e difusa é denominada radiação global.

Consoante ao exposto anterior, Moojen *et al.* (2012, p. 43) afirma, ainda, que: a parcela da radiação mais importante é a que atinge de fato a superfície terrestre, a qual é conhecida como radiação global (R_g). Esta radiação é composta essencialmente por duas parcelas: a radiação direta (R_{dir}) e a radiação difusa (R_{dif}).

A intensidade da radiação solar sobre uma superfície da terra é de difícil mensuração, uma vez que as condições atmosféricas (nebulosidade, temperatura etc.) variam constantemente. Neste sentido, Moojen *et al.* (2012, p. 46) lembram que: com o aumento da nebulosidade, a radiação global apresenta declínio, e que, embora a participação da radiação difusa aumente com a nebulosidade, quando o valor bruto desta parcela atinge valores maiores que seu máximo (cobertura de 70%), o valor da radiação difusa começa a decrescer.

Dessa forma, atualmente as medidas da radiação solar são realizadas por instrumentos denominados piranômetros, que registram os valores da radiação em intervalos de tempo determinados e, em geral, são apresentados em valores horários ou diários.

Para medir a radiação solar, o piranômetro é colocado sobre uma base horizontal, que recebe a energia solar de todo o hemisfério, ou seja, de todas as direções. Os dados da radiação solar são geralmente fornecidos pelos serviços meteorológicos. No Brasil, os aparelhos destinados para medir a intensidade da radiação solar existem em número muito aquém do que seria necessário. Na falta destes dados, tem-se recorrido às correlações que relacionam o número de horas de brilho de sol com a radiação solar (BELÚCIO *et al.*, 2014).

A determinação do número de horas de brilho do sol se dá através de um instrumento chamado de heliógrafo, o qual está presente na maior parte das Estações Meteorológicas. Apesar das correlações e das medidas não terem alta precisão, estes dados permitem estimar a radiação solar nas localidades das estações.

Segundo Pereira *et al.* (2006), os valores de irradiação global incidente em qualquer região do território brasileiro variam entre 365,5 e 576,2 cal cm⁻² dia⁻¹. Em estudos recentes, Marinho *et al.* (2012) verificaram que, em termos médios, a radiação solar global no município de Campina Grande-PB, pertencente ao semiárido brasileiro, foi de 508,14 cal cm⁻² dia⁻¹, o que representa um grande potencial de energia solar.

Neste contexto, o Brasil, por ser um país localizado em sua maior parte na região intertropical, possui um grande potencial de energia solar. Neste sentido, basta lembrar que no Nordeste brasileiro há um grande potencial médio de radiação global - cerca de 5,9kw/m² (PEREIRA *et al.*, 2006), o qual pode e deve ser utilizado para a promoção de inúmeros projetos: geração de energia elétrica, dessalinização e desinfecção de águas, etc.

Diante da ressalva anterior, muitos pesquisadores têm buscado utilizar a energia solar para promover a dessalinização de águas salobras. Neste sentido, a presente pesquisa analisou a dinâmica natural que envolve a energia solar e a produção de vapor (umidade) de água para a produção de água potável.

2.4 Umidade do ar e obtenção de água potável

A atmosfera é composta por gases (nitrogênio, oxigênio e argônio, além de outros componentes como dióxido de carbono, hidrogênio, hélio, entre outros.) e vapor de água, o qual é variável conforme a temperatura, região, estação etc.

A concentração de vapor d'água na atmosfera é relativamente pequena, pois dificilmente ultrapassa 4% em volume, entretanto ela é um constituinte atmosférico importantíssimo por interferir na distribuição da temperatura: em primeiro lugar, porque participa ativamente dos processos de absorção e emissão de calor sensível pela atmosfera; em segundo, atua como veículo de energia ao transferir calor latente de evaporação de uma região para outra, o qual é liberado como calor sensível quando o vapor se condensa (VAREJÃO-SILVA, 2006).

Em síntese, o vapor de água é resultante da evaporação das águas dos mares, rios e lagos. A evaporação da água se dá em função do aumento da temperatura que é proporcionada pela radiação solar incidente em um determinado lugar e durante certo tempo. Devem-se ao vapor de água diversos fenômenos relevantes na vida de animais e plantas, como a chuva, neve etc.

A quantidade de vapor d'água presente na atmosfera é determinada a partir da pressão real do vapor (e) e da pressão atmosférica (p). A massa de vapor d'água por unidade de massa de ar úmido, a umidade específica (q), é calculada por:

$$q = \frac{622e}{p - 0,378e} \quad (1)$$

em que, neste caso, “ q ” é expressa em g/kg; e “ e ” e “ p ” devem ser expressas nas mesmas unidades de pressão, em geral, hPa.

Se for considerada a razão entre a massa de vapor e a massa de ar seco, definida de razão de mistura (r), o seu valor é calculado por:

$$r = \frac{622e}{p - e} \quad (2)$$

em que r , do mesmo modo que q , é dada em g/kg.

Determina-se e a partir da umidade relativa do ar (UR) e da pressão de saturação do vapor d'água (e_s), que são relacionados por:

$$UR = \frac{e}{e_s} \times 100 \quad (3)$$

em que UR é expressa em percentagem (%).

Assim, a $UR\%$ é a umidade relativa do ar (expressa em porcentagem); e é a pressão parcial de vapor de água do ar (g/kg) e “ e_s ” é pressão de vapor nas condições de equilíbrio, também chamada *pressão de vapor de saturação*.

A quantidade máxima de vapor d'água presente na atmosfera varia em função da temperatura do ar. Ao atingir esse valor máximo, para uma dada temperatura, a pressão real de vapor (e) atinge seu valor máximo (e_s) e o ar torna-se saturado. O valor de e_s , expresso em mb ou hPa, para a temperatura do ar T (expressada em °C) pode ser calculado a partir da equação de Tetens (Vianello & Alves, 2004), como segue:

$$e_s = 6,1078 \times 10^{\left(\frac{7,5T}{237,3+T}\right)} \quad (4)$$

Supondo que uma massa de ar, sob uma temperatura T e cuja pressão real de vapor seja e , tenha sua temperatura reduzida, sem que haja acréscimo ou retirada de vapor, até que a mesma fique saturada ($e = e_s$). A essa nova temperatura dá-se o nome de temperatura do ponto de orvalho (T_d), visto que para temperaturas inferiores a T_d ocorre formação de orvalho. O valor de T_d pode ser obtido a partir da equação (5), descrita por (Vianello & Alves, 2004) a seguir:

$$T_d = \frac{186,4905 - 237,3 \log e}{\log e - 8,2859} \quad (5)$$

em que T_d é expressa em °C.

Um ambiente é dito saturado a uma determinada temperatura, quando possui a quantidade máxima possível de vapor d'água àquela temperatura. Chama-se pressão de saturação do vapor d'água, ou pressão saturante, à pressão máxima exercida pelo vapor d'água (VAREJÃO-SILVA, 2006, p. 139). Segundo este autor, a pressão de saturação depende exclusivamente da temperatura ambiente, isto é: $e_s = e_s(t)$. Logo, verifica-se que e_s aumenta com a elevação da temperatura (t), embora não linearmente (Figura 2).

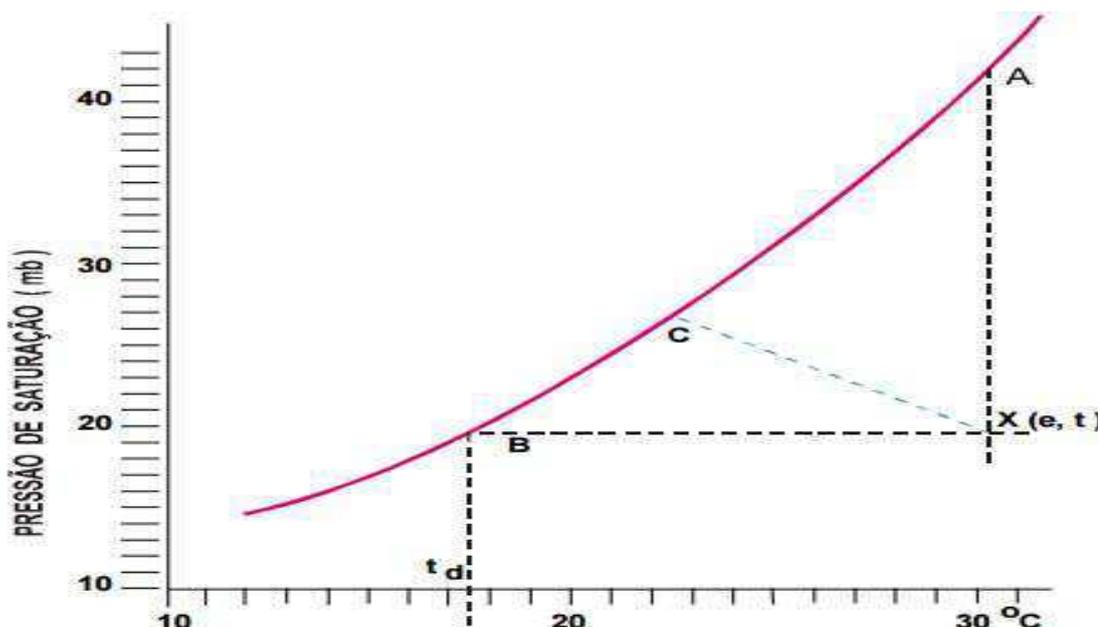


Figura 2: Curva de saturação do vapor d'água. O ponto $X(e, t)$ representa uma amostra de ar úmido; A, B e C, três diferentes modos de se obter sua saturação; t_d é a temperatura do ponto de orvalho.

Fonte: Varejão-Silva, 2006

De acordo com a Figura 2, a saturação de uma amostra de ar úmido pode ser atingida através de três processos:

- 1) Aumentando o teor de umidade (evaporando água no interior da amostra de ar, por exemplo) à temperatura constante, até que a pressão parcial (e) atinja o valor máximo possível àquela temperatura. Esta situação é representada pelo segmento da reta entre os pontos $X(e, t)$ e A;
- 2) Reduzindo a temperatura, sem acrescentar vapor d'água, até o ponto em que a pressão parcial (e) torne-se saturante. Esta situação está representada pelo segmento da reta entre $X(e, t)$ até B. Neste caso, o valor da pressão parcial não muda; apenas busca-se a temperatura do ponto de orvalho (t_d) para a qual esse mesmo valor torna-se saturante.
- 3) Combinando, simultaneamente, os processos anteriores. Tal realidade é ilustrada pela letra C.

Diante do exposto, inúmeras pesquisas e experimentos sobre como controlar, em um ambiente fechado, o vapor de água para a promoção de saturação/condensação da umidade contida no ar. Neste sentido, tem-se a construção de protótipos de destiladores solares que além de potencializar a produção de vapor de água através do aumento da temperatura, também promove a condensação do ar através do uso de superfícies frias.

Por fim, sabe-se que é relevante aproveitar o potencial de energia solar disponível nas mais diversas localidades, e potencializar, com o uso de experimentos/protótipos, a produção de água potável através dos processos de dessalinização e desinfecção das águas.

2.5 Uso de energia solar para dessalinização e desinfecção da água

O sol fornece energia que pode ser aproveitada por 3 tipos de processos: Térmico, Fotovoltaico e Químico. No processo Térmico, tem-se o aproveitamento da temperatura proporcionada pela radiação solar, a qual pode ser aproveitada através de coletores solares que absorvem e transfere a radiação solar para um fluido (a água) sob a forma de energia térmica.

A dessalinização e desinfecção de águas com uso de energia solar se dá através do aquecimento das águas salinas, que atingem seu ponto de ebulição e passa para o estado de vapor, indo para um condensador (superfície de vidro ou de outro material) onde a água é resfriada e retorna ao estado líquido. Uma vez condensada e sem sais/contaminantes, essa água é canalizada para outro reservatório, fomentado assim uma maior oferta de água potável para o consumo humano.

Atualmente, existem inúmeras técnicas que se utilizam da energia solar para a dessalinização e desinfecção de águas. Neste universo, têm-se os mais diversos tipos de dessalinizadores solar (Figura 3).



Figura 3 - Dessalinização e desinfecção de águas através de dessalinizadores solar

Fonte: Watercone, 2015

Os dessalinizadores solar devem ser amplamente utilizados pelo fato de: deter baixos custos de construção e manutenção; ser de fácil operacionalização; por ser uma técnica simples e de fácil disseminação social, possibilitando tanto o uso coletivo, quanto individual.

A viabilidade socioeconômica das técnicas de dessalinização e desinfecção das águas é um dos pontos principais a serem considerados e analisados, visto que existem inúmeras práticas e tecnologias que não foram disseminadas em virtude de seus altos custos de compra e de operação. Neste sentido, basta lembrar-se dos dessalinizadores por osmose reversa.

Diante do exposto, muitas pesquisas e experimentos foram realizados com a função de obter a dessalinização e desinfecção de águas. Nesta perspectiva, Marinho *et al.* (2012, p. 56) construíram e pesquisaram um modelo de dessalinizador solar de baixo custo econômico que possibilitou a produção média de 1,74 L/m²/dia (Figura 4).



Figura 4 - Dessalinizador solar acoplado a um coletor solar de pré-aquecimento da água
Fonte: Marinho *et al.*, 2012

Nos estudos de Marinho *et al.* (2012) realizados em Campina Grande-PB (município submetido às condições climáticas do semiárido), verificou-se que: em termos médios, para uma temperatura ambiente de 29,1°C, no interior do dessalinizador solar (com 9m²) a temperatura foi de 44,4°C, o que possibilitou a produção média de 15,65 litros/dia, a qual é

suficiente para atender o consumo de água de 7 pessoas, com um consumo médio de 2 litros/pessoa/dia.

Em consonância com o exposto anterior, Marinho *et al.* (2015) afirmaram, a partir de um estudo com dessalinizadores solar (Figura 5), que é possível a produção, em média, de 150 litros de água por dia, ou ainda, 4 litros/m²/dia.



Figura 5: Dessalinizadores solar no sítio Corredor, Remígio-PB
Fonte: Marinho *et al.*, 2015

É importante lembrar, ainda, que a superfície de vidro do dessalinizador solar proporciona uma maior oferta de água quando comparado com outras técnicas de captação de água de chuvas, isso em virtude de:

Na ocorrência de chuvas de pouca intensidade não ocorre captação de água para as cisternas devido à baixa declividade dos telhados ou a alta porosidade do piso de alvenaria da cisterna calçadão... Diferente disso, nos vidros dos destiladores solares, que são lisos e de alta declividade, há uma maior captação de água, produzindo em média 27,25 litros de água para cada milímetro precipitado sobre a área (36m²) dos dessalinizadores (MARINHO *et al.*, 2015, p.76).

Para se analisar a eficiência de um dessalinizador solar é preciso monitorar a radiação solar, temperatura, dados pluviométricos, e estimar o rendimento da evaporação/condensação, ou seja, o quanto de efluente tratado pode ser produzido a cada dia (Figura 6). Além disso,

com os dados pluviométricos pode-se estimar o potencial de captação de águas das chuvas precipitadas sobre o destilador solar (Figura 7).

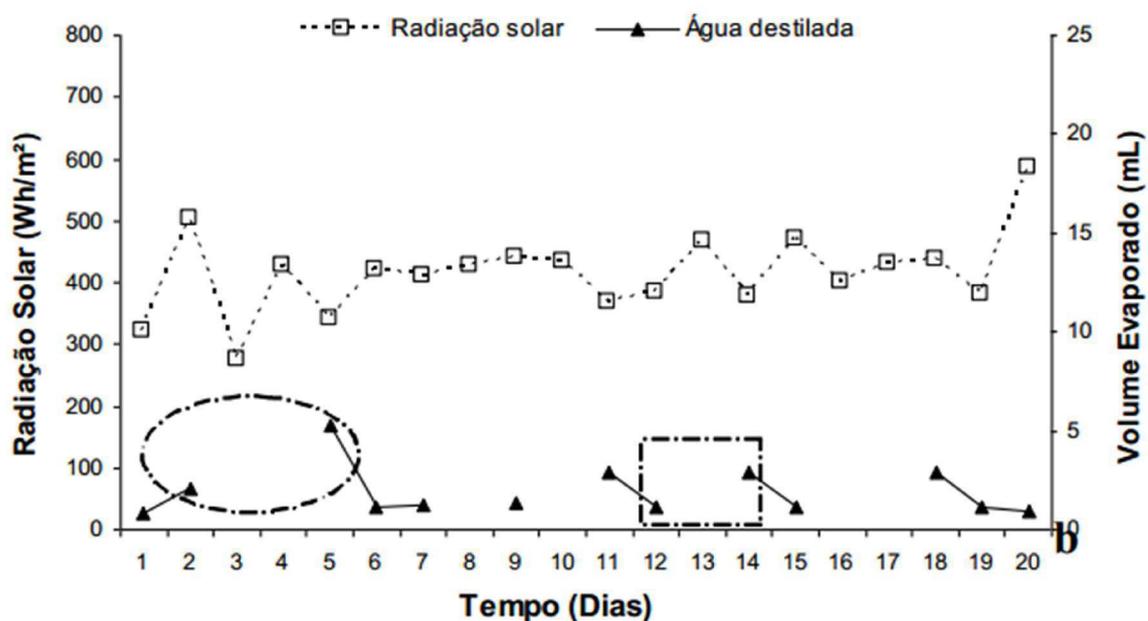


Figura 6: Comportamento da evaporação e da produção de água destilada em função da radiação solar disponível ao longo de dias sequenciais.

Fonte: SÁ *et al.*, 2012

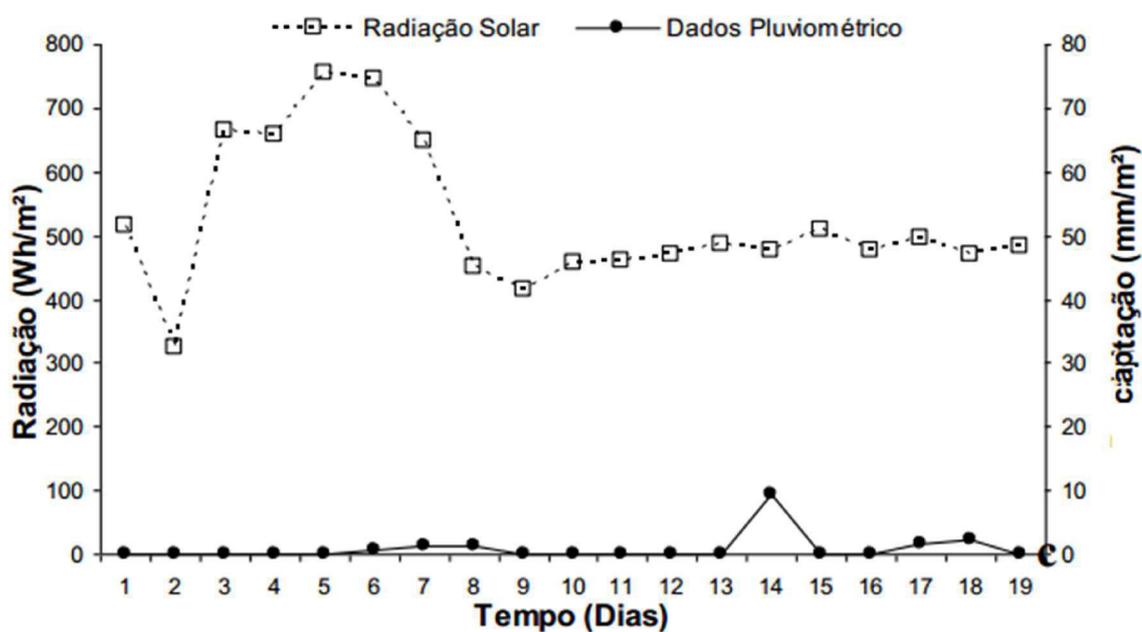


Figura 7: Radiação solar, pluvimetria e potencial de captação de água das chuvas disponíveis ao longo de dias sequenciais.

Fonte: SÁ *et al.*, 2012

Cabe ressaltar que a dessalinização das águas com o uso do dessalinizador solar produz rejeitos (sais), os quais são acumulados no interior do dessalinizador solar e pode influenciar na produção de água potável, pois: o acúmulo de sais interfere na tensão superficial da água, diminuindo o potencial osmótico/hídrico (OLIVEIRA *et al.*, 2010); e reduz a taxa de evaporação (COSTA *et al.*, 2006). Logo, torna-se imprescindível analisar a correlação entre o acúmulo de sais e a possível redução do potencial de evaporação da água (Figura 8).

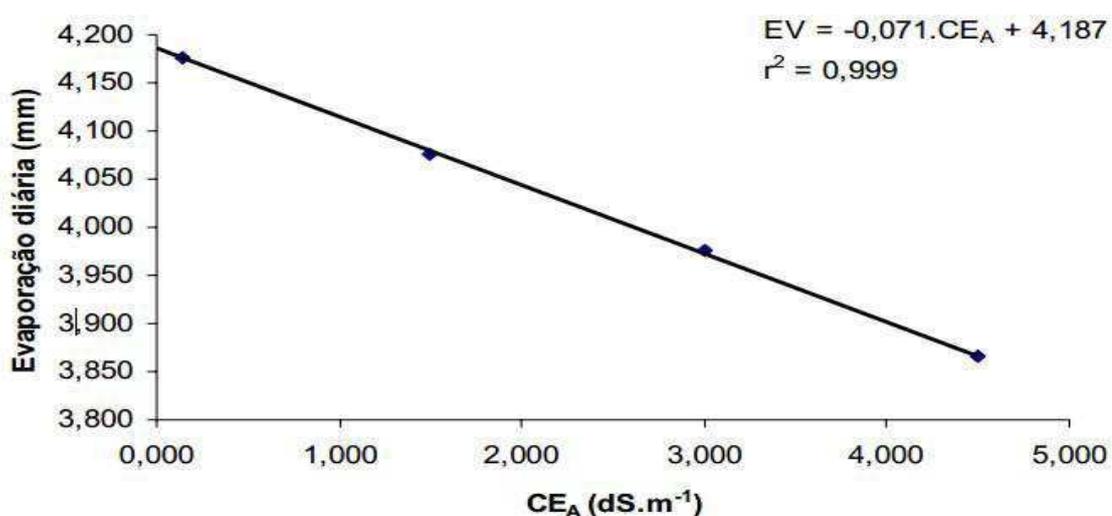


Figura 8: Variância da taxa de evaporação d'água em função do acúmulo de sais

Fonte: COSTA *et al.*, 2006

Por fim, sabendo-se que a utilização da energia solar para o dessalinização e desinfecção da água é uma prática de fácil aplicação, e é uma área a ser analisada de uma forma especial (LOPES, 2004, p.3), a presente pesquisa avaliou como o uso de um condensador extra acoplado a um dessalinizador solar pode fornecer água potável, contribuindo assim, no atendimento às necessidades hídricas de famílias rurais do semiárido brasileiro.

2.6 Dessalinizadores solar: tecnologias sociais de gestão hídrica

O crescimento populacional e o desenvolvimento industrial, associados às atividades econômicas mal desenvolvidas, têm proporcionado a deterioração dos recursos hídricos tanto em quantidade, quanto em qualidade. Como consequência, tem-se a contaminação dos mananciais, a destruição da vegetação, o mau uso da água para irrigação e a impermeabilização do solo, entre outras ações humanas, são responsáveis pela escassez e

poluição da água (POLLI & KUHNEN, 2013, p. 105). Logo, torna-se imprescindível o desenvolvimento e implementação de uma boa gestão dos recursos hídricos.

A gestão e o gerenciamento de qualquer recurso é sempre um grande desafio diante da complexidade das demandas sociais, das finalidades econômicas e das condições ambientais (OLIVEIRA FILHO, 2015, p. 11).

Diante dos problemas correlacionados com a gestão dos recursos hídricos, atualmente tem se buscado nas tecnologias um meio para um fim: promover uma gestão hídrica eficiente. No universo das tecnologias, têm-se as denominadas Tecnologias Sociais (TS), que são um conjunto de técnicas e metodologias desenvolvidas e/ou aplicadas na interação com a população, onde a TS deve representar soluções para a inclusão social e melhoria das condições de vida da população local (RODRIGUE & BARBIERI, 2008). Segundo estes autores, uma Tecnologia Social deve atender a alguns critérios:

- 1) Atender as demandas sociais concretas vividas e identificadas pela população;
- 2) Realizar um processo democrático e desenvolvido a partir de estratégias especialmente dirigidas à mobilização e à participação da população;
- 3) Deve existir a participação, apropriação e aprendizado por parte da população e de outros atores envolvidos na construção da TS;
- 4) Há produção de novos conhecimentos a partir da prática, e deve gerar aprendizagem para servir de referência para novas experiências; e
- 5) A tecnologia social visa à sustentabilidade econômica, social e ambiental.

No caso das políticas relacionadas às Tecnologias Sociais (TS), elas visam promover a inclusão social, e aplicam-se as famílias, cooperativas e associações com o objetivo de contribuir para os processos de transformação social, autonomia, inclusão social, visando a melhoria na qualidade de vida da população como um todo (MENDES *et al.*, 2015, p. 688).

Segundo Costa (2013), existem inúmeras políticas públicas e/ou privadas na promoção de inúmeras tecnologias sociais: cisternas de placas, calçadão ou de enxurradas; constituição de banco de sementes; construção de barragens subterrâneas; construção de canteiros econômicos; construção de tanques de pedra etc. (Figura 9).

Atualmente, tem-se o uso de dessalinizadores solar como uma tecnologia social viável, pois ela é simples, barata, não agride o meio ambiente, e tem utilizado a luz solar para retirar os sais e impurezas das águas (SOUSA & FERREIRA, 2015).

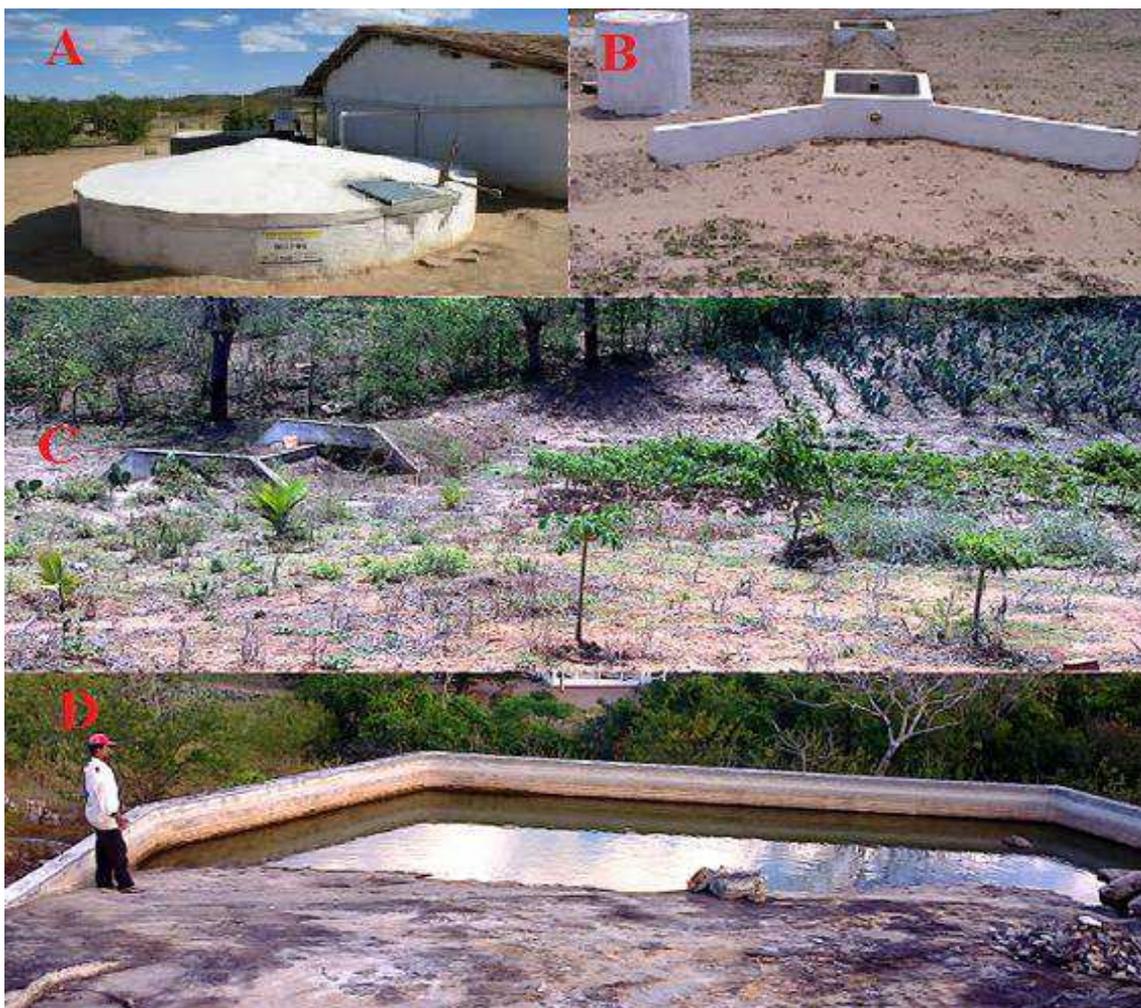


Figura 9: Tecnologias sociais: A - cisternas de placas; B - cisterna de enxurrada; C – barragem subterrânea; D – tanque de pedra.

Consoante a assertiva anterior, Marinho *et al.* (2015) ressaltam que os dessalinizadores solar podem ser considerados tecnologias sociais pelo fato de serem de baixo custo de construção e manutenção, o que possibilita a disseminação social; além de ser uma tecnologia que tem possibilitado a segurança hídrica de famílias que convivem com a escassez de água potável.

Por fim, sabendo-se que as tecnologias sociais podem ser utilizadas como respostas aos problemas relacionados com a escassez hídrica (POLLI & KUHNEN, 2013), tornou-se imprescindível analisar o uso de dessalinizador solar enquanto uma tecnologia social passível de promover a obtenção de água potável para atender as necessidades hídricas de famílias que convivem com a escassez de água potável.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Espaço de pesquisa

A pesquisa foi realizada no sítio Olho D'água ($6^{\circ}55'58''$ S e $36^{\circ}23' 8''$ W), localizado no município de Seridó-PB, o qual está inserido na Mesorregião da Borborema e na Microrregião do Seridó Oriental paraibano (Figura 10).

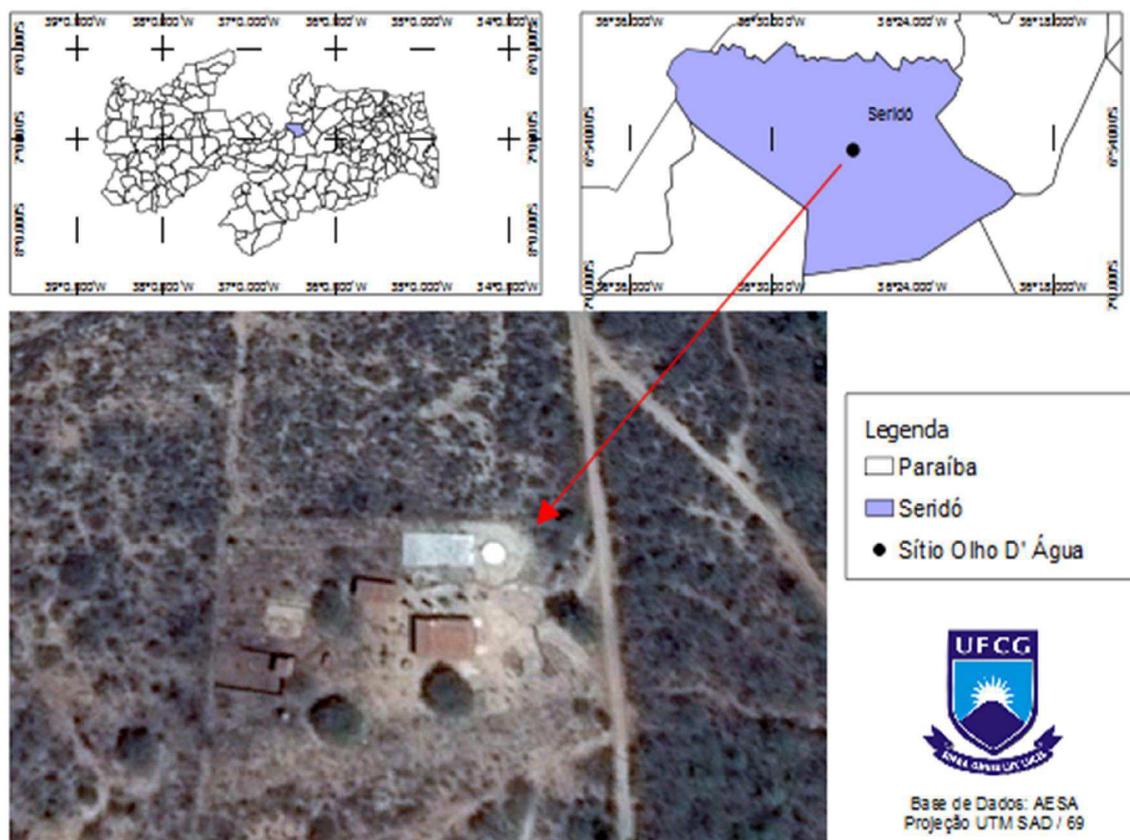


Figura 10: Localização do sítio Olho D'água, no município de Seridó-PB

O município de Seridó-PB está a cerca de 192 km da capital paraibana, João Pessoa, e apresenta uma área territorial de 276 km², e uma população de 10.230 habitantes (IBGE, 2010). Ainda segundo o IBGE (2010), o referente município detém um IDH de 0,555 e um PIB de R\$ 38.547 reais, o qual é advindo da agropecuária (R\$ 2.081 reais), da indústria (R\$ 5.013), dos serviços (R\$ 30.778 reais), e dos impostos (R\$ 674 reais).

Em relação aos aspectos físicos, segundo o CPRM (2005), o município de Seridó-PB apresenta:

1) **Geologia e Geomorfologia:** Seridó-PB está inserido na unidade geambiental do Planalto da Borborema, a qual é formada por maciços e outeiros altos, com altitude variando entre 450 a 1.000 metros. No município, a altitude média é de 630 metros. O relevo é geralmente movimentado, com vales profundos e estreitos dissecados. Com respeito à fertilidade dos solos é bastante variada, com certa predominância de média para alta. O mapa geológico do município de Seridó está demonstrado na Figura 11.

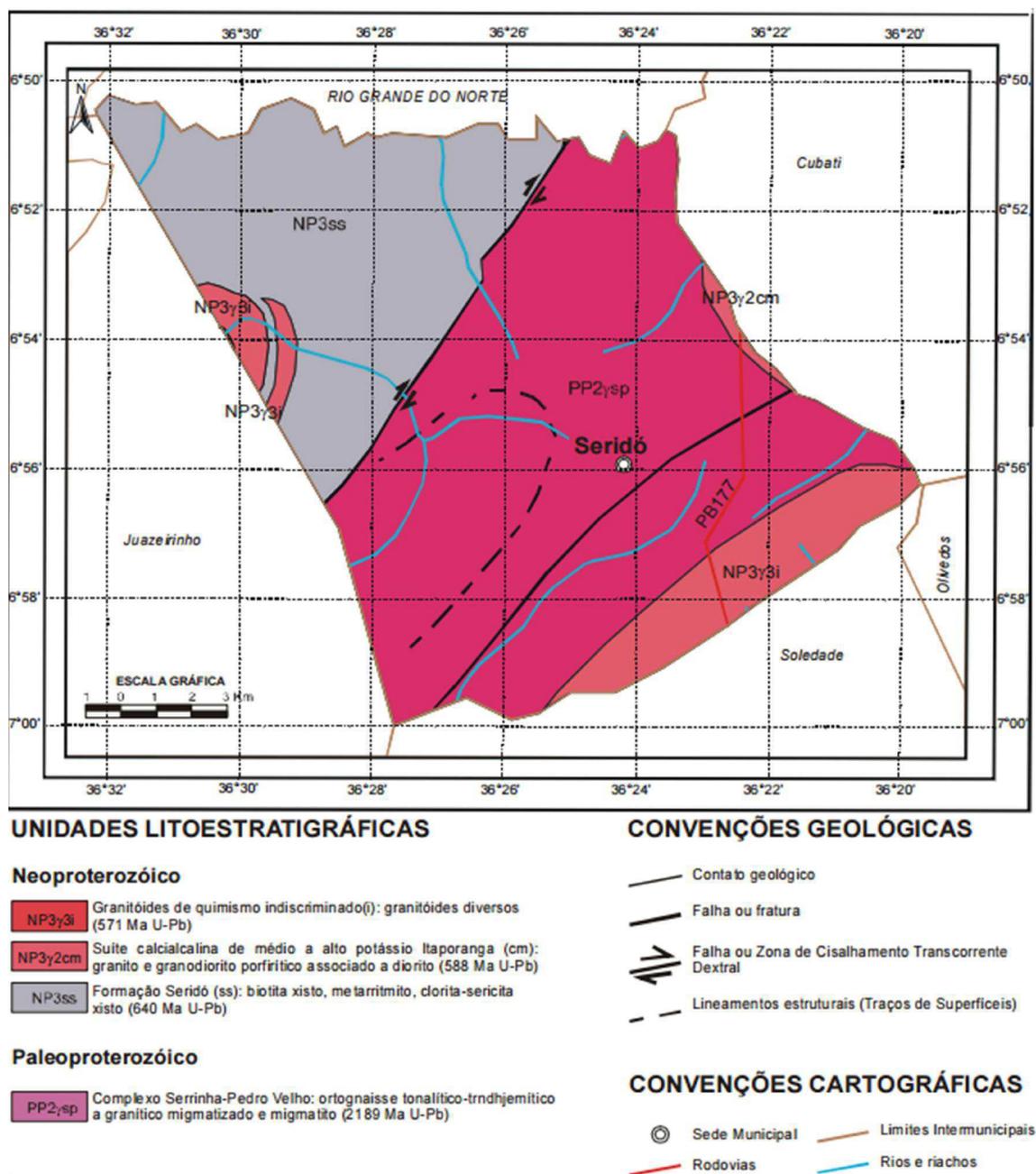


Figura 11: Mapa geológico do município de Seridó-PB. Fonte: CRPM, 2005

2) **Pedologia:** no tocante aos solos locais, tem-se nas superfícies suaves onduladas a onduladas, ocorrem os Planossolos (medianamente profundos, fortemente drenados, ácidos a moderadamente ácidos, e de fertilidade natural média), e os Podzólicos, que são profundos, textura argilosa, e fertilidade natural média a alta. Nas elevações ocorrem os solos Litólicos (solos rasos, textura argilosa e fertilidade natural média). Nos vales dos rios e riachos, ocorrem os Planossolos: medianamente profundos, imperfeitamente drenados, textura média/argilosa, moderadamente ácidos, fertilidade natural alta e problemas de sais (CPRM, 2005). Na Figura 12, pode-se verificar a distribuição dos solos no município de Seridó-PB.

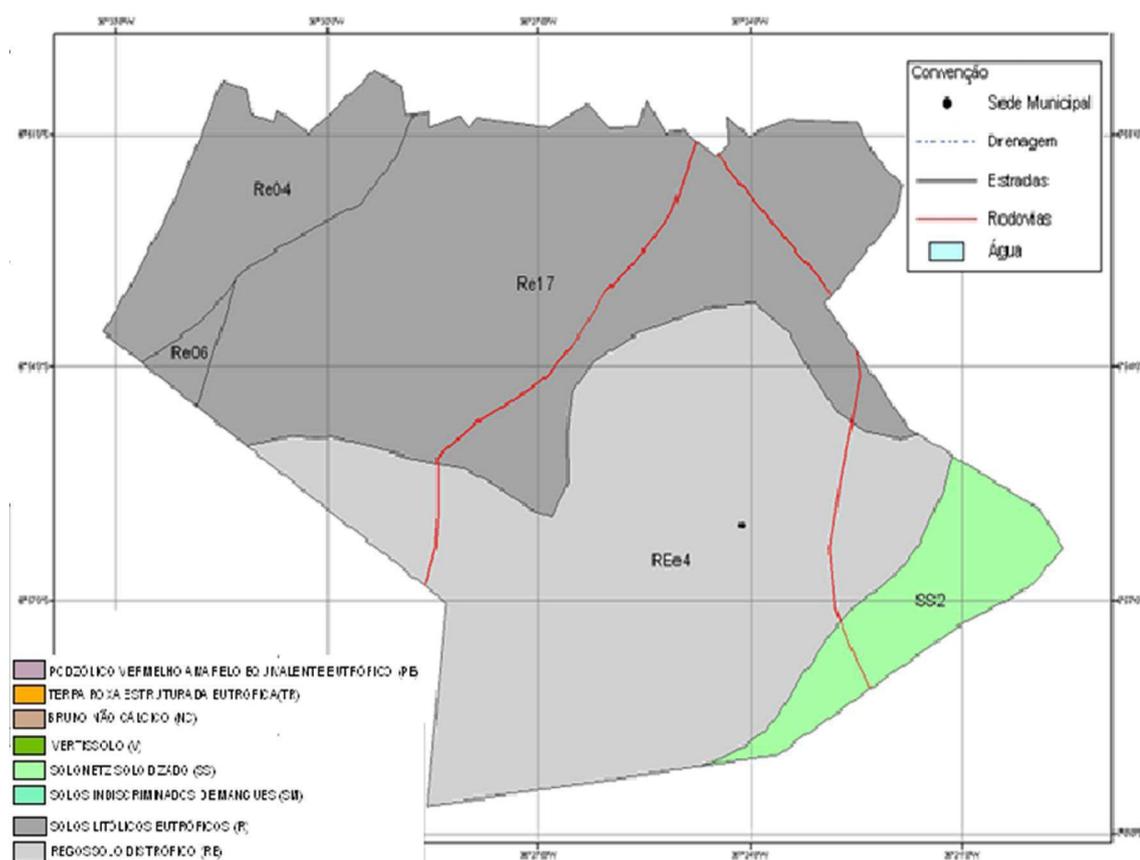


Figura 12: Mapa de solos do município de Seridó-PB. Fonte: EMBRAPA, 2017

Em síntese, a geologia do município de Seridó-PB é formada, especialmente, por rochas cristalinas, as quais tem condicionado solos rasos e pedregosos, com pouca capacidade de infiltração das águas das chuvas, além de contribuir para a salinização das águas subterrâneas.

3) **Clima e vegetação:** o clima local é do BSh (classificação de Köppen), que caracteriza-se como tipo Tropical quente e seco, condicionando: altas temperaturas médias

anuais (16 a 25°C, com máxima de 33°C); alto índice de evapotranspiração (em torno de 2.950mm/ano); baixo índice pluviométrico (média de 502mm), e variação espaço-temporal das chuvas. Como resultado destas condições climáticas, tem-se a vegetação nativa da Caatinga: vegetação que apresenta árvores baixas e arbustos que, em geral, perdem as folhas no período de estiagem (espécies caducifólias), além de muitas espécies xerófitas (CPRM, 2005).

4) **Hidrografia:** o município de Seridó-PB encontra-se inserido nos domínios da bacia hidrográfica do Rio Piranhas, mais especificamente na sub-bacia que compreende o Rio Seridó. Seus principais tributários são: o Rio Seridó e os riachos: Barraco, Carabeira, Morcego, Lagamar, Riacho do Serrote Preto, Riacho da Serra Redonda, Cacimbinha, Riacho Cubati, Espinheiro e Olho d'Água. O principal corpo de acumulação de água é a Lagoa Grande. Todos os cursos de águas locais têm regime de escoamento intermitente, e o padrão de drenagem é o dendrítico. O rio além de serem periódicos eles detêm uma pequena vazão, e o potencial de água subterrânea é baixo (CPRM, 2005).

A escolha do município de Seridó-PB como espaço de pesquisa, se deu em virtude deste apresentar alguns critérios imprescindíveis a esta pesquisa, tais como: 1) a população, em especial a do campo, convive com a escassez de água periódica em virtude das condições climáticas locais; 2) 90% da população rural (5.126 habitantes) sobrevivem com condições inadequadas de saneamento básico: água e esgoto (IBGE, 2010); 3) grande parte da população rural consome água de poços, açudes ou de cisternas sem nenhum tratamento da água (Figura 13), o que tem aumentado os casos de doenças de veiculação hídrica; e somado a isso, tem-se 4) o fato de inúmeros poços perfurados localmente ofertarem águas salinas, as quais são impróprias para o consumo humano, mas que poderiam ser consumidas após a dessalinização e desinfecção com o uso do dessalinizadores solar.



Figura 13: Coleta de águas de cisternas, açudes e poços, sem tratamento prévio.

Diante do cenário descrito, foram construídos dois dessalinizadores solar (com e sem condensador extra) com o intuito de avaliar, de forma comparativa, o potencial de obtenção de água potável e os benefícios socioeconômicos e ambientais atribuídos ao uso de dessalinizadores solares em regiões semiáridas.

3.2 Modelo de dessalinizador solar e o condensado extra

O modelo de dessalinizador solar analisado neste estudo, consiste em uma caixa construída com placas pré-moldadas de concreto, totalizando uma área de 4m². A cobertura é composta de vidro, o qual possibilita a passagem da radiação solar (ondas curtas), mas inibe a saída das ondas longas para fora do dessalinizador solar. Com isso, aumenta-se a temperatura dentro do dessalinizador, fazendo com que ocorra a evaporação da água armazenada numa lona de encerado de algodão (conhecida popularmente como “lona de caminhão”) que serve como base/piso. Assim, a água evaporada entra em contato com vidro, o que ocasiona a condensação deste vapor d’água e a obtenção de água potável, a qual é conduzida através de canaletas para um reservatório (caixa de PVC de 310 litros). O referido dessalinizador, e sua funcionalidade, pode ser visualizado nas Figuras 14 e 15.

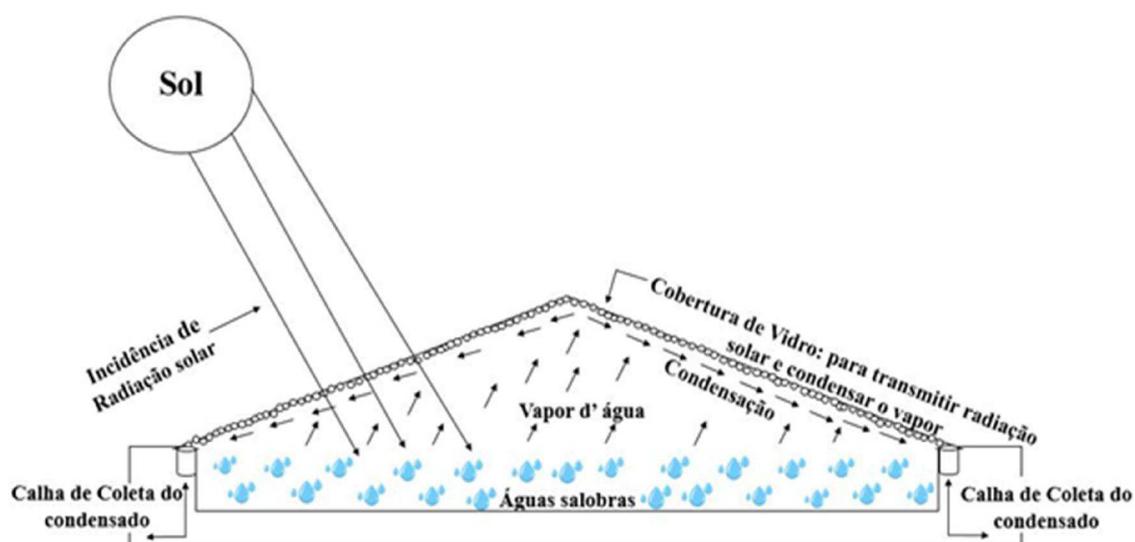


Figura 14: Desenho esquemático do dessalinizador solar



Figura 15: Dessalinizadores solar no sítio Olho D'água, Seridó-PB

O processo de dessalinização e desinfecção funciona quando a radiação solar, que passa através da cobertura transparente, aquece a água (salgada e/ou infectada) numa temperatura superior à da cobertura. Com isso, o gradiente da temperatura e o gradiente associado à pressão do vapor dentro do dessalinizador provocam a condensação do vapor de água sobre a superfície da parte interior da cobertura transparente (vidro). A película delgada do condensador (vidro) escorre a água condensada até as canaletas (coleta do condensado),

direcionando as águas condensadas até o depósito da água dessalinizada e desinfetada. Na Figura 14, pode-se observar o funcionamento do dessalinizador solar.

Sabe-se que o dessalinizador solar é uma técnica simples que utiliza a energia solar para promover a dessalinização e desinfecção de águas, e que, devido a sua grande importância, devem ser sempre aprimorados (FERNANDES et al., 2015). Neste sentido, analisou-se a eficiência de um protótipo de condensador extra acoplado ao modelo de dessalinizador solar descrito anteriormente.

Noutras palavras, o modelo de dessalinizador solar descrito nas Figuras 14 e 15, foi elaborado por Buross *et al.* (1980) e adaptado por Marinho *et al.* (2015). Todavia, neste estudo, foi acrescentado junto a este modelo de dessalinizador solar, uma inovação: um protótipo de condensador extra (Figura 16), o qual é de baixo custo e foi instalado com objetivo de aumentar a obtenção de água potável.

O condensador extra é composto por dois tubos: o primeiro tubo é composto por um cano de PVC de 100mm com tamanho de 90 cm; e o segundo tubo é composto por um cano de PVC de 50mm, e com tamanho igual a 55 cm.

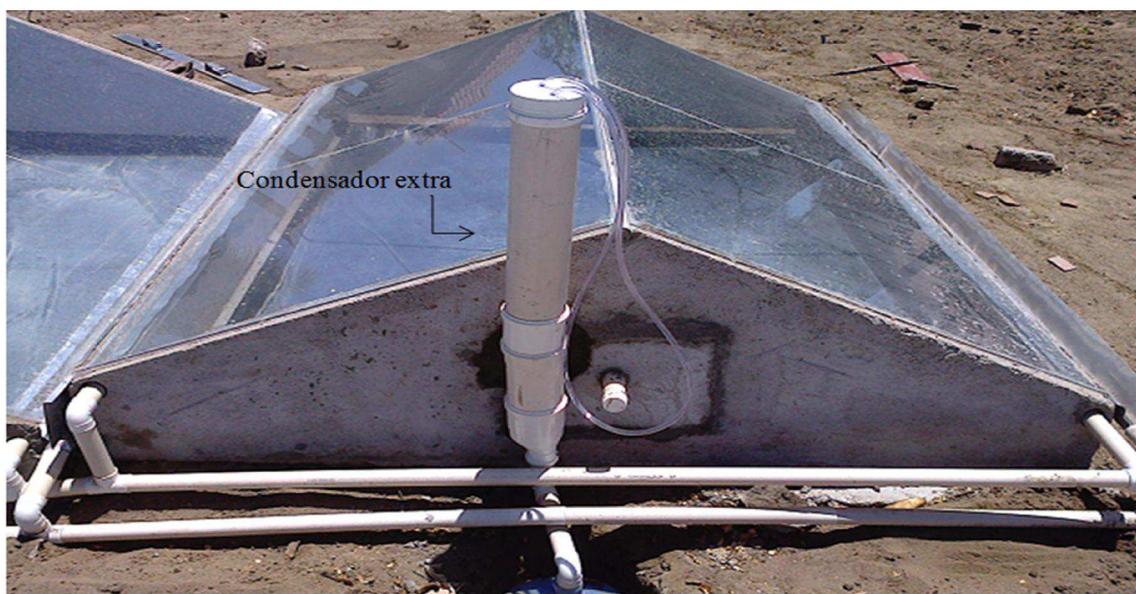


Figura 16: Dessalinizador solar com o condensador extra, sítio Olho D'água, Seridó-PB.

O cano de 50mm está dentro do tubo de PVC de 100mm. O espaço entre os dois tubos (canos) está preenchido com água, fazendo com que a superfície do cano de 50mm esteja a uma temperatura menor que o vapor de água contido dentro deste cano. Com isso, o vapor de água em contato com a superfície mais fria do cano de 50mm, acaba por condensar, o que aumenta a produção de água potável do dessalinizador solar.

Existe, ainda, uma mangueira de 1,5 cm de diâmetro, servindo para circulação do vapor de água, o que contribui para a diminuição da pressão do ar dentro do dessalinizador solar. O referido condensador extra pode ser melhor visualizado na Figura 17.

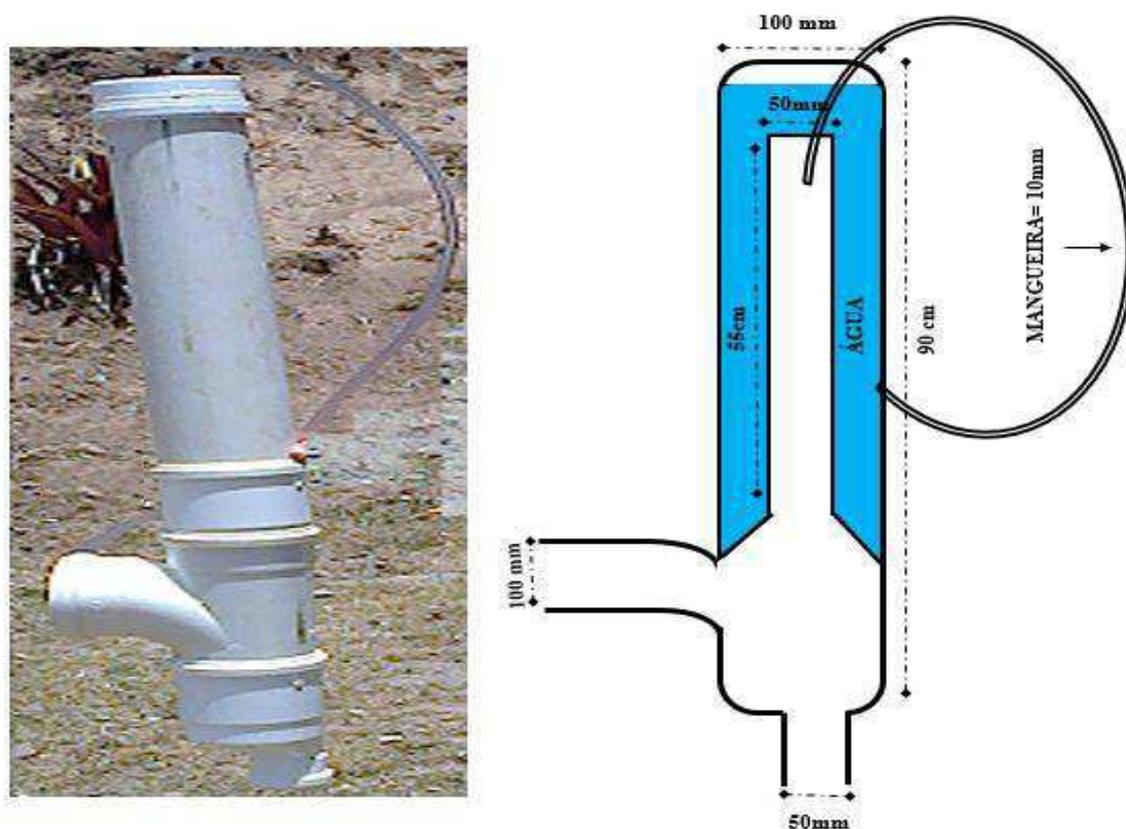


Figura 17: Imagem e desenho esquemático do condensador extra

Com o uso do condensador extra como inovação para o modelo de dessalinizador solar, pôde-se avaliar três fundamentos físicos:

- 1) Com o aumento da temperatura, há um aumento proporcional na produção de vapor de água. Assim a grande quantidade de vapor produzida pelo dessalinizador, poderá ser condensado com o aumento da superfície de condensação através do condensador extra;
- 2) Atingida a saturação, desde que a temperatura não se altere, nenhuma quantidade adicional de vapor d'água pode ser incorporada ao ar (VAREJÃO-SILVA, 2006). Neste sentido, buscou-se, com o condensador extra, promover uma maior condensação do ar saturado, o que reduzirá o excesso de vapor de água, além de possibilitar uma maior evaporação da água dentro do dessalinizador solar; e
- 3) A condensação do "excesso" de vapor de água pode ser provocado através do contato do ar quente e úmido junto às superfícies frias. Logo, quanto maior for a superfície de condensação,

maior será a produção de água (SILVA & SOUSA, 2009). Assim, analisou-se o aumento da condensação de água promovida pelo uso do condensador extra.

Sucintamente, observou-se até que ponto o uso do condensador extra pôde promover uma maior obtenção de água potável, e com isso atender as necessidades das famílias que convivem com a escassez de água hídrica.

3.2.1 *Funcionamento técnico do modelo de dessalinizador estudado*

O processo de dessalinização/desinfecção da água no dessalinizador ocorre quando as altas temperaturas no seu interior provocaram a evaporação da água, a qual entrou em contato com a superfície (de vidro ou cano) resfriada, e acabou por condensar, voltando ao estado líquido, mas agora sem os sais ou contaminantes antes existentes na água.

Fisicamente o que acontece, de acordo com Lopes (2004), é que: segundo um princípio da termodinâmica, o vapor de água procura escapar de um meio mais quente para um meio mais frio. Tendo em vista que a temperatura da base (T_b) absorvedora é maior que a temperatura da superfície de vidro (T_v), o que ocorre é que T_b aquece e evapora a água, a qual em forma de vapor sobe e em contato com a superfície mais fria (vidro ou cano) acaba por condensar, produzindo assim água potável sem contaminantes químicos ou biológicos.

Cabe ressaltar que T_b e T_v são menores que a temperatura ambiente (T_a), ou seja, a temperatura fora do destilador solar é menor que T_b e T_v . Logo, tem-se:

$T_a < T_v < T_b$, onde:

- a) T_a é a temperatura ambiente;
- b) T_v é a temperatura da cobertura de vidro; e
- c) T_b é a temperatura da base do destilador solar

Diante do exposto, os dessalinizadores foram construídos sem nenhum vazamento, o que favoreceu o aprisionamento do vapor d'água dentro do dessalinizador. Com isso, o vapor de água foi condensação quando de seu contato com a superfície do vidro.

A cobertura dos dessalinizadores é constituída de vidro, o qual não degrada quimicamente na presença de ultravioleta (comprimentos de onda entre 290nm a 400nm), e não permiti perda significativa de energia para o meio exterior. Cada dessalinizador tem o equivalente a 4m² de vidro de 4mm de espessura, isto em formato de pirâmide e com alta declinação para favorecer o escoamento da água: tanto a condensada dentro do dessalinizador, quanto a precipitada (através das chuvas) sobre os dessalinizadores.

A base plana do dessalinizador solar (que serve para absorver a energia solar e aquecer a água armazenada sobre a mesma) é constituída de uma lona encerado (Figura 18), conhecida popularmente como “lona de caminhão”, a qual é feita de algodão, de textura resistente, impermeável e térmica; e além de não ser corrosiva na presença dos sais acumulados, ela também tem uma vida útil muito longa.

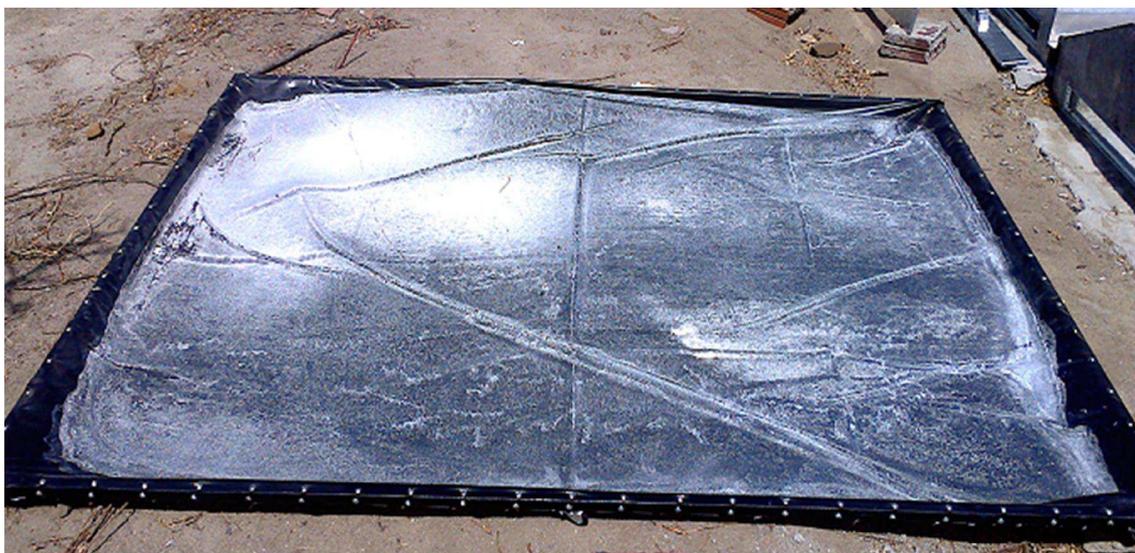


Figura 18: Acúmulo de sais na base do dessalinizador constituída de lona encerado, sítio Olho D'água, Seridó-PB

Em síntese, a base do dessalinizador é composto por uma lona encerado de 4m², funcionando como área de armazenamento das águas a serem dessalinizadas/desinfecionadas. Esta lona está elevada a 5cm do piso cimentado para que não haja perda de temperatura e/ou contaminação. Ressalva-se, ainda, que a lona encerado é de cor preta pelo fato de cores escuras favorecerem melhor a absorção de energia solar e, conseqüentemente, aquecer mais rápido a água.

Por fim, objetivando-se comprovar, de forma comparativa, que o uso de um condensador extra possibilita uma maior obtenção de água potável, utilizou-se alguns procedimentos metodológicos, os quais serão descritos a seguir.

3.3 Métodos empregados

Esta é uma pesquisa experimental, descritiva e quali-quantitativa. Neste sentido, caracteriza-se como experimental e descritiva à medida que se utilizou um condensador extra acoplado a um modelo de dessalinizador solar para obter água potável, objetivando-se com

isso descrever os aspectos socioeconômicos e ambientais correlacionados às práticas de dessalinização e desinfecção através dos dessalinizador solar.

É qualiquantitativa, uma vez que foram coletados, calculados e trabalhados de forma estatística (descritiva e de inferência), dados sobre radiação solar, temperatura, produção de água potável (litros/m²/dia), e sobre a qualidade da água.

Como meios técnicos para a realização desta pesquisa, utilizaram-se: o levantamento bibliográfico e documental que disponibilizaram conhecimentos e dados sobre a temática abordada nesta pesquisa; o registro icnográfico para diagnosticar, através de imagens, o uso dos dessalinizador solar; observação *in loco* e visitas técnicas; além de outros procedimentos metodológicos, os quais serão descritos a seguir.

3.3.1 *Estimativa e medições de variáveis*

Durante os estudos, foram contabilizadas ou mensuradas as seguintes variáveis: 1) o potencial de radiação solar incidente na superfície; 2) os valores das temperaturas diárias e das precipitações ocorridas; 3) os volumes de água de chuva captada pelos dessalinizadores; e 4) a produtividade (litros/m²/dia) de água potável.

Os valores da radiação solar incidentes na superfície (em kJ/m²) e das temperaturas diárias (em °C) foram coletados junto ao Instituto Nacional de Meteorologia - INMET. Tendo em vista que o município de Seridó-PB não dispõe de Estação Meteorológica para a coleta dos dados de radiação solar e de temperaturas diárias, tais dados foram coletados junto à Estação Automática de Cabaceiras-PB, já que: os valores de radiação solar incidente e as temperaturas diárias de um local, podem ser representativos para locais (municípios) próximos (AZEVEDO *et al.*, 1981).

Os dados diários de radiação solar incidente, temperatura do ar e produção de água foram coletados durante 20 dias ao longo das quatro estações do ano de 2016: verão (26 a 30 de janeiro); outono (21 a 25 de maio); inverno (21 a 25 de junho); e primavera (26 a 30 de outubro).

A média da radiação solar incidente à superfície foi calculada a partir dos dados diários de insolação, ocorridos entre 06:00 e 18:00 horas. Assim, obteve-se as médias diárias da insolação e da radiação solar incidente para o período de 5 dias consecutivos de cada estação do ano.

No tocante a temperatura média diária, a mesma foi obtida a partir das temperaturas encontradas nos horários diários das 00:00 às 23:00 horas. Assim, com os dados das temperaturas de cada horário, calculou-se a temperatura média diária.

Uma vez calculada a temperatura média de cada um dos 20 dias pesquisados, foi estimada a temperatura média de cada estação do ano. Para tanto, coletou-se os dados dos cinco dias sequenciais de cada estação, e calculou-se a temperatura média de cada estação.

Com base na radiação solar e temperatura média diária de cada estação do ano, obteve-se o potencial de energia solar disponível localmente. Com estes dados, pôde-se analisar como as condições climáticas (radiação solar, temperatura, nebulosidade etc.) ao longo do ano influenciam na maior ou menor obtenção de água potável.

Por fim, foram elaborados gráficos sobre: i) valores médios da radiação solar diária para cada estação do ano; ii) temperaturas médias em função do horário e da estação do ano; e iii) relação entre a obtenção de água potável e a temperatura média de cada estação do ano.

3.3.2 Determinação da eficiência do condensador extra

Para analisar a eficiência do condensador extra, foram avaliados, de forma comparativa, dois dessalinizadores solar: 1) o dessalinizador solar proposto por Marinho *et al.* (2015); e 2) o mesmo modelo de dessalinizador solar proposto pelos referidos autores, mas com um diferencial/ inovação: o uso de um condensador extra (Figura 17).

Na análise, contabilizaram-se, separadamente, os volumes de água potável obtidos pelo dessalinizador solar sem o uso do condensador extra (“D1”); e pelo outro dessalinizador solar que utiliza o condensador extra: “D2” (Figura 19).

Com as medições dos volumes de água obtidos por cada um dos dessalinizadores solar, buscou-se evidenciar a eficiência do condensador extra na promoção de maiores quantidades de água potável para atender as demandas hídricas das famílias locais.

Para estimar a produtividade de água dessalinizada/desinfetada, foram realizadas leituras diárias, sempre às 8:00hs, durante 5 dias consecutivos (em cada uma das estações do ano). Assim, pôde-se analisar a produção de água em dias diversos e com várias condições climáticas (dias nublados ou de céu claro, com altas ou baixas temperaturas).

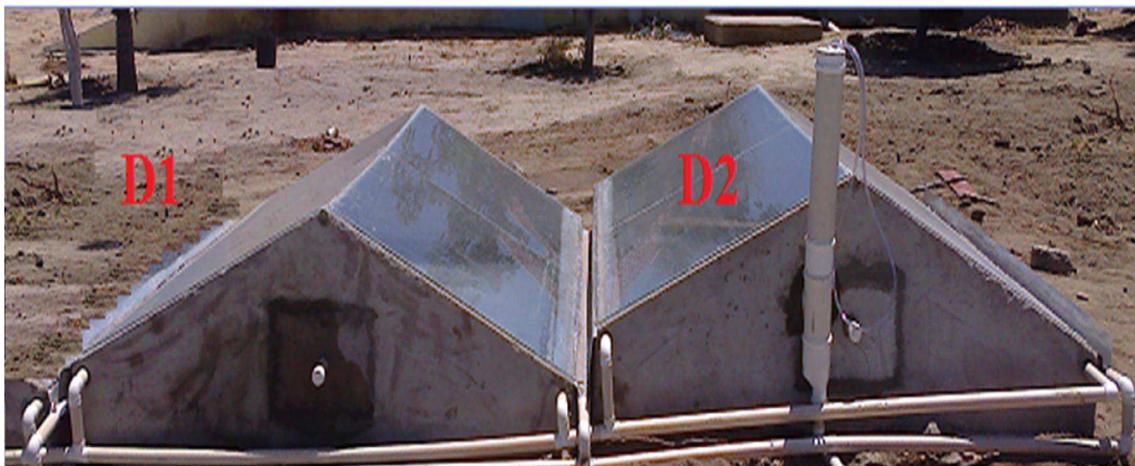


Figura 19: Dessalinizadores solar: modelo sem condensador extra - “D1”, e o modelo com condensador extra - “D2”.

Com os dados de produção diária de água obtida por “D1” e “D2”, elaboraram-se gráficos para comparar a obtenção diária de água dos dois dessalinizadores durante todo o período estudado.

Por fim, foi estimada a produção média diária (em litros/m²/dia) de água potável adquirida por “D1” e “D2”, isso para comparar a produção de água dos dois dessalinizadores, e comprovar o possível aumento da obtenção média diária de água por “D2” em virtude do uso do condensador extra.

Com as medições da produção de água obtida, e em conjunto com os dados de temperatura e radiação diárias, foi realizada a construção de gráficos de correlação enfocando a inter-relação entre radiação solar, temperaturas e produção de água potável.

3.3.3 Mensuração de dados qualiquantitativos

Foram observados, através da captação e armazenamento em uma caixa de PVC com capacidade para 310 litros (Figura 20), os volumes de água de chuva captados pelos dessalinizadores.

Os dados das precipitações foram coletados com o uso de um pluviômetro portátil com escala de 0 a 150 mm, modelo 4755 da Incoterm. Com o referido pluviômetro instalado no local de estudo, pôde-se calcular o potencial de captação das águas das chuvas em função da área dos dois dessalinizadores (8m²). Neste sentido, contabilizou-se a quantidade de chuvas ocorridas no período de estudo; e a quantidade de água armazenada na caixa de PVC de 310

litros. Com isso, pôde-se calcular, em porcentagem, a eficiência dos dessalinizadores solar para com a captação de águas de chuvas.



Figura 20: Coletores de alumínio conectados aos canos de PVC para escoamento das águas das chuvas para um reservatório (caixa de PVC de 310 litros).

Tendo em vista que a eficiência de um dessalinizador solar depende da lâmina de água salgada, a qual afeta a variação diária da temperatura do líquido, e que tem influência decisiva na produção de água (SÁ *et al.*, 2012). Durante as pesquisas, controlou-se a lâmina da água *in natura* (água do poço) colocada dentro dos dessalinizadores solar, pois quanto maior a lâmina de água, menor a produção de água potável, já que: quanto maior for a quantidade de água, maior será o tempo de aquecimento para a mesma aquecer e evaporar, o que diminui a produção de água dessalinizada/desinfetada. Assim, foi mantido, todos os dias, em média 40 litros de água salobra, o que equivale a uma lâmina de 1cm em cada um dos dessalinizadores solares de tamanho igual a 4m².

Diante do fato de que a presença de sais muda a tensão superficial/interfacial da água (LIMA *et al.*, 2013), provocando a diminuição do potencial osmótico/hídrico e, conseqüentemente, a redução da evaporação da água (SCHOSSLER *et al.*, 2012), buscou-se analisar a influência da salinidade da água no interior do dessalinizador sobre a obtenção de água potável. Para tanto, foram observadas nos dias 10 e 11 de novembro de 2016, as produções diárias de água potável em função de quatro níveis de salinidades (expressas em

condutividade elétrica em dS.m^{-1} : deciSiemens por metro), a saber: 2dS.m^{-1} ; $3,5\text{dS.m}^{-1}$; 5dS.m^{-1} ; e $7,5\text{dS.m}^{-1}$.

Com relação à salinidade das águas, a mesma foi determinada com o uso de dois instrumentos: um condutivímetro portátil, modelo Waterproof EC/TDS Testers, que mediu a salinidade em ds.m^{-1} ; além do uso de um Refratômetro da Impac, modelo IPS-10T para confirmação dos dados do condutivímetro. O refratômetro mediu (em ppm = parte por mil) o quanto a luz se desviou de sua trajetória, ou seja, o ângulo de refração, pois: a presença de sais altera o índice de refração de um determinado líquido. Assim, foi possível, através deste índice de refração, determinar a quantidade de sólidos dissolvidos nas amostras de águas.

Com os diferentes níveis de sais na água, pôde-se comparar a obtenção de água diária em função da salinidade das águas. Somado a isso, observou-se ainda as temperaturas médias diárias a fim de diagnosticar a correlação existente entre três aspectos: salinidade, obtenção de água e temperaturas médias diárias.

Cabe ressaltar que após a dessalinização das águas dos poços com os dessalinizadores, houve uma reconstituição salina de acordo com o nível adequado para o consumo humano, que é de no mínimo 30mg.L de sais totais (ANVISA, 2005). Neste sentido, utilizou-se a “Desinfecção Solar de Água”, que é o uso da radiação solar para promover a morte de microrganismos patogênicos (SODIS, 2015). Neste sentido, foram colocadas em garrafas PET as águas salinas dos poços, as quais ficaram expostas à radiação solar durante 48 horas. Assim, houve um tratamento térmico dos agentes patógenos sem, todavia, eliminar os sais da água.

Após isso, utilizou-se a água desinfetada pelo método SODIS (2015), e a misturou (em proporções adequadas) com a água advinda dos dessalinizadores solar, conduzindo-se assim uma reconstituição salina de acordo com as normas previstas pela ANVISA (2005). Isto foi possível em virtude de se conhecer, através de análises físico-químicas, a concentração de sais na água do poço, a qual é colocada, em quantidade adequada, junto às águas provenientes dos dessalinizadores.

3.3.4 *Análises das amostras das águas*

Foram realizadas, no Laboratório de Referência em Dessalinização (LABDES), na Universidade Federal de Campina Grande, análises físico-químicas e microbiológicas de amostras de águas coletadas antes e depois do uso dos dessalinizadores. Assim, analisaram-se

as amostras de águas *in natura* de um poço local, bem como as amostras de águas após o processo de dessalinização/desinfecção perpetradas pelos dessalinizadores solar.

Para avaliar a presença de sais dissolvidos nas águas, deve-se analisar a presença e quantidade de alguns elementos como cloretos, sulfatos, cálcio, magnésio, sódio, potássio etc. (AMORIM *et al.*, 2010). Dessa forma, nas análises físico-químicas realizadas, todos os elementos anteriormente citados, e ainda outros, foram avaliados nas amostras de águas (do poço e do dessalinizador); e com isso, pôde-se observar se a quantidade de cada um dos elementos estava de acordo com a Portaria MS nº 2.934/11, que rege sobre a qualidade e potabilidade das águas.

Em relação aos índices de contaminação biológica das águas, foi analisada a presença de bactérias do grupo coliforme. Esse grupo divide-se ainda em 3 outros subgrupos:

- 1) Coliformes totais: foram os primeiros a serem adotados como indicadores da poluição humana, porém a presença desse grupo numa água não significa que seja contribuição humana ou animal, pois estes organismos podem se desenvolver na vegetação e no solo.
- 2) Coliformes fecais ou termotolerantes: são um grupo de bactérias indicadoras de organismos originários predominantemente do trato intestinal humano e outros animais. Para identificá-los, o teste é feito a uma elevada temperatura, objetivando a supressão de bactérias de origem não fecal; e 3) *Escherichia coli*: é a principal bactéria do grupo coliformes fecais. Diferente dos coliformes totais e fecais, a *E.coli* é a única que dá garantia de contaminação exclusivamente fecal.

Em síntese, foram coletadas, analisadas e comparadas amostras de águas *in natura* (do poço local) e de água advindas do dessalinizador. Tal iniciativa foi válida para analisar, de forma comparativa, a qualidade/potabilidade das águas antes e depois do uso do dessalinizador solar.

Ressalva-se, ainda, que foram medidas, com o uso de um termômetro (acoplado ao condutivímetro portátil, modelo Waterproof EC/TDS Testers), as temperaturas do ar no interior do dessalinizador solar para identificar as altas temperaturas e sua função no tocante à morte de agentes patógenos, o que é essencial para comprovar a desinfecção das águas.

3.3.5 Levantamento de dados sobre a importância socioambiental do dessalinizador solar

Para identificar a importância socioambiental dos dessalinizadores solar, foi realizada uma pesquisa participativa junto às famílias rurais que consomem as águas dos dessalinizadores, e à equipe técnica da COONAP (Cooperativa de Trabalho Múltiplo de

Apoio às Organizações de Auto Promoção) que financiaram a construção dos dessalinizadores solar e do condensador extra. A escolha pela pesquisa participante se deu em virtude de ser “uma metodologia que estabelece relações comunicativas com pessoas da situação investigada, isso com o intuito de serem melhor aceitos enquanto desempenham um papel ativo no equacionamento dos problemas encontrados, no acompanhamento e na avaliação das ações desencadeadas” (THIOLLENT, 2005).

Diante do exposto, foram realizadas conversas informais buscando identificar alguns aspectos e informações, a saber:

- 1) Os custos para a construção de um destilador solar;
- 2) Possíveis benefícios/problemas com o uso dos destiladores solares;
- 3) O aumento da oferta de água potável;
- 4) A redução dos custos na obtenção e consumo de água doce;
- 5) O atendimento das necessidades hídricas das famílias rurais sem abastecimento de água; e
- 6) Os benefícios ambientais dos destiladores solares, e a maior gestão dos recursos hídricos disponíveis localmente.

Por fim, foi investigada junto aos Agentes de Saúde, a possível redução dos casos de doenças de veiculação hídrica, tendo em vista que a oferta de água potável obtida pela dessalinização e desinfecção solar tende a contribuir para diminuir, localmente, os casos de doenças de veiculação hídrica.

3.3.6 *Processamento de dados*

Utilizando-se o software *Assistat versão 7.7 pt.*, realizou-se o processamento de dados e as análises estatísticas da produtividade de água obtidas por D1 e D2, onde foram realizadas análises de variância simples: o teste “*F*” que analisa se a variância das médias se traduzem ou não em uma diferença significativa entre os dois tratamentos (OLIVEIRA, 2008); e o teste “*T*” (teste de Tukey) que é utilizado para comparar todo e qualquer contraste entre duas médias de tratamentos, especialmente se o número de repetições é o mesmo para todos os tratamentos (OLIVEIRA, 2008).

Noutras palavras, o teste *F* analisou se há uma diferença significativa entre as médias de produção de água de “D1” (tratamento 1) e de “D2” (tratamento 2); e o teste “*T*” (teste de Tukey) comparou as médias de produção de “D1” e de “D2” para averiguar se há contraste entre as médias. Estas análises estatísticas são importantes em virtude de representarem

técnicas de análise adequadas para a quantificação das evidências através da coleta de dados (DIEHL *et al.*, 2007).

Utilizou-se, ainda, o aplicativo Microsoft Excel 2010 para o tratamento de dados quantitativos, e para a construção de gráficos de correlação que envolveu as variáveis (radiação solar, temperatura, produção de água, precipitação, salinidade etc.) pretendidas neste estudo. A escolha do Microsoft Excel 2010 se deu em virtude deste constituir-se em uma ferramenta que agiliza os processos de cálculo e a elaboração de tabelas e gráficos, além de possuir diversos recursos de funções e fórmulas (PEREIRA *et al.*, 2014).

Finalmente, com a aplicação destes procedimentos metodológicos, alcançaram-se dados expressivos, os quais serão detalhados a seguir.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 Potencial de energia solar e de temperaturas diárias

Durante o período de pesquisa, contemplando 5 dias sequenciais de cada estação do ano (**verão**: de 26 a 30/01/2016; **outono**: 21 a 25/05/2016; **inverno**: 21 a 25/06/2016; **primavera**: 26 a 30/10/2016), estimou-se a radiação solar média diária de cada estação do ano (Figura 21).

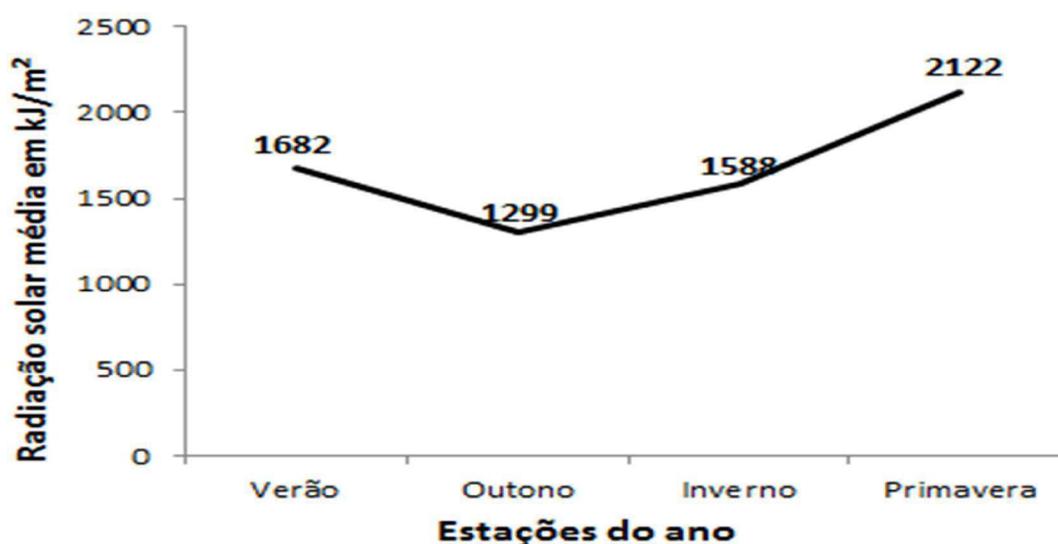


Figura 21: Valores médios da radiação solar diária em função da estação do ano

Nos dados expressos na Figura 21, observa-se que o maior potencial de radiação solar foi na primavera (média de 2122 kJ/m²), enquanto o menor foi em outono (1299 kJ/m²). Em se tratando do potencial médio de radiação solar incidente na superfície durante os 20 dias pesquisados, obteve-se um valor médio diário de 1672 kJ/m².

Normalmente, pensa-se que o verão (por ter dias mais longos) é a estação que deveria ter maior radiação chegando à superfície, enquanto no inverno (onde a duração do dia é menor) deveria ter a menor radiação solar na superfície. Tal pensamento seria universal caso não existisse a interferência, especialmente, da cobertura de nuvens, pois: uma parte considerável da enorme quantidade de energia proveniente do sol é refletida pela superfície das nuvens e, portanto, não contribui para a insolação sobre a superfície (MOOJEN *et al.*, 2012, p. 43).

O enunciado anterior explica o porquê do maior valor de radiação solar incidente na superfície ter ocorrido na primavera (e não no verão), e a menor incidência no outono (e não no inverno), pois: nos dias pesquisados, tanto do verão (26 a 30 de janeiro), quanto no outono (21 a 25 de maio), ocorreu a presença de nuvens, o que reduziu a radiação solar incidente sobre a superfície.

Em síntese, a cobertura de nuvens influencia na quantidade de energia solar incidente na superfície, pois segundo Moojen *et al.* (2012, p. 46): com o aumento da nebulosidade, a radiação global apresenta declínio, e que, embora a participação da radiação difusa aumente com a nebulosidade, quando o valor bruto desta parcela atinge valores maiores que seu máximo (cobertura de 70%), o valor da radiação difusa começa a decrescer.

De posse dos conhecimentos sobre os valores de radiação solar incidente na superfície, e a influencia da cobertura de nuvens, analisou-se a temperatura média diária. Neste sentido, foram analisados dados de temperatura média diária para os 20 dias pesquisados (5 de cada estação). Com isso, calculou-se a temperatura média de cada estação do ano (Figura 22).

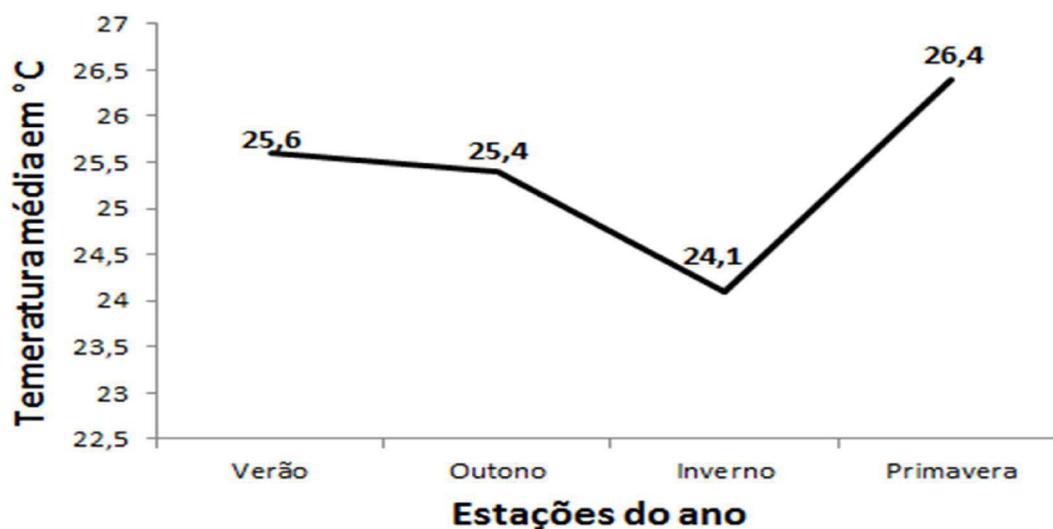


Figura 22: Temperatura média diária de cada estação do ano

Observando-se os dados da Figura 22, constata-se que as maiores temperaturas médias diárias foram, sequencialmente, na primavera (26,4 °C, com variação entre 21,1 a 33,5 °C) e verão (25,6°C, com variação entre 21,5 a 32,1 °C); e que a menor média diária foi no inverno (24,1 °C, com variação entre 16,9 a 30,4 °C). A temperatura média para os 20 dias pesquisados foi de 25,4°C. Assim, observa-se a existência de altos valores de temperatura

média diária, até mesmo no inverno, o que justifica a implantação de tecnologias, a exemplo dos dessalinizadores solar, para utilizar a energia solar disponível localmente.

Analisando, de forma comparativa, os dados das Figuras 21 e 22, percebe-se que: o outono, mesmo com menor radiação solar incidente em virtude da cobertura de nuvens, permaneceu com a temperatura média diária maior do que no inverno (que obteve maior radiação solar incidente).

Somado ao exposto anterior, pode-se observar, na Figura 23, que a temperatura média do outono permaneceu maior que as do inverno em quase todos os horários diários; ou ainda, que durante toda a noite, no outono, as temperaturas foram maiores que as apresentadas nas noites de verão (que obteve maior radiação solar incidente durante o dia).

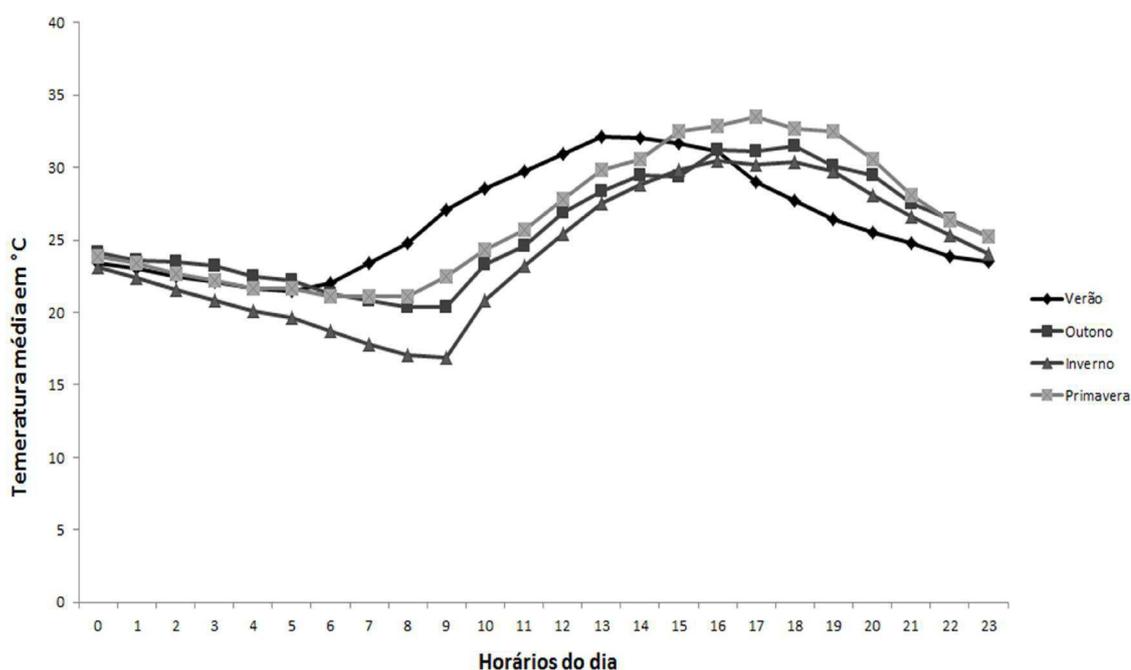


Figura 23: Temperatura média dos horários diários de cada estação do ano

A realidade exposta anteriormente se justifica pelo fato da cobertura de nuvens ter duas características distintas: se por um lado, a cobertura de nuvens diminui a radiação solar incidente pelo fato de inibir ou refletir a radiação direta do sol; por outro lado, as nuvens retardam a perda de radiação terrestre e “irradiam” calor para a terra. Assim, o que ocorreu foi que a cobertura de nuvens durante o outono, inibiu a maior radiação direta (*Rdir*) da energia solar durante o dia, mas possibilitou o retardo da perda de temperaturas durante a noite. Isso

possibilitou, no outono, uma temperatura maior, durante a noite, que a encontrada no inverno e no verão.

Em suma, pode-se constatar que a radiação solar incidente na superfície explicita um grande potencial de energia solar disponível localmente durante todo o ano; e que os altos valores de temperatura média diária possibilitam uma grande produção de vapor de água.

4.2 Obtenção de água potável com e sem o uso do condensador extra

Com os dados da temperatura média diária dos 20 dias pesquisados, foi calculada a temperatura média de cada estação, e com isso foi possível a construção de um gráfico relacionando a temperatura média diária das estações (verão, outono, inverno e primavera) e a obtenção média de água do dessalinizador com condensador extra (Figura 24).

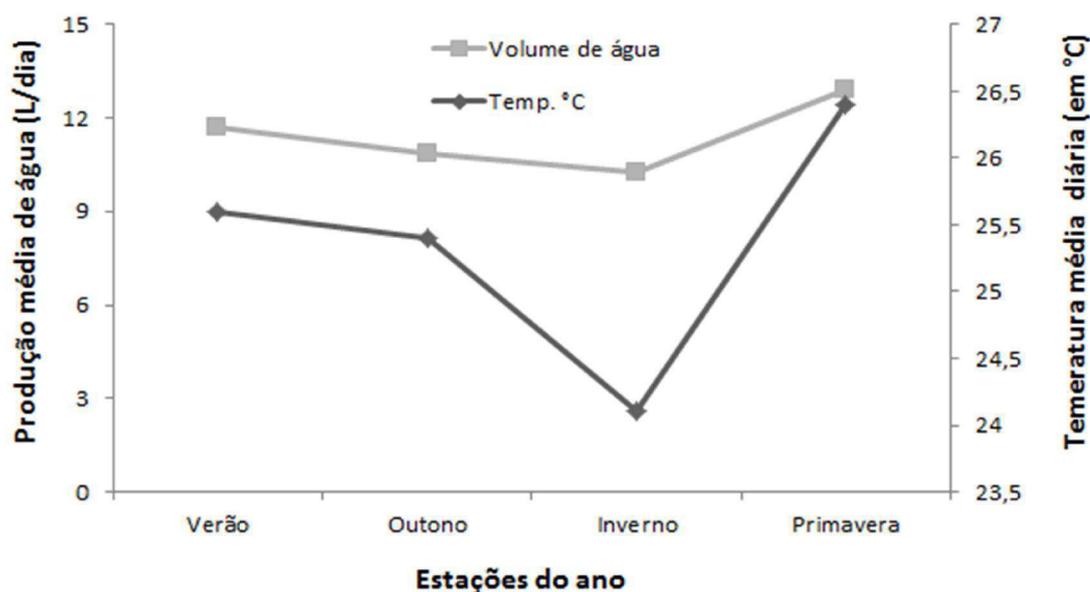


Figura 24: Produção de água potável em função da temperatura média de cada estação do ano

Observa-se na Figura 24, que há uma relação entre o aumento de temperatura e o aumento na obtenção de água potável. Isto pode ser observado quando se analisa que: as temperaturas médias diárias são maiores no verão e na primavera, o que condicionou uma maior obtenção de água quando comparado ao outono e, especialmente, ao inverno (menores temperaturas e menores valores de obtenção de água). Em síntese, isso significa que quanto maior for a temperatura média diária, maior também será a obtenção de água.

Após o levantamento dos dados da obtenção de água em função da temperatura média diária de cada estação, buscou-se avaliar, de forma comparativa, a eficiência do condensador extra (CE) acoplado ao modelo de dessalinizador solar. Para tanto, foram contabilizadas, e comparadas, a obtenção de água potável fornecida por cada um dos dois tipos de dessalinizadores solar (D1 e D2).

Em relação à obtenção de água potável pelos dois tipos de dessalinizadores, na Figura 25 está detalhada a produção de água fornecida por cada dessalinizador: o modelo convencional de dessalinizador solar (D1); e o mesmo modelo de dessalinizador, mas com o uso do condensador extra (D2). Estes dados expressam, de forma comparativa, a obtenção de água potável adquirida por cada um dos dessalinizadores (D1 e D2), isso para cada um dos períodos de pesquisa que contemplaram as estações do ano, a saber: 26 a 30 de janeiro de 2016 (verão); de 21 a 25 de maio de 2016 (outono); de 21 a 25 de junho de 2016 (inverno); 26 a 30 de outubro (primavera).

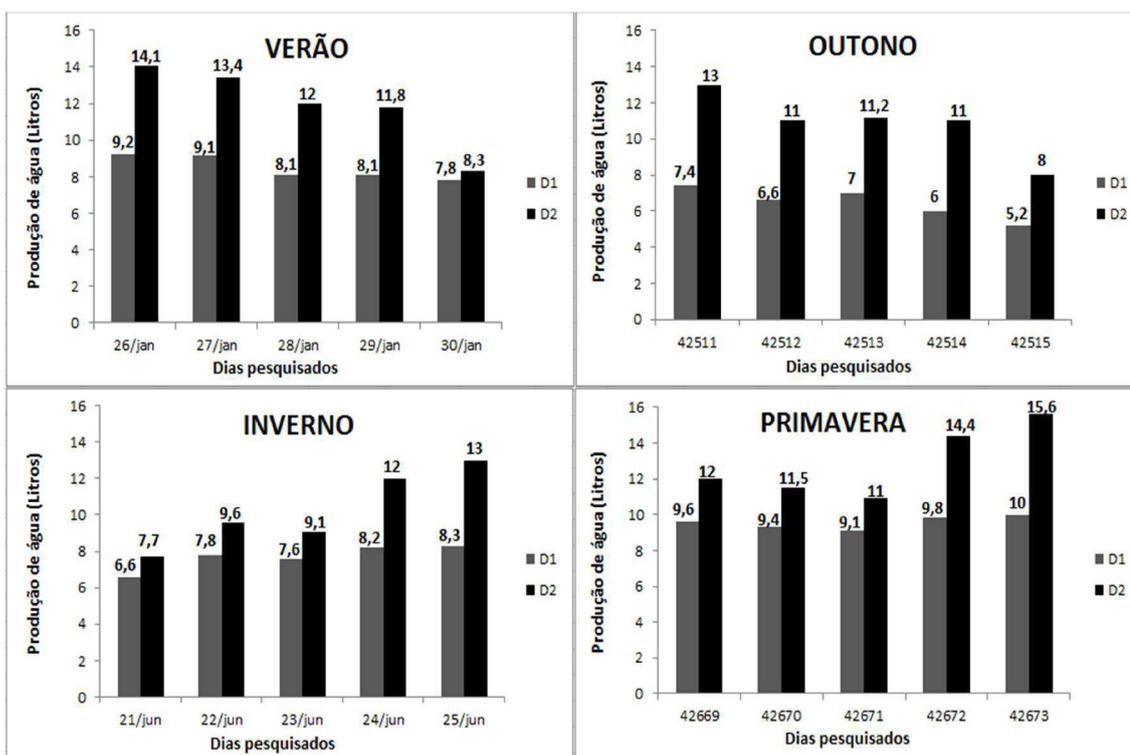


Figura 25: Comparação da obtenção de água potável entre o dessalinizador sem condensador extra (D1) e o dessalinizador com condensador extra (D2).

Inicialmente, observaram-se os dados sobre a obtenção de água de cada dessalinizador (D1 e D2) durante os cinco dias consecutivos de pesquisa em cada estação do ano. Assim, obtiveram-se os seguintes dados: **i) no verão:** D1 produziu 42,3 litros, e D2 obteve 59,8; **ii)**

no outono: D1 produziu 32,2 litros, e D2 obteve 54,2 litros; **iii) no inverno:** D1 produziu 38,5 litros, e D2 obteve 51,4 litros; e **iv) na primavera:** D1 produziu 47,9 litros, e D2 obteve 64,5 litros.

A maior produção média diária de água fornecida tanto por D1, quanto por D2, foram na primavera: média de 9,6 litros/dia para D1, e média de 12,9 litros/dia para D2. Já com relação a menor produção média diária de água fornecida por D1, assim como por D2, foi no inverno: média de 7,7 litros/dia para D1, e média de 10,3 litros/dia para D2.

Quando comparadas a obtenção de água potável de D1 e D2, observa-se que houve um aumento considerável por parte de D2 (com condensador extra) em comparação com o dessalinizador sem condensador extra (D1). Neste sentido, contabilizou-se uma maior produção de água de D2 em comparação com D1 para todas as estações do ano, a saber:

- a) No verão, D2 produziu 17,5 litros a mais que D1, o que corresponde a um aumento de 41%, ou ainda, um aumento diário de 3,5 litros a mais que D1;
- b) No outono, houve um aumento 22 litros por parte de D2, o que corresponde a um aumento de 68%, ou ainda, equivale a uma média diária de 4,4 litros a mais que D1;
- c) No inverno, D2 produziu 12,9 litros a mais que D1, o que corresponde a um aumento de 33%, ou ainda, um valor médio diário de 2,9 litros a mais que D1; e
- d) Na primavera, o aumento médio foi 16,5 litros, o qual possibilitou um aumento de 34%, ou ainda, uma média diária de 3,3 litros a mais que D1.

Assim, durante o período de coleta de dados em campo (20 dias distribuídos em 5 dias de cada estação), observou-se que D2 (dessalinizador com condensador extra) produziu 230,6 litros, e D1 (dessalinizador sem condensador extra) produziu 161 litros. Logo, observa-se que: em 20 dias de coleta, D2 produziu 69,6 litros a mais que D1.

Para comprovar que D2 obteve uma produção média maior que D1, foi aplicado o teste *F* e o teste *T*, ou teste de Tukey (ANEXO 5) que comparam as médias de produção obtidas pelos dois tratamentos: com e sem condensador extra. Tal iniciativa foi relevante em virtude do fato de que: quando há dois ou mais tratamentos, torna-se necessário aplicar um teste de comparação de médias dos tratamentos, o que levará a um nível de significância que poderá anunciar qual o melhor tratamento (OLIVEIRA, 2008).

Diante do exposto, e observando os resultados dos testes “*F*” e “*T*” na Tabela 2, vê-se que o volume de água produzida por D2 foi significativamente ($p < 0,01$) superior aos volumes produzidos por D1. Noutras palavras, quando comparadas as produções médias de água de D1 e de D2, os dados apontam que há 99% de probabilidade de que a produção média de D2 seja maior que a produção média de D1.

(“D1” e “D2”), o que foi confirmado com o teste *T* (teste de Tukey) que evidenciou eu há contrastes entre as médias dos tratamentos: “**tratamento 1**”, teve média de 8 litros/dia; e “**tratamento 2**” obteve média de 11,5 litros/dia.

Em se tratando do aumento percentual na produção de água, obteve-se um valor de 43% a mais de produção de D2 em relação a D1, o que equivale a um aumento médio de 3,5 litros por cada dia em que o dessalinizador esteve com o condensador extra acoplado.

Ressalva-se, ainda, que quando analisada a eficiência do dessalinizador no tocante a obtenção de água em função de seu tamanho, observou-se que houve uma produção média diária de **2,8 litros/m²/dia⁻¹ por “D2”**, e de **2 litros/m²/dia⁻¹ por “D1”**. Isto significa que “D2” tem uma eficiência maior “D1”, assim como também é maior que a eficiência encontrada em outras pesquisas com dessalinizadores, a saber: 800ml de água/m²/dia⁻¹ (Vargas *et al.*, 2012); 1,74 litro/m²/dia⁻¹ (Marinho *et al.* 2012); ou ainda, 2,4 litros/m²/dia⁻¹ (Sá *et al.*, 2012).

Tendo em vista os dados expostos na Figura 25, pôde-se verificar que D2 obteve mais água que D1 em todos os dias, independentemente da estação do ano. Assim, deduziu-se que o condensador extra possibilitou uma maior obtenção de água em todos os dias em que foi utilizado. Tais dados comprovaram os seguintes fundamentos físicos:

- 1) Quanto maior a temperatura, maior será o potencial de produção de vapor de água. Neste sentido, observou-se que sob temperaturas diárias do ar variando entre 16,9°C e 33,7°C, obteve-se temperaturas acima de 50°C no interior do dessalinizador, o que proporcionou um grande potencial de vapor de água. Com isso, pôde-se, com o uso do condensador extra (CE), obter um volume de 2,8 litros/m²/dia, valor este maior que o encontrado pelo dessalinizador sem CE (2 litros/m²/dia);
- 2) Atingida a saturação (100% de umidade relativa do ar), nenhuma quantidade adicional de vapor d'água pode ser incorporada ao ar, o que diminui a evaporação (VAREJÃO-SILVA, 2006). Neste sentido, verificou-se que a introdução do condensador extra provavelmente promoveu uma maior condensação do ar saturado no interior do dessalinizador, o que reduziu o excesso de vapor de água no interior do equipamento, e também possibilitou uma maior evaporação da água; e
- 3) A condensação do "excesso" de vapor de água pode ser provocado através do contato do ar quente e úmido junto às superfícies frias (SILVA & SOUSA, 2009). Assim, com o condensador extra, pôde-se aumentar a superfície de condensação e, conseqüentemente, obter mais água potável.

Diante do exposto, constata-se que a instalação do condensador extra aumentou a superfície de condensação, o que possibilitou uma redução da umidade relativa do ar no interior do equipamento, contribuindo assim tanto para o aumento da evaporação de água no dessalinizador, quanto para o aumento da obtenção de água potável.

Finalmente, os dados expressos nas Figuras 24 e 25, e na Tabela 2, revelam que: a) quanto maiores forem as temperaturas diárias, maior será a obtenção de água potável; b) o uso do condensador extra possibilitou um aumento de 43% na obtenção de água potável; e c) o condensador extra não só favoreceu o aumento da produção de vapor de água, mas também possibilitou a obtenção de água potável através da condensação do vapor de água.

4.3 Potencial de captação de águas de chuvas

Durante os estudos, verificou-se que os dessalinizadores são uma técnica eficiente na captação de águas das chuvas, isso em virtude de algumas características imprescindíveis, a saber: i) sua área de captação é constituída de vidro, o qual, diferentemente de telhados de casas feitos de argila, não absorve parte das águas precipitadas sobre o mesmo; e ii) a área de captação (os vidros) detém uma grande declividade, o que favorece o escoamento das precipitações para o sistema de coleta.

Em se tratando da eficiência dos dessalinizadores para a captação de águas de chuvas, verifica-se na Tabela 3, os valores das precipitações ocorridas em dois eventos de chuvas; o volume das águas armazenados, e a eficiência de aproveitamento dado em percentagem. Neste sentido, contabilizou-se tanto a quantidade de chuvas ocorridas no período de estudo, quanto a quantidade de água armazenada em um reservatório (caixa de PVC de 310 litros). Conhecendo-se a área total dos dois dessalinizadores (8m²), pôde-se calcular a eficiência dos dessalinizadores solar no processo de captação de águas de chuvas (Tabela 3).

Tabela 3: Estimativa, em percentual, do potencial de captação de água de chuvas pelos dessalinizadores em dois eventos de chuvas: 7,6mm e 15mm.

Precipitações	Área dos 2 dessalinizadores	Captação máxima: 100%	Volume captado	Eficiência em %
7,6mm	8m ²	60,8 litros	56,5 litros	93 %
15mm	8m ²	120 litros	91,5 litros	76 %

Como mostrado na Tabela 3, nos estudos de campo, realizados nos dias 24 e 25 do mês de maio (outono), houve precipitações de 7,6mm e 15mm respectivamente. Estas precipitações proporcionaram, sequencialmente, um volume de 56,5 litros, e 91,5 litros. Assim, em termos percentuais, a eficiência dos dessalinizadores foi de: 93% no primeiro evento (7,6mm de chuva); e 76% no segundo evento (15mm de chuva). Assim, verifica-se uma eficiência média de 84,5%, o que significa dizer que: para cada 100mm de chuva, é possível armazenar 676 litros, isso é um volume potencial de captação (VPC) maior que os encontrados em superfícies/telhados de barro das residências (OLIVEIRA *et al.*, 2012; INÁCIO *et al.*, 2013).

A pequena diferença percentual (7%) entre os dois eventos de chuva, justifica-se pelo fato de haver perdas de água em eventos de chuva de maior intensidade, como verificado no segundo evento de precipitações, quando ocorreram perdas através das tubulações de PVC que transportam as águas captadas pelos dessalinizadores até o reservatório (caixa de PVC de 310L).

Vale salientar que na ocorrência de chuvas de pouca intensidade, não ocorre captação de água nas cisternas através do calçadão devido à baixa declividade e alta porosidade do piso de alvenaria, o que reduz o processo de escoamento superficial. Todavia, as superfícies de vidro dos dessalinizadores (que são lisas e com alta declividade), são capazes de captar águas de chuvas mesmo em eventos de baixa intensidade.

Por fim, os dessalinizadores solar além de garantir a qualidade das águas através da dessalinização, eles também captam águas de chuvas e aumentam a oferta de água para as famílias rurais que convivem com a escassez hídrica.

4.4 A influência da salinidade da água na obtenção de água potável

Em se tratando da análise da influência da salinidade na obtenção de água potável, foram observadas nos dias 10 e 11 de novembro de 2016, as produções diárias de água potável em função de quatro salinidades (com condutividades elétricas - CE_A - em $dS.m^{-1}$: deciSiemens por metro), a saber: $2dS.m^{-1}$; $3,5dS.m^{-1}$; $5dS.m^{-1}$; e $7,5dS.m^{-1}$. Além disso, observou-se a temperatura média diária para diagnosticar a relação existente entre três aspectos: salinidade, obtenção de água, e temperaturas diárias (Figura 26).

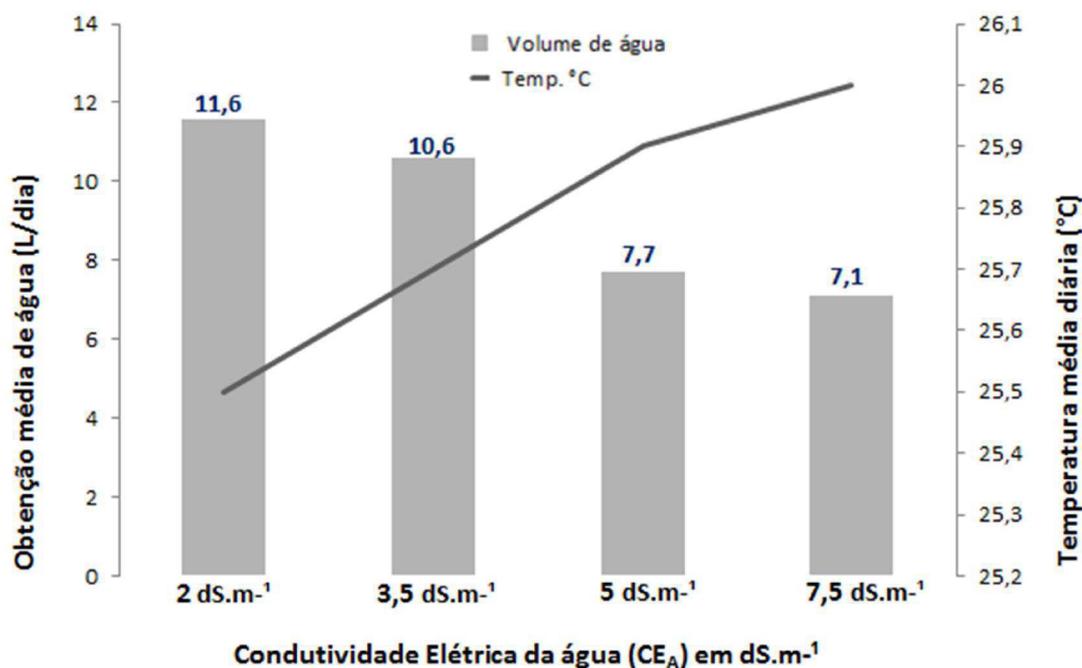


Figura 26: Relação entre obtenção de água destilada, salinidade e temperatura diária.

Observa-se na Figura 26 que: i) há uma correlação entre o aumento da salinidade e o decréscimo na obtenção de água destilada; ii) quando comparadas a menor e maior concentração de sais na água (condutividades elétrica de 2dS.m⁻¹ e 7,5dS.m⁻¹, respectivamente), observa-se uma redução de 4,5 litros de água, o que corresponde a uma perda média de 800ml a cada aumento de 1dS.m⁻¹ na água; e iii) mesmo com o aumento da temperatura média diária (de 25,5°C para 26°C), houve uma queda na obtenção de água, o que revelou a diminuição da produção de água em função do aumento da salinidade.

Sucintamente, observou-se que quando maior for a salinidade da água, menor será a obtenção de água pelo dessalinizador, isso porque o acúmulo de sais muda a tensão superficial/interfacial da água (LIMA *et al.*, 2013), provocando a diminuição do potencial osmótico/hídrico e, conseqüentemente, a redução da evaporação da água (SCHOSSLER *et al.*, 2012). Assim, quanto mais sais dissolvidos estiverem na água, menor será a evaporação e, conseqüentemente, menor será a condensação/obtenção de água potável.

Diante do exposto anterior, ressalva-se a importância da limpeza/retirada dos sais acumulados na base (lona encerado) do dessalinizador. A limpeza dos sais pode ser realizada semanalmente, o que contribuirá para manter uma boa obtenção de água.

É pertinente lembrar que os sais (rejeitos/concentrado) advindos da limpeza dos dessalinizadores solar (Figura 27), foram utilizados como sais minerais na criação de animais

(caprinos, ovinos e bovinos) desenvolvida localmente. Isto contribuiu economicamente à medida que reduziu possíveis custos com sal mineral para os animais.



Figura 27: Limpeza dos sais acumulados sobre a lona encerado, e armazenamento dos sais em uma caixa de PVC (310 litros), sítio Olho D'água, Seridó-PB

É importante ressaltar que o processo de dessalinização ocasionado pelo dessalinizador solar proporcionou a obtenção de uma água potável sem sais dissolvidos. Todavia, sabe-se que a presença de sais, em quantidades adequadas, deve ser mantida.

Assim, após a dessalinização das águas pelos dessalinizadores, houve uma reposição de sais através de uma reconstituição salina, a qual compreendeu dois momentos: primeiramente aplicou-se o método SODIS (2015), que é a desinfecção das águas através de altas temperaturas providas da radiação solar (Figura 28); logo após, a água desinfetada, mas com os sais, foi adicionada às águas advindas dos dessalinizadores solar.



Figura 28: Utilização da radiação solar para desinfecção das águas salinas de poços, sítio Olho D'água.

Cabe ressaltar que a reconstituição salina foi realizada, a partir de cálculos da proporção dos minerais por 100ml, de acordo com os níveis de salinidades permitidos para a potabilidade humana, ou seja, a reconstituição salina atendeu os pré-requisitos (para cada 100ml) do nível de Cálcio: 25 mg; Magnésio: 6,5 mg; Potássio: 50 mg; e Sódio: 60 mg (ANVISA, 2005).

4.5 Qualidade das águas

Sabendo-se que o controle da qualidade da água a ser consumida pela população é uma atividade de extrema importância (MARQUEZI *et al.*, 2010, p. 292), objetivou-se analisar a capacidade dos dessalinizadores fornecerem água potável para as famílias rurais. Neste sentido, foram realizadas análises físico-químicas e microbiológicas (ANEXOS 1, 2, 3 e 4), tanto das águas *in natura* do poço que abastece as famílias do Assentamento Olho D'água, quanto das águas advindas dos dessalinizadores solar, isso para analisar, de forma comparativa, a qualidade das águas (*in natura* e dessalinizadas/desinfetadas).

Nas análises físico-químicas, foram avaliados 24 parâmetros. Todavia, na Tabela 4 estão descritos os parâmetros que apontaram valores não recomendáveis pela Legislação Brasileira. Logo, analisando as amostras de águas retiradas do poço artesiano, observaram-se níveis de salinidade altíssimos, dentre eles pode-se citar:

- i) cloreto (1370,3 mg/L), um valor 5 vezes maior que o permitido pela Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2011) que é de 250 mg/L;
- ii) o sódio obteve 541,9 mg/L, um valor 2 vezes maior que o recomendável pelo MS; e
- iii) STD alcançarem 3141 mg/L, um valor 3 vezes maior que o permitido pela Legislação Brasileira.

Entretanto, ao analisar a água após o processo de dessalinização pelos dessalinizadores, obtiveram-se resultados físico-químicos compatíveis com os parâmetros de potabilidade estabelecidos pelo Ministério da Saúde (BRASIL, 2011). Neste sentido, basta verificar (na Tabela 4) que os valores de cloretos, sódios, amônia etc., estão dentro dos valores máximos permitidos pela Portaria 2914/11, o que confirma a eficiência dos dessalinizadores solar no tratamento de águas salinas.

Tabela 4: Resultado das análises físico-químicas das águas *in natura* e dessalinizadas

PARÂMETROS (valores não admissíveis encontrados)	Água <i>in natura</i> (poço artesiano)	Água Dessalinizada	Limite permitido (Portaria 2914/11 do MS)
Cloreto (Cl)	1370,3	8,5	250 mg/L ⁻¹
Sódio (Na⁺)	541,9	2,9	200 mg/L ⁻¹
Dureza total (CaCO₃)	1390	10	500 mg/L ⁻¹
Amônia (NH₃)	3,04	1,18	1,5 mg/L ⁻¹
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C)	3141	22,2	1000 mg/L ⁻¹

Em se tratando das análises microbiológicas, foram identificados valores expressivos tanto para *coliformes totais*, quanto para *Escherichia Coli*. Estes dados podem ser visualizados na Tabela 5, onde se observa que:

a) Nas águas *in natura* do poço artesiano, foram encontrados altos níveis de contaminação biológica ($2,024 \times 10^3$) para *coliformes totais* e *E. Coli*. Assim, esta água é considerada imprópria para o consumo humano, pois a presença de *Escherichia Coli* pode causar infecção urinária, abscesso no fígado, pneumonia, meningite, artrite, diarreias etc. Para se ter uma noção da gravidade da presença da *E. Coli*, basta lembra que em 2009, as doenças diarreicas agudas ocasionaram 3,1% das mortes de crianças menores de cinco anos (MOURA *et al.*, 2012, p. 174). Isto representa centenas de mortes. Dessa forma, qualquer presença de *E. Coli*, como ocorreu nas amostras das águas *in natura* do poço artesiano, torna a água imprópria para o consumo humano.

b) No tocante a água advinda do dessalinizador, observou-se a ausência de *E. Coli* (0 em 100mL), o que torna a água livre de bactérias causadoras de doenças. Todavia, observou-se a presença de *coliformes totais* ($0,02 \times 10^3$), o qual é justificado pela pequena presença de bactérias heterotróficas, as quais não causam doenças e estão sempre presentes em qualquer tipo de água. Todavia, a Portaria 2914/11 exige que a presença de *coliformes totais*, independentemente da quantidade, deve passar por um tratamento. Assim, as águas após a dessalinização e desinfecção pelos dessalinizadores são tratadas, pela própria família, com a aplicação de cloro, o qual tem ação germicida, fungicida, algicida, protozoocida, viricida, além de combater outras formas vegetativas de bactérias (RUI *et al.*, 2011, p.11).

Tabela 5: Resultado das análises microbiológicas das águas *in natura* e dessalinizadas

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	Água <i>in natura</i> (poço artesiano)	Água Dessalinizada	Limite permitido (Portaria 2914/11 do MS)
Coliformes totais	2,024 x 10 ³	0,02 x 10 ³	0 em 100mL
Escherichia Coli	2,024 x 10 ³	0	0 em 100mL

É importante lembrar que no caso das águas subterrâneas, os organismos patogênicos são eliminados ou removidos pela ausência de oxigênio e por filtração, segundo intensidade variada, em função da permeabilidade e condutividade do aquífero ou do subsolo (SANTOS *et al.* 2013). Neste sentido, a maior parte das águas subterrâneas não detém bactérias patogênicas em função da alta condutividade e pela ausência de oxigênio. Assim, deduz-se que a água em contato com as tubulações de PVC, possa ter adquirido bactérias heterotróficas, as quais não causam doenças ao ser humano.

Ressalva-se, ainda, que as altas temperaturas no interior dos dessalinizadores solar (50°C), proporcionaram que a água no interior do dessalinizador atingissem temperaturas acima de 50°C, o que contribuiu para a morte de agentes patógenos. Isto revela a importância dos dessalinizadores enquanto uma técnica para a desinfecção de águas.

Por fim, os resultados das análises físico-químicas e microbiológicas confirmaram que: a água do poço artesiano, com altos níveis de contaminação química e bacteriológica, tornou-se viável para o consumo humano após os processos de dessalinização e desinfecção utilizando os dessalinizadores solar.

4.6 Benefícios socioeconômicos e ambientais

Quando dos estudos de campo, pôde-se perceber, especialmente através da fala das famílias rurais e da equipe técnica da COONAP, que os dessalinizadores solar possibilitam inúmeros benefícios socioeconômicos e ambientais, a saber:

1) Com o condensador extra, o dessalinizador solar conseguiu uma produção média de 11,5 litros (42% a mais que D1). Assim, aumentou-se a oferta de água de 8 para 11,5 litros, o que é suficiente para atender as necessidades hídricas de 5 pessoas, cada uma consumindo o que é estabelecido pela ONU (2015): 2 litros/pessoa/dia. Isso significa dizer que: para uma família de até 5 indivíduos, basta a construção de um destilador com o condensador extra para atender suas necessidades de água potável;

2) Com os destiladores é possível não só dessalinizar águas, mas também desinfetá-las através das altas temperaturas que promovem a morte de agentes patogênicos. Dessa forma, vê-se que os destiladores solares podem ofertar uma água segura para o consumo humano;

3) A qualidade das águas advindas dos destiladores não só atenderam o que rege as normas legais no tocante aos aspectos físico-químicos, mas também inibiu os casos de doenças por ingestão hídrica, pois não houve nenhum caso de doenças provenientes do consumo das águas dos destiladores (informações estas prestadas pelas famílias e Agentes de Saúde locais). Isto possibilita afirmar que os dessalinizadores solar podem contribuir para a redução de doenças de veiculação hídrica, especialmente as diarreicas; e

4) Observou-se que o destilador solar com o condensador extra é uma tecnologia simples, de baixo custo de implantação e manutenção; possibilita o uso individual ou coletivo; não causa impactos ambientais negativos; não detém custos com energia elétrica em virtude de utilizar a energia solar; e é uma tecnologia limpa e sustentável.

Diante do exposto, a construção do dessalinizador solar com o condensador extra se justifica por atender três aspectos:

Viabilidade social: é capaz de ofertar água potável para atender, em quantidade e qualidade adequadas, as famílias rurais do semiárido; é uma tecnologia socialmente disseminável em virtude de sua simplicidade técnica; e é capaz de possibilitar seu uso individual (uma unidade por família) ou coletivo (várias unidades para atender uma comunidade);

Viabilidade econômica: os custos que envolvem a construção do dessalinizador com o condensador extra é na ordem de R\$ 900,00 reais, valor menor que *1 Salário Mínimo* atual (R\$ 937,00). Sabendo-se que o valor médio de um garrafão de água potável de 20 litros é, em média, R\$ 5,00 reais, tem-se que o valor do investimento (R\$ 900,00 para fornecer 11,5 litros e atender 5 pessoas/dia) será igual ao valor gasto em garrafões de água em um intervalo de 12 meses, ou seja, o valor do investimento será compensado em 1 ano após sua construção. Assim, percebe-se que os custos e o tempo de retorno do investimento são relativamente pequenos;

3) **Viabilidade ambiental:** utiliza a radiação solar que é limpa e renovável; reduz os custos com energia elétrica no uso de possíveis técnicas para dessalinização (a exemplo de sistemas de tratamento por osmose reversa); não causa impactos negativos nos recursos naturais (fauna, flora, ar etc.); e utiliza-se do grande potencial natural de energia solar para promover a boa gestão dos recursos hídricos disponíveis localmente.

Somado ao contexto anterior, percebe-se que o dessalinizador solar com condensador extra pode ser considerado uma Tecnologia Social à medida que tem atendido alguns pré-

requisitos: baixo custo econômico; é de fácil construção e disseminação social; além de contribuir para a transformação social frente à gestão dos recursos hídricos disponíveis localmente.

Ressalta-se, ainda, que além de deter características comuns às de uma Tecnologia Social, os dessalinizadores podem ser considerados uma Tecnologia Sustentável, haja vista que esta se configura em tecnologias que satisfazem as necessidades sociais e ambientais de forma que não compromete os recursos naturais existentes para as gerações futuras (MENEZES *et al.* 2010, p. 119). Assim, atualmente tem-se o uso de dessalinizadores solar como uma tecnologia não só social, mas também sustentável, pois ela é simples, barata, não agride o meio ambiente, e tem utilizado a luz solar para retirar os sais e impurezas das águas (SOUSA & FERREIRA, 2015).

Diante do exposto, e sabendo-se que as tecnologias sustentáveis não detêm custos com energia elétrica, e utilizam energia limpa e renovável (BOUKAR & HARMIN, 2001), pode-se afirmar que o dessalinizador solar com o uso do condensador extra é uma tecnologia sustentável à medida que ele é: economicamente viável, socialmente justo/disseminável, e ambientalmente correto.

É válido lembrar que, durante os estudos, foi investigada junto aos Agentes de Saúde local, a possível redução dos casos de doenças de veiculação hídrica. Neste sentido, obtiveram-se resultados satisfatórios: segundo os Agentes de Saúde local, para as pessoas que consumiram a água dos dessalinizadores, não houve registro de casos de doenças de veiculação hídrica, tais como: cólera, febre tifoide, hepatite *A* e doenças diarreicas. Assim, comprovou-se que os dessalinizadores podem fornecer uma água segura e, conseqüentemente, contribuir para a redução de casos de doenças por veiculação hídrica.

Vale salientar, ainda, que na opinião das famílias e da equipe técnica da COONAP, os únicos problemas correlacionados ao dessalinizador com o condensador extra, são: 1) a cobertura do dessalinizador por ser de vidro, ela pode ser danificada/quebrada pela ação de agentes externos como pedras ou galhos lançados pela ação do vento; e 2) o condensador extra está exposto à radiação solar, o que ocasiona o aquecimento da água no interior do mesmo e, conseqüentemente, reduz a produção de água. Diante disso, observou-se que:

a) Para o primeiro problema elencado (possível quebra dos vidros de 4mm): realmente o vidro, quando em comparação com outros materiais como plástico ou acrílico, é menos resistente, mas o vidro é mais transparente à radiação solar do que o plástico; e o valor do “m²” do vidro é mais barato que o acrílico (4mm). Assim, para os aspectos transparência e viabilidade econômica, o vidro tornou-se o mais viável.

b) Com relação ao aumento da temperatura da água no interior do condensador extra, realmente observou-se que com o aumento da temperatura da água, houve uma redução na obtenção de água, pois com o aumento da temperatura da superfície de condensação (cano de 50mm), houve também o aumento da temperatura do ponto de orvalho (T_d) do cano, o que reduziu a condensação do vapor d'água. Todavia, como comprovado através do volume de obtenção de água em função do tamanho, observou-se que o cano foi mais eficiente que o vidro, isso em virtude do cano (PVC de 50mm) obter, durante o dia, a T_d menor que a registrada pelos vidros. Neste sentido, a proposta do condensador extra com canos de PVC tornou-se mais viável.

Em suma, sabendo-se que as famílias rurais do Assentamento Olho D'água, município de Seridó-PB (a exemplo de outras comunidades rurais do SAB), consomem, por vezes, águas contaminadas de poços; observou-se que é de grande importância o uso do dessalinizadores solar com um condensador extra, pois eles são: uma tecnologia de baixo custo de implantação e manutenção, além de fácil aprendizagem; facilita o acesso à água devido à proximidade dos dessalinizadores junto às residências; pode ser de uso individual ou coletivo; contribui para melhorar as condições de segurança hídrica; e tem contribuído para aumentar a oferta de água para o consumo humano.

5 CONCLUSÕES

Diante das pesquisas frente ao objetivo de analisar como o uso de um condensador extra acoplado a um dessalinizador solar poderia aumentar a oferta de água potável e possibilitar benefícios socioambientais, concluiu-se que:

- 1- Há, *in loco*, um grande potencial de energia solar, o qual além de promover altas temperaturas médias diárias, também torna viável o uso de tecnologias, a exemplo de dessalinizadores solar, para o tratamento de águas (salinas, residuárias etc.);
- 2 – O uso do condensador extra possibilitou um aumento de 43% na obtenção de água potável, o que justifica sua instalação junto aos dessalinizadores solar;
- 3 – O condensador extra além de contribuir para o aumento da evaporação pelo fato de reduzir a umidade relativa do ar no interior do equipamento, ele também proporcionou a obtenção de água através da condensação do vapor de água dentro do dessalinizador solar;
- 4 – Os dessalinizadores mostraram-se técnicas eficientes na captação de água de chuvas, o que contribui para a maior oferta de água para as famílias rurais que convivem com a escassez hídrica;
- 5 – A salinidade é um fator que modificou a tensão superficial da água e diminui o potencial osmótico, o que contribuiu para a redução na obtenção de água potável;
- 6 – Com relação aos benefícios socioeconômicos e ambientais, têm-se: a) dessalinização e desinfecção de águas impróprias para o consumo humano; b) possibilita uso individual ou coletivo; c) melhor gestão dos recursos hídricos disponíveis localmente; d) maior oferta de água segura para a dessedentação humana, o que contribuiu para a redução de casos de doenças por veiculação hídrica; e) baixo custo econômico para a construção e manutenção dos dessalinizadores; redução de possíveis custos com ração mineral para os animais; f) uso de energia solar limpa e renovável; e g) não promove impactos negativos para com os recursos naturais (água, solo, fauna, flora etc.).

Diante dos dados supracitados, acredita-se que a tese de usar um condensador extra acoplado a um dessalinizador solar para aumentar a oferta de água potável e, com isso, possibilitar benefícios socioeconômicos e ambientais, foi comprovada. Todavia, é imprescindível a existência de novas pesquisas no tocante a repetição dos estudos de forma comparar/comprovar a eficiência do condensador extra na obtenção de uma maior produção de água potável.

É importante ressaltar que este estudo não compreende um ponto final para as questões relacionadas à dessalinização e desinfecção de águas, mas sim representa apenas o

começo para novas investidas na promoção de ofertar, em quantidade e qualidade, água para atender as necessidades e interesses de inúmeras famílias que convivem com a escassez de recursos hídricos.

Assim, a partir desses estudos, é oportuno realizar novas pesquisas que busquem utilizar técnicas e instrumentos para gerir, com eficiência, os recursos hídricos disponíveis localmente, o que contribuirá para a convivência com as condições edafoclimáticas do semiárido.

Por fim, sabendo-se que a insuficiência e irregularidade na distribuição de chuvas, associada a forte taxa de evaporação, são características climáticas que projeta derivadas radicais para o mundo das águas e para o mundo socioeconômico dos viventes dos sertões (AB'SÁBER, 2003, p. 85), torna-se imprescindível conceber tecnologias sociais que fomentem a segurança hídrica de inúmeras famílias que convivem com a escassez de água em regiões semiáridas.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AB'SÁBER, A. *Os domínios de natureza no Brasil: potencialidades paisagísticas*. São Paulo: Ateliê Editorial, 2003.

AMARAL, L. A.; FILHO, A. N.; JUNIOR, O. D. R.; FERREIRA, F. L. A.; BARROS, L. S. S. Água de consumo humano como fator de risco à saúde em propriedades rurais. *Revista Saúde Pública*, 37(4):510-4, 2003.

AMORIM, J.R. A.; CRUZ, M.A. S.; RESENDE, R.S. Qualidade da água subterrânea para irrigação na bacia hidrográfica do Rio Piauí, em Sergipe. *Revista Bras. de Eng. Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.14, n.8, p.804–811, 2010.

ANVISA. Agência Nacional de Vigilância Sanitária. *Resolução nº 274, de 22 de Setembro de 2005*. Disponível em: <http://www.notadez.com.br/content/normas.asp>. Acesso em: 06 de out. de 2015.

AZEVEDO, P. V.; VAREJÃO-SILVA, M. A.; VARGAS, G. A. O. Zoneamento do potencial de energia solar do Nordeste. Campina Grande, UFPB/NMA, 1981. 80p.

BRASIL. Ministério da Saúde. *Portaria nº 2.914 de 12 de dezembro de 2011*. Dispõe sobre procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Diário Oficial da União, Poder Executivo, Brasília/DF, 14 dez. 2011.

BOUKAR, M.; & HARMIM, A. Effect of climate condition on the performance of a simple basin solar still: a comparative study. *Desalination*, v.137. Adrar, Algérie, 2001. p. 15-22.

BUROS, O. K.; Robert Bruce COX, R. B.; Isadora NUSBAUM, I.; EL-NASHAR, All M.; BAKISH, R. *The USAID desalination manual*. Produced by CH2M HILL International for the U.S Agency Development, Washington, D.C, 1980.

BELÚCIO, L. P.; SILVA, A. P. N.; SOUZA, L. R.; MOURA, G. B. A. Radiação solar global estimada a partir da insolação para Macapá (AP). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v.29, n.4, 494 - 504, 2014.

COSTA, A. B. *Tecnologia Social e Políticas Públicas*. São Paulo: Instituto Pólis; Brasília: Fundação Banco do Brasil, 2013. 284 p.

COSTA, D.M. A; MELO, H. N.S.; FERREIRA, S. R. Influência da salinidade na taxa de evaporação da água. *Revista HOLOS*, Ano 22, 2006.

CPRM - Serviço Geológico do Brasil. *Projeto cadastro de fontes de abastecimento por água subterrânea. Diagnóstico do município de Seridó-PB*. Org. [por] João de Castro Mascarenhas, Breno Augusto Beltrão, Luiz Carlos de Souza Junior, Franklin de Moraes, Vanildo Almeida Mendes, Jorge Luiz Fortunato de Miranda. Recife: CPRM/PRODEEM, 2005.

CRAVO, J. G.; & CARDOSO, H. E. *Projeto de dessalinização de solos e água*. Nota Técnica nº1. Brasília/DF: SRH/MMA, 1996.

DEPONTI, C.M. A importância da interdisciplinaridade para compreensão das questões ambientais. *Revista de Desenvolvimento Regional – REDES*, Santa Cruz do Sul, v. 18, n. 3, p. 240 - 256, set/dez 2013.

DIEHL, C.A.; SOUZA, M.A. & DOMINGOS, L.E.C. O uso da estatística descritiva na pesquisa em custos: análise do XIV Congresso Brasileiro de Custos. *Revista ConTexto*, Porto Alegre, v. 7, n. 12, 2º semestre 2007.

EMBRAPA, Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias. Mapa de solos do Nordeste. Disponível em: <http://www.uep.cnps.embrapa.br/solos/>. Acessado em 20 de janeiro de 2017.

FERNANDES A. B. B.; SILVEIRA F. R.; CASTRO A. M. M. G.; LIMA E.S.; NERY V. L. H. O processo de dessalinização da água para consumo. *Revista Atas de Saúde Ambiental – ASA*, Vol.3 N.2, p. 38-43, Ago. 2015. ISSN: 2357-7614

FERREIRA, D.F. Sisvar: um programa para análises e ensino estatístico. *Revista Symposium*, Lavras, v. 3, p. 317-345, 2008.

FUNASA - Fundação Nacional de Saúde. *Manual de Cloração de Água em Pequenas Comunidades Utilizando o Clorador Simplificado*. Brasília, 2014.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2010*. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br>>. Acesso em: 06 de outubro de 2015.

INÁCIO, A. R.; DINIZ, A. F.; CANDIA, M. M.; OLIVEIRA, T. M.; CHAGAS, R. K. Dimensionamento de um sistema de captação de água pluvial para uso doméstico em São Bernardo do Campo – SP. *Revista de Saúde, Meio Ambiente e Sustentabilidade*. Vol. 8, nº 2, 2013.

JOVENTINO, E.S.; SILVA, S.F.; ROGÉRIO, R.F.; FREITAS, G.L.; XIMENES, L.B.; MOURA, E.R.F. Comportamento da diarreia infantil antes e após consumo de água pluvial em município do semiárido brasileiro. *Revista Texto & Contexto Enfermagem*, Florianópolis, 2010 Out-Dez; 19(4): p. 691-9.

KHAWAJI, A. D., KUTUBKHANAH, I. K., WIE, J. M.. Advances in Seawater Desalination technologies. *Revista Desalination* 221. p 47-69. 2008.

LIMA, E. R. A.; MELO, B. M.; BAPTISTA, L. T.; PAREDES, M. L. L. Specification effects on the interfacial tension of water/hydrocarbon systems. *Brazilian Journal of Chemical Engineering*, Vol. 30, No. 01, pp. 55 - 62, January - March, 2013.

LOPES, J. T. *Dimensionamento e análise térmica de um dessalinizador solar híbrido*. 2004. 109f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica), Universidade Estadual de Campinas, 2004.

MARINHO, F. J. L.; ROCHA, E. N.; SOUTO, E. A.; CRUZ, M. P.; TAVARES, A. C.; SANTOS, S. A.; MARCOVICZ, F. Destilador solar destinado a fornecer água potável para as famílias de agricultores de base familiar. *Revista Brasileira de Agroecologia*, 7(3): 53-60, 2012.

MARINHO, F. J. L.; UCHOA, T. R.; LEITE, S. F.; AGUIAR, R.L.; NASCIMENTO, A. S. Dessalinizador Solar associado a coletor de águas de chuvas para fornecer água potável. *Revista Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, v.11, n.20, 2015, p. 68-82.

MARQUEZI, M.C; GALLO, C.R; DIAS, C.T.S. Comparação entre métodos para a análise de coliformes totais e *E. coli* em amostras de água. *Revista Instituto Adolfo Lutz*, São Paulo, 2010; 69(3): 291-6.

MARTIN, Denise. Refletindo a Formação Interdisciplinar na Pós-graduação. *Revista Saúde Soc.*, São Paulo, v.20, n.1, p.57-65, 2011.

MATHIOULAKIS E., B. V. (2007). Desalination by using alternative energy:Review and state-of-the-art. *Revista Desalination*, n° 203, 2007.

MATOS, J.F.; MOTA, S.; AVELINO, F.F.; PÁDUA, V.L.; BRAGA, E.A.S.; MALVEIRA, J.Q. Solução oxidante gerada a partir da eletrólise de rejeitos de dessalinizadores de água. *Revista de Engenharia Ambiental*, Vol.11 - Nº 2 - abr/jun., 2006, p. 143-152.

MELLO, A.S.; DOSMINGOS, B. S.M.; INCROCCI, L. O processo de construção de uma pesquisa interdisciplinar: simetria e conceitos nômades. *Rev. Bras. de Gestão e Desenvolvimento Regional*, v. 10, n. 3 (número especial), p. 27-43, set/2014.

MENDES, L. BONILHA, C. M. ICHIKAWA, E. Y. SACHUK, M. I. Tecnologias Sociais, Biopolíticas e Biopoder: Reflexões Críticas. *Cadernos EBAPE.BR*, v. 13, nº 4, Artigo 2, Rio de Janeiro, Out./Dez. 2015.

MENEZES, U. G.; WINCK, A. G.; DIAS, V. V. 2010. A inovação tecnológica sustentável e a geração de valor sustentável na indústria química. **Revista eletrônica de Gestão de Negócios**, v. 6, n. 3, jul.-set./2010, p. 114-139.

MOHALLEM, D.F.; TAVARES, M.; SILVA, P.L.; GUIMARÃES, E.C.; FREITAS, R.F. Evaluation of the coefficient of variation as a precision measure in experiments with broilers. *Revista Arq. Bras. Med. Vet. Zootecnia*, v.60, n.2, p.449-453, 2008.

MOOJEN, T. M. B.; CAVALCANTE, R. B. L.; MENDES, C. A. B. Avaliação da radiação solar com base em dados de nebulosidade. *Revista Geografia (Londrina)*, v. 21, n. 3.p.41-55, set/dez. 2012.

MOURA, M. R. S. A. L.; MELLO, M. J. G.; CALÁBRIA, W. B.; GERMANO, E. M.; Ruben Rolando Schindler MAGGI, R. R. S.; CORREIA, J. B. 2012. Frequência de *Escherichia coli* e sua sensibilidade aos antimicrobianos em menores de cinco anos hospitalizados por diarreia aguda. *Rev. Bras. Saúde Materno Infantil*, Recife, 12 (2): 173-182 abr. / jun., 2012.

OLIVEIRA, A.B.; FILHO, E.G.; ENÉAS-FILHO, J. O problema da salinidade na agricultura e as adaptações das plantas ao estresse salino. *Revista Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer - Goiânia, vol.6, N.11; 2010.

OLIVEIRA, A. F. G. Testes estatísticos para comparação de médias. *Revista Eletrônica Nutri time*, v.5, nº 6, p.777-788, Nov./Dez. de 2008.

OLIVEIRA FILHO, G. R. A crise da água na região metropolitana de São Paulo em 2014 e a ineficiente gestão dos recursos hídricos. *CES Revista*, Juiz de Fora, v. 29, n. 1. p. 5 -20, jan./jul. 2015.

OLIVEIRA, G. C. S. NÓBREGA, R. S. ALMEIDA, H. A. Perfil socioambiental e estimativa do potencial para a captação de água da chuva em Catolé de Casinhas-PE. *Revista de Geografia*, UFPE, v. 29, n.º. 1, 2012.

OPAS - Organização Pan-Americana da Saúde. Fascículo água: a desinfecção da água. Brasília: Opas, 1999.

ONU - United Nations Organization. ONU – Brasil. Disponível em: <https://nacoesunidas.org/acao/agua/>. Acessado em 25 de outubro de 2015.

OMS – ORGANIZACIÓN MUNDIAL DE LA SALUD. *Guias para localidade del agua potable*. 3ª ed. Disponível em: http://://www.who.int/water_sanitation_health. Acesso em: 14 de dez. de 2014.

PEREIRA, E.B.; MARTINS, R.F.; ABREU, S.L.; RUTHER, R. *Atlas brasileiro de energia solar*. São José dos Campos: INPE, 2006. 60 p.

PEREIRA, M. L. D.; ARAÚJO JUNIOR, C. F.; SCHIMIGUEL, J. Ensinando a distribuição de probabilidade normal utilizando os recursos do Microsoft Excel. *Revista acadêmica de economia: En Observatorio de la Economía Latino americana*, Número 193, 2014.

PHILIPPI JR. A. SOBRAL, M.C. FERNANDES, V. SAMPAIO, C.A.C. Desenvolvimento sustentável, interdisciplinaridade e Ciências Ambientais. *Revista Brasileira de Pós-Graduação*, Brasília, v. 10, n. 21, p. 509 - 533, outubro de 2013.

POLLI, G. M. & KUHNEN, A. Representações Sociais da Água e Tecnologias Sociais. *Revista Psico*, Porto Alegre, PUCRS, v. 44, n. 1, pp. 103-113, jan./mar. 2013.

RODRIGUES, I. & BARBIERI, J. C. A emergência da tecnologia social: revisitando o movimento da tecnologia apropriada como estratégia de desenvolvimento sustentável. *Revista de Administração Pública*, Rio de Janeiro 42(6):1069-94, nov./dez. 2008.

RUI, B. R.; ANGRIMANI, D. S. R.; CRUZ, L. V.; MACHADO, T. L.; LOPES, H. C. 2011. Principais métodos de desinfecção e desinfectantes utilizados na avicultura: revisão de literatura. *Revista Científica Eletrônica de Medicina Veterinária*, Ano IX, Nº 16, 2011.

SÁ, L.F.; JUCÁ, J.F.T.; MOTTA SOBRINHO, M.A. Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar. *Revista Ambi-Água*, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 204-217, 2012.

SANTOS, J. O.; SANTOS, R. M. S.; GOMES, M. A. D.; DE MIRANDA R. C.; NÓBREGA, I. G. M. A Qualidade da Água para o Consumo Humano: Uma Discussão Necessária. *Revista Brasileira de Gestão Ambiental - RBGA*, Pombal - PB, v. 7, n. 2, p. 19-26, abr./jun. 2013.

SATAKE, F.M; ASSUNÇÃO, A.W.A.; LOPES, L.G.; AMARAL, L.A. Qualidade da água em propriedades rurais situadas na Bacia Hidrográfica do Córrego Rico, Jaboticabal-SP. *Revista ARS Veterinária*, Jaboticabal, SP, v.28, n.1, 048-055, 2012.

SCHOSSLER, T.R.; MACHADO, D.M.; ZUFFO, A.M.; ANDRADE, F.R.; PIAUILINO, A.C. Salinidade: efeitos na fisiologia e na nutrição mineral de plantas. *Revista Enciclopédia Biosfera*, Centro Científico Conhecer, Goiânia, v.8, n.15; p. 1563-1578, 2012.

SILVA, R. M. A. Entre o Combate à Seca e a Convivência com o Semiárido: políticas públicas e transição paradigmática. *Revista Econômica do Nordeste*, Fortaleza, v. 38, nº 3, jul-set. 2007.

SILVA, G.; SOUSA, F. A. S. Estudo da viabilidade da produção de água a partir do resfriamento do ar. *Revista Brasileira de Eng. Agrícola e Ambiental*, vol.13, nº5, Campina Grande, 2009.

SOARES, C. *Tratamento de água unifamiliar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada*. 2004. 110f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental), Florianópolis: UFSC, 2004.

SODIS – *SOLAR WATER DISINFECTION*. Homepage, 2002. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acessado em 10 de janeiro de 2015.

SOUSA, Y. M. M. & FERREIRA, E. G. Tecnologia para tratamento de água salobra: estudo do caso de Santa Inês-PB. *Revista Ambiental*, V.1, n. 1, p. 82 - 92, Jan/Mar, 2015.

TAKEDA, Tatiana de Oliveira. Distribuição desordenada de água pelo Brasil. *Revista Âmbito Jurídico*, Rio Grande, XIII, n. 79, 2010.

THIOLLENT, M. Metodologia da Pesquisa-ação. Ed. 14ª, São Paulo: Editora Cortez, 2005.

VAREJÃO-SILVA, Mário Adelmo. Meteorologia e Climatologia. Versão digital 2, Recife, 2006.

VARGAS, B.C.I.; SILVEIRA, C.E.; COSSA, C.A.; YOSHIDA, M. K. Destilador solar de baixo custo. *Revista Ciências do Ambiente*, On-Line, Vol. 8, Número 1, Março, 2012.

VIANELLO, R. L. & ALVES, A. R. *Meteorologia Básica e Aplicações*. 1. ed. Viçosa: UFV, 2004, p. 58 a 72.

WATERCONE, *Deutschland Germany*. Disponível em: www.watercone.com/product.html; www.flickr.com/photos/vidaoperaria. Acessados em : 06 de outubro de 2015.

ANEXO 1 - Análise físico-química da água *in natura* do poço
LABDES
 Laboratório de Referência em Dessalinização

Laudo N°: 134/2016		Data da Coleta: 07/03/2016
Interessado: Francisco José Loureiro Marinho		Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande - PB		Data da Entrega da Amostra: 07/03/2016
Localidade: Rua Rosil Cavalcante, 885 Novo Bodocongo		Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: Pl antes	Vazão(*): ---	Data da Análise: 07/03/2016

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	5.140,0	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,4	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	0,8	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt-Co/L).	10,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	139,0	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	250,2	---
Dureza Total (CaCO_3), mg/L	1.390,0	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	541,9	200,0
Potássio (K^+), mg/L	7,4	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,03	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO_3)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO_3)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO_3)	514,0	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO_3)	514,0	---
Sulfato (SO_4^{--}), mg/L	178,7	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,3	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	1.370,3	250,0
N-Nitrato (NO_3^-), mg/L	0,0	10,0
N-Nitrito (NO_2^-), mg/L	0,006	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	3,04	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	23,3	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	0,61	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	3.141,0	1.000,0

(*)Vazão Informada.

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água **não** se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.

OBSERVAÇÕES:

- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ 9.19.3.1303118)

Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França

Data: 16/03/2016

ANEXO 2 - Análise físico-química da água do dessalinizador solar


LABDES
 Laboratório de Referência em Dessalinização

Laudo N^o.:133/2016		Data da Coleta: 07/03/2016
Interessado: Francisco José Loureiro Marinho		Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande – PB		Data da Entrega da Amostra: 07/03/2016
Localidade: Rua Rosil Cavalcante, 885 Novo Bodocongo		Tipo de Recipiente: Garrafa plástica
Procedência: P4 depois	Vazão(*): ---	Data da Análise: 07/03/2016

PARÂMETROS	RESULTADOS	VMP (**)
Condutividade Elétrica, $\mu\text{mho/cm}$ a 25 °C	23,1	---
Potencial Hidrogeniônico, pH	7,5	6,0 a 9,5
Turbidez, (uT)	4,9	5,0
Cor, Unidade Hazen (mg Pt–Co/L).	10,0	15,0
Dureza em Cálcio (Ca^{++}), mg/L	0,2	---
Dureza em Magnésio (Mg^{++}), mg/L	2,3	---
Dureza Total (CaCO_3), mg/L	10,0	500,0
Sódio (Na^+), mg/L	2,9	200,0
Potássio (K^+), mg/L	0,2	---
Alumínio (Al^{3+}), mg/L	0,00	0,2
Ferro Total, mg/L	0,02	0,3
Alcalinidade em Hidróxidos, mg/L (CaCO_3)	0,0	---
Alcalinidade em Carbonatos, mg/L (CaCO_3)	0,0	---
Alcalinidade em Bicarbonatos, mg/L (CaCO_3)	3,6	---
Alcalinidade Total, mg/L (CaCO_3)	3,6	---
Sulfato (SO_4^-), mg/L	2,1	250,0
Fósforo Total, mg/L	0,1	---
Cloreto (Cl^-), mg/L	8,5	250,0
N-Nitrato (NO_3^-), mg/L	0,0	10,0
N-Nitrito (NO_2^-), mg/L	0,021	1,0
Amônia (NH_3), mg/L	1,18	1,5
Sílica, mg/L (SiO_2)	0,4	---
ILS (Índice de Saturação de Langelier)	-4,02	≤ 0
STD (Sólidos Totais Dissolvidos a 180°C), mg/L	22,2	1.000,0

(*)Vazão Informada.

(**)VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água se encontra dentro dos padrões de potabilidade no que se refere aos parâmetros físico-químicos.

OBSERVAÇÕES:

- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Eng. Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRC – 9.19.3.1303118)

 Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França  Data: 16/03/2016

ANEXO 3 - Análise microbiológica da água *in natura* do poço

LABDES
Laboratório de Referência em Dessalinização

Laudo N°.:37/2016	Data da Coleta: 07/03/2016
Interessado: Francisco José Loureiro Marinho	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande	Data da Entrega da Amostra: 07/03/2016
Localidade: Rua Rosil Cavalcante – Novo Bodocongó	Tipo de Recipiente: Frasco polietileno autoclavável
Procedência: P2	Data da Análise: 07/03/2016

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS	VMP (*)
Coliformes Totais	2,024x10 ³	0 em 100 mL
<i>Escherichia Coli</i>	2,024x10 ³	0 em 100 mL

(*) VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água **não** se encontra dentro dos padrões de potabilidade, no que se refere aos parâmetros microbiológicos.

Metodologia analisada: Método enzimático de substrato definido - Colilert.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
- 2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ 9.19.3.13031/8)

Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França

Data: 02/03/2016

ANEXO 4 - Análise microbiológica da água do dessalinizador solar



LABDES
Laboratório de Referência em Dessalinização

Laudos N°: 38/2016	Data da Coleta: 07/03/2016
Interessado: Francisco José Loureiro Marinho	Resp. pela Coleta: Interessado
Município: Campina Grande	Data da Entrega da Amostra: 07/03/2016
Localidade: Rua Rosil Cavalcante – Novo Bodocongó	Tipo de Recipiente: Frasco polietileno autoclavável
Procedência: P2	Data da Análise: 07/03/2016

PARÂMETROS MICROBIOLÓGICOS	RESULTADOS	VMP (*)
Coliformes Totais	0,02x10³	0 em 100 mL
<i>Escherichia Coli</i>	0	0 em 100 mL

(*) VMP - Valor Máximo Permissível ou recomendável pela Legislação Brasileira (PORTARIA 2914/11 MS).

LAUDO:

De acordo com os resultados analíticos acima relacionados, esta água **não** se encontra dentro dos padrões de potabilidade, no que se refere aos parâmetros microbiológicos.

Metodologia analisada: Método enzimático de substrato definido - Colilert.

OBSERVAÇÕES:

- 1- Os resultados se referem única e exclusivamente à amostra de água analisada neste laboratório.
- 2- Os dados de identificação da amostra foram fornecidos pelo interessado.

A divulgação dos resultados desta análise, assim como sua utilização para quaisquer fins, é de exclusiva responsabilidade do interessado.

Químico Responsável: Prof. Kepler B. França (CRQ -9.19.3.1303118)

Visto da Coordenação: Prof. Kepler B. França

Data: 02/03/2016

ANEXO 5 - Análise estatística de variância (*teste "F"* e *teste "T"*) dos dados de produção diária obtida pelo dessalinizador sem condensador extra (tratamento 1) e com condensador extra (tratamento 2).

EXPERIMENTO INTEIRAMENTE CASUALIZADO				
QUADRO DE ANÁLISE				
FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	1	120.06225	120.06225	37.4986 **
Resíduo	38	121.66750	3.20178	
Total	39	241.72975		
** significativo ao nível de 1% de probabilidade ($p < .01$)				
* significativo ao nível de 5% de probabilidade ($.01 \leq p < .05$)				
ns não significativo ($p \geq .05$)				
GL	GLR	F-crit	F	p
1	38	7.3533	37.4986	<.0001
MÉDIAS E MEDIDAS				
Médias de tratamento				
	1	8.04500	b	
	2	11.51000	a	
	dms =	1.14621		
MG = 9.77750				CV% = 18.30
		Ponto médio = 10.40000		
As médias seguidas pela mesma letra não diferem estatisticamente entre si. Foi aplicado o Teste de Tukey ao nível de 5% de probabilidade				
Normalidade dos dados (alfa = 5%)				
Teste (Estatística)	Valor	p-valor	Normal	
Shapiro-Wilk (W)	0.97014	0.36355	Sim	

FV = Fonte de variação; *GL* = Graus de liberdade; *SQ* = Soma de quadrado;

QM = Quadrado médio; *F* = Estatística do teste F; *MG* = Média geral;

CV% = Coeficiente de variação em %; *dms* = Diferença mínima significativa