

Destilador solar destinado a fornecer água potável para as famílias de agricultores de base familiar

Solar distillation in order to provide drinking water to the family farmers' family

MARINHO, Francisco José Loureiro¹; ROCHA, Elizabete Nunes da²; SOUTO, Erinaldo Almeida²; CRUZ, Marcelo Pereira²; TAVARES, Adriana Carneiro³; SANTOS, Shirleyde Alves dos⁴; MARCOVICZ, Fabian⁵

1 Prof. Dr. Do Departamento de Agroecologia e Agropecuária, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB - Brasil, chicohare@yahoo.com.br; 2 Bacharéis em Agroecologia pela Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB - Brasil, elisa.nunesrocha@hotmail.com; erinaldoorganico@gmail.com; marceloeco@gmail.com; 3 Doutoranda pela UFRPE, Recife/PE - Brasil, adrianacarneirotavares@yahoo.com.br; 4 Profª Msc. Do Departamento de Agroecologia e Agropecuária, Centro de Ciências Agrárias e Ambientais da Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB - Brasil, shirleyde.santos@gmail.com; 5 Licenciado em Geografia pela Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande/PB - Brasil, famarov@yahoo.com.br

RESUMO: Com o objetivo de fornecer água potável aos agricultores do Semiárido do Nordeste Brasileiro, estudou-se a viabilidade técnica de um destilador solar no processo de dessalinização de água para consumo humano constituído de um coletor solar para aquecimento de água salina. Foram avaliados dois métodos de condução do fluxo de água do coletor solar para o tanque de evaporação. No Método 1 (M_1) o fluxo de água foi constante ($1L\ h^{-1}$), mantendo-se um lâmina de 10mm no interior da caixa de alvenaria. No Método 2 (M_2) o fluxo de água, advindo do coletor solar, ocorria apenas às 15 horas quando o destilador/condensador era abastecido com água quente advinda do coletor solar, e após o abastecimento o fluxo de água era interrompido. Os volumes de água destilada produzida no sistema são suficientes para atender as necessidades de água destinada ao consumo direto de uma família na zona rural. Em termos médios a produção de água destilada por radiação solar incidente no sistema em M_2 foi 46,87% maior que em M_1 .

PALAVRAS-CHAVE: Qualidade de água, salinidade, recursos hídricos.

ABSTRACT: With the goal of providing potable water to farmers in the semiarid northeastern Brazil, we studied the technical feasibility of a solar still in the process of desalination of water for human consumption consisting of a solar collector for heating water saline. Two methods were backed driving the flow of water from the solar collector to the evaporation pan. In Method 1 (M_1) the water flow was constant ($h^{-1} L 1$), maintaining a 10mm slide within the masonry box. In Method 2 (M_2) the flow of water coming from the solar collector, occurred only at 15 hours when the distiller / condenser was filled with hot water that comes from the solar collector, and after supplying the water flow was stopped. The volumes of distilled water produced in the system are sufficient to meet the needs of water for direct consumption of a family in the countryside. On average the production of distilled water for solar radiation incident on the system M_2 was 46.87% higher than in M_1 .

KEY WORDS: Water quality, salinity, water resources.

Introdução

O consumo de água doce no mundo aumenta a um ritmo superior ao do crescimento da população, restando como uma das saídas para satisfazer as necessidades hídricas, a produção de água doce retirando-a do mar ou das águas salobras dos açudes e poços (Cravo e Cardoso, 1996).

Grande parte do semiárido brasileiro caracteriza-se por apresentar limitada e irregular disponibilidade de recursos hídricos, além de elevados níveis de salinidade nos solos e nas águas, principalmente em áreas cristalinas. Em algumas regiões a carência extrema de água de boa qualidade força as populações a consumirem águas com elevados níveis de contaminação biológica e química (sais), com consequentes danos a saúde (Junior et al. 2003).

Com a crescente exploração dos aquíferos, a dessalinização das águas de poços vem sendo praticada em numerosos municípios nordestinos sendo uma solução parcial para atender ao meio rural (BUROS, 1980).

O Governo Federal, através do Programa Água Doce, tem priorizado a instalação, manutenção e recuperação de dessalinizadores baseados na osmose reversa ou tecnologias semelhantes, com vistas a fornecer água de boa qualidade às populações rurais. Esses equipamentos proporcionam substancial melhoria na qualidade da água, porém causam sérios problemas ambientais, devido ao elevado volume de água salina de descarte ou rejeito advinda do processo de dessalinização (cerca de 50% da vazão da água retirada dos mananciais e com salinidade ainda maior, pela concentração dos sais durante o processo de filtração). Além disso, os custos de implantação e principalmente de manutenção desses equipamentos são elevados.

A dessalinização solar é aplicada em diversos países, com boa aceitação familiar, para produção de água potável, tendo como estímulo o aumento do custo da energia elétrica e com o componente adicional de ser uma tecnologia limpa e sustentável

(AKASH et al., 1998; ELKADER, 1998; BOUKAR e HARMIN, 2001).

A viabilização do uso de águas salobras para consumo humano através de métodos alternativos de diminuição dos sais e que adicionalmente proporcionem a eliminação de microrganismos patogênicos, que não causem impacto ambiental e sejam economicamente viáveis para pequenos agricultores é de suma importância.

A dessalinização por destilação solar proporciona água segura para o consumo humano, é de fácil aplicação, fácil transferência aos usuários de comunidades dispersas de agricultores e outros setores sócio-ocupacionais sem água potável. Nesse contexto, o objetivo dessa pesquisa foi estudar a viabilidade técnica de um modelo de destilador solar híbrido constituído de um coletor solar plano para aquecimento de água salina e um "evaporador/condensador" que recebe a água pré-aquecida do coletor solar. As águas destiladas são reconstituídas por águas salinas tratadas através do método SODIS (SODIS, 2005) para obtenção de água com níveis de sólidos totais dissolvidos adequados para o consumo humano, que é no mínimo de 30 mg.L⁻¹ (ANVISA, 2005) e no máximo de 1000mg.L⁻¹ (BRASIL, 2005).

Metodologia

Foi construído um modelo de destilador solar na sede da UTOPIA (Unidade Técnica Objetivando Práticas Inovadoras e Adaptadas), no Município de Campina Grande, PB, cujas coordenadas geográficas são: 7°12'31.32" de latitude Sul, 35°54'46.44" de longitude Oeste do meridiano de Greenwich; temperatura média anual de 23°C, precipitação média anual de 803 mm e evapotranspiração média anual de 1418mm. A população total de Campina Grande é de 383.764 habitantes, densidade demográfica de 597,9 hab.km² e IDH de 0,749 (IBGE 2009).

O destilador solar consiste de uma caixa de PVC de 0,5 m³, pintada em preto fosco, elevada a 100 cm do solo, para abastecimento do sistema. A

Destilador solar destinado a

caixa de entrada é ligada a uma tubulação de 20 canos de polietileno (24,5mm de diâmetro e 6 metros de comprimento) revestida com garrafas PET e caixas Tetra Pak, todas pintadas em preto e interligadas em disposição paralela, em total de 20 unidades para coletar a energia solar para o aquecimento da água bruta (coletor solar). Esse sistema de canos, garrafas PET e caixas Tetra Pak é isolado termicamente do solo através de mantas de isopor.

O coletor solar é interligado a um evaporador/condensador que consiste em uma caixa construída em alvenaria (com revestimento em pedra) com 9m² de área (elevada 40 cm do solo para evitar contaminações biológicas), também pintada em preto fosco e isolada

termicamente por mantas de isopor (Figura 1).

O processo de destilação funciona quando a radiação solar, que passa através da cobertura transparente, aquece a água e o tanque numa temperatura superior à da cobertura. O gradiente da temperatura e o gradiente associado à pressão do vapor dentro do destilador provocam a condensação do vapor de água sobre a superfície da parte interior da cobertura transparente. A película delgada do condensador escorre até as canaletas, direcionando-se em seguida até o depósito da água destilada.

Realizaram-se leituras dos volumes de água destilada (L dia⁻¹) nos períodos noturnos (7hs) e diurnos (17hs). Avaliaram-se a temperatura da água no final das tubulações de aquecimento



Figura 1: Caixa de alvenaria para evaporação/condensação da água após o aquecimento no coletor solar

(coletor solar) e no interior da caixa (saída de água bruta para controlar a entrada de água quente). Os valores de radiação solar (Q) foram estimados através da equação proposta por Prescott (PENMAN, 1948): $Q = Q_0 (a + bn/N)$; onde " Q_0 " representa a irradiação incidente no caso limite da atmosfera ser perfeitamente transparente, " N " representa a insolação máxima possível em hora e os coeficientes " a " e " b " são determinados a partir de séries de observações simultâneas de Q e n (insolação observada); os dados de insolação foram obtidos na Estação Meteorológica da Embrapa Algodão.

Avaliaram-se dois métodos de condução do fluxo de água do coletor solar para o tanque de evaporação. No Método 1 (M_1) o fluxo de água transferidos do coletor solar para o evaporador/condensador era constante (1 L h^{-1}), mantendo-se um lâmina de 10mm no interior da caixa de alvenaria; as águas excedentes (não evaporadas) eram coletadas através de um cano localizado na caixa de alvenaria e direcionada para o recipiente para serem reaproveitadas no sistema. No Método 2 (M_2) o fluxo de água advindos do coletor solar ocorria apenas as 15 horas quando o destilador/condensador era abastecido com água quente advindas do coletor solar, após o abastecimento o fluxo de água era interrompido; nesse caso a lâmina no interior do evaporador/condensador, inicialmente de 10mm, era reduzida gradualmente devido a evaporação até o novo abastecimento.

Os volumes de águas destiladas ($\text{L m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) foram divididos pelos valores de radiação solar incidente no sistema (expressa em $103 \text{ Kcal m}^{-2} \text{ dia}^{-1}$) no dia de cada avaliação, obtendo-se dados em volume de água destilada produzida por radiação solar incidente no sistema ($\text{L } 10^{-3} \text{ Kcal}^{-1}$).

Para se avaliar as produções de água destilada utilizaram-se o delineamento estatístico em blocos ao acaso, com quatro repetições e 10 leituras por

repetição. Os volumes de água destilada produzidas foram agrupados levando-se em consideração os valores de radiação solar no dia da avaliação, como segue: radiação solar entre 248 e 495 $\text{cal cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Bloco I); 496 e 519 $\text{cal cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Bloco II); 520 e 536 $\text{cal cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Bloco III) e 537 e 567 $\text{cal cm}^{-1} \text{ dia}^{-1}$ (Bloco IV). O delineamento estatístico adotado para se avaliar as produções de água destilada por radiação solar foi inteiramente ao acaso, também com quatro repetições e 10 leituras por repetição.

As análises estatísticas foram realizadas aplicando-se a análise de variância simples e o teste "T" (GOMES, 1978).

Resultados e Discussão

Os valores de temperatura ambiente, no final do coletor solar e no interior do destilador observados às 15 horas estão apresentados na Figura 2. Em termos médios a temperatura ambiente foi 29,1°C, no final do coletor foi de 50,2°C e no interior do destilador/condensador foi de 44,4 °C. De acordo Lopes (2004) coletores solares metálicos podem aquecer a água da temperatura ambiente até cerca de 100°C, dependendo da temperatura ambiente e da radiação solar.

Pode-se observar na Figura 3 a radiação solar incidente sobre sistema durante o período experimental. Verifica-se que em termos médios durante o período de avaliação a radiação solar global foi de 508,14 $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$. Segundo Martins et al (2006), os valores de irradiação global incidente em qualquer região do território brasileiro variam entre 365,5 e 576,2 $\text{cal cm}^{-2} \text{ dia}^{-1}$.

Observam-se na Figura 4 os valores de água destilada no período diurno (dados observados às 18h) e noturno (dados observados às 6h) produzida durante o período experimental. Os dados médios foram de 9,27 L dia^{-1} para o período diurno e 6,38 L dia^{-1} para o período noturno. Observa-se que a água destilada produzida no período noturno

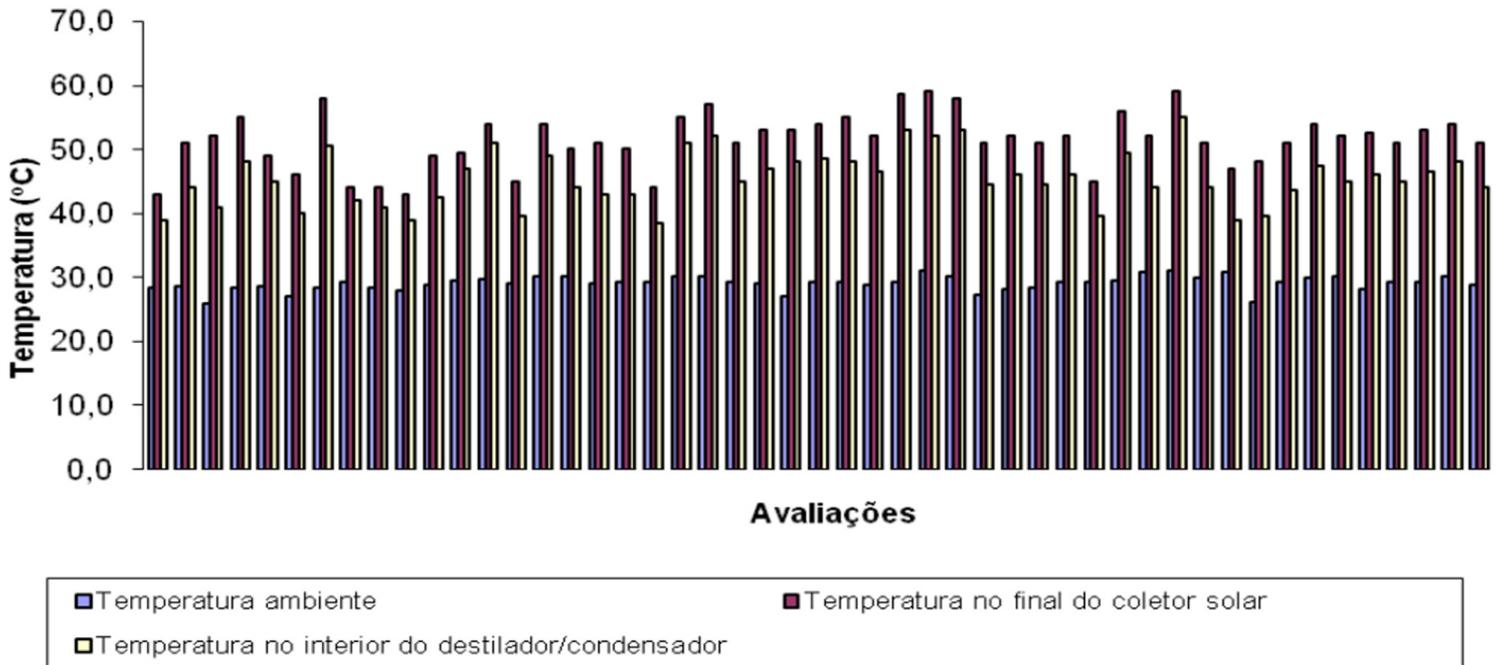


Figura 2: Temperatura ambiente, no final do coletor solar e no interior do destilador solar observada as 15:00 horas durante o período experimental.

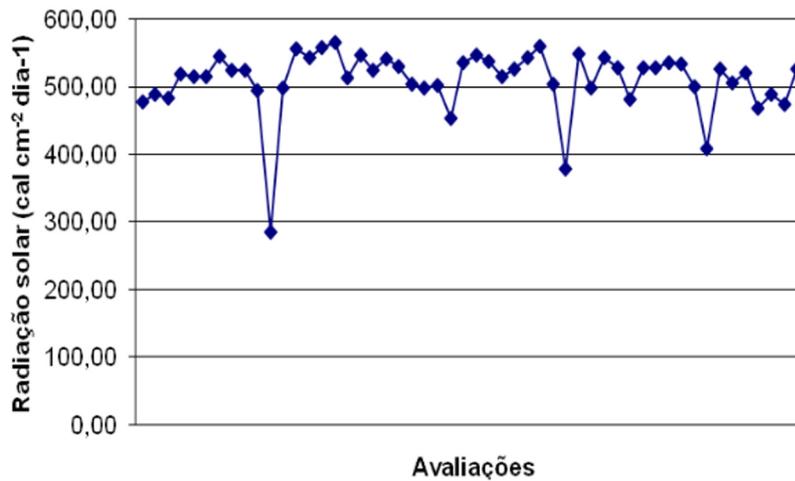


Figura 3: Radiação solar incidente estimada durante o período experimental.

correspondeu a 40,76% do total do dia, Constatando-se que o sistema acumula calor durante o período diurno o qual é transferido para água que evapora e devido ao gradiente térmico condensa durante a noite. Independente do método utilizado os volumes de água destiladas obtidos foram satisfatórios (em média de 15,65 L dia⁻¹ ou 1,74 L dia⁻¹ m⁻²), pois são suficientes para suprir necessidades de água destinada ao consumo direto de uma família nas regiões mais secas do Brasil.

Pode-se verificar através dos estudos de variância apresentados na Tabela 1 que o volume de água destilada produzida no Método 2 (M₂) foi significativamente ($p < 0,05$) superior aos produzidos

no Método 1 (M₁). Verifica-se que em termos médios o M₂ produziu 3,1 L dia⁻¹ de água destilada a mais que o M₁, ou seja, o M₂ produziu em média 21,05% a mais que o M₁.

Verifica-se na Tabela 2 o volume de água destilada produzida por radiação solar incidente no sistema. Também neste caso pode-se constatar que os valores observados em Método 2 (M₂) foram significativamente ($p < 0,01$) superiores aos produzidos no Método 1 (M₁). Observa-se que em termos médios houve um incremento na produção de água destilada por radiação solar incidente no sistema em M₂ de 46,87% em relação a M₁. Pode-se afirmar que mesmo havendo um adicional de energia humana (abrir e fechar diário de registros),

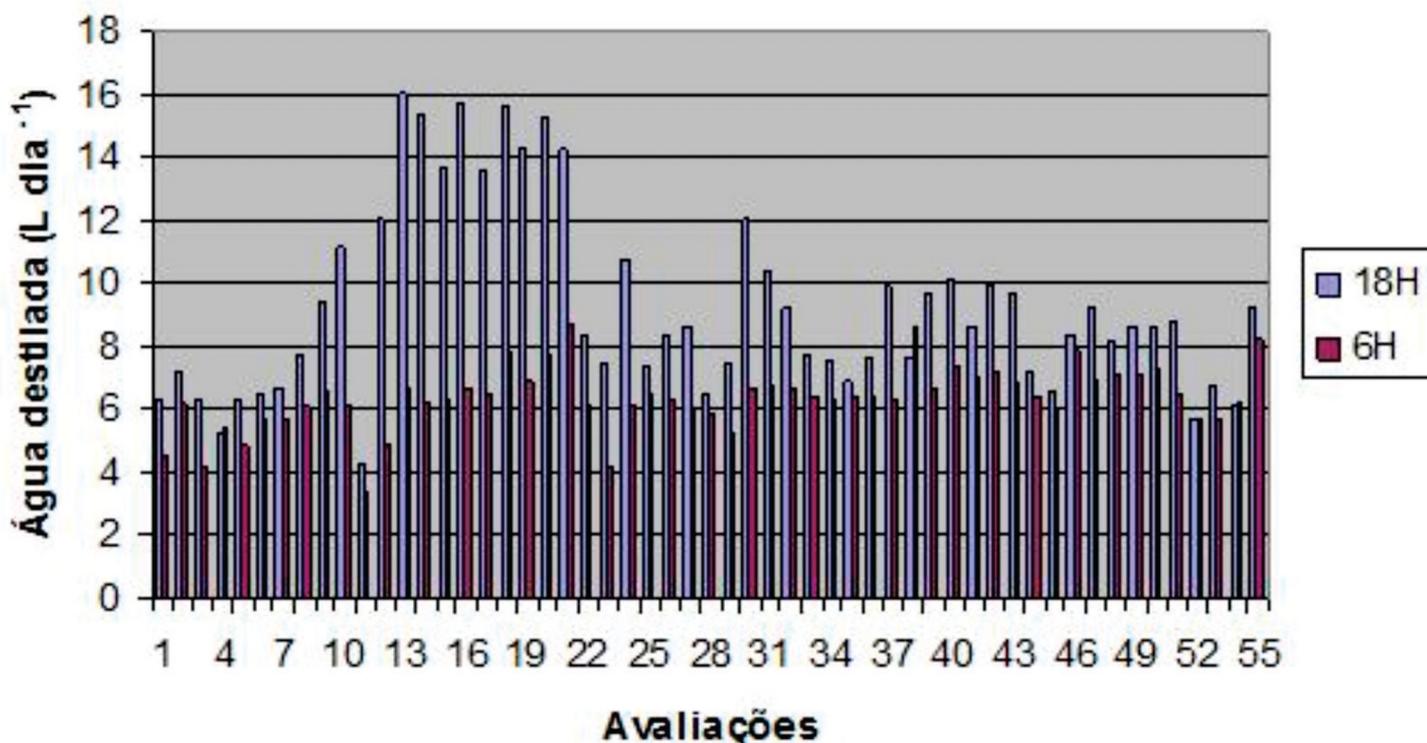


Figura 4: Água destilada (L dia⁻¹) durante o período diurno (18h) e noturno (6h) durante o período experimental.

Destilador solar destinado a

Tabela 1: Resumos de análise variância para produções de água destilada ($L\ 9m^{-2}dia^{-1}$) para os métodos de condução do fluxo de água do coletor solar para o tanque de evaporação.

		S.Q.	Q.M.	F
	GL			
Bloco	3	78.05505	26.01835	28.6414 *
Tratamento	1	19.28205	19.28205	21.2260 *
Resíduo	3	2.72525	0.90842	
CV (%)	5,84			
			Médias dos Métodos	(L dia ⁻¹)
Método				
M ₁			14,75	
M ₂			17,85	

(**) Significativo a 0,01; (*) Significativo a 0,05 de probabilidade; (ns) Não significativo

(M₁) Fluxo constante de água transferidos do coletor solar para o evaporador/condensador ($1Lh^{-1}$), mantendo-se uma lâmina de 10mm no interior da caixa de alvenaria

(M₂) Fluxo de água transferidos do coletor solar para o evaporador/condensador interrompido, com redução gradual da lâmina inicial de 10mm (devido a evaporação) no interior da caixa de alvenaria até novo abastecimento.

Tabela 2: Resumos de análise variância para produções de água destilada ($L\ 10^{-3}\ Kcal^{-1}$) para os métodos de condução do fluxo de água do coletor solar para o tanque de evaporação.

		S.Q.	Q.M.	F
	GL			
Tratamento	1	0,04805	0,04805	147,8462 **
Resíduo	6	0,00195	0,00033	
CV (%)	7,4			
			Médias dos Métodos	(L 10 ⁻³ Kcal ⁻¹)
Método				
M ₁			0,32	
M ₂			0,47	

(**) Significativo a 0,01; (*) Significativo a 0,05 de probabilidade; (ns) Não significativo

(M₁) Fluxo constante de água transferidos do coletor solar para o evaporador/condensador ($1Lh^{-1}$), mantendo-se uma lâmina de 10mm no interior da caixa de alvenaria

(M₂) Fluxo de água transferidos do coletor solar interrompido, com redução gradual da lâmina no interior da caixa de alvenaria até novo abastecimento.

provavelmente o uso do M_2 deve ser o preferido pelo agricultor.

Segundo Soares (2001), um destilador solar pode produzir água para beber sem uso de eletricidade, sem produtos químicos e sem uso de elementos filtrantes. 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 e 7 horas em dias sem nuvens), a destilação e a desinfecção solar podem ser utilizadas para o tratamento da água com microrganismos vivos, sais e até com compostos não-biodegradáveis (SOMMER et al 1997).

Conclusões

O método interrompido de condução do fluxo de água do coletor solar para o tanque de evaporação foi significativamente superior ao método de fluxo contínuo; com esse método pode-se obter 1,98 L dia⁻¹ de água potável por m².

O destilador solar proposto mostrou potencial para resolver problemas em pequena escala de dessalinização de água principalmente no interior do Nordeste brasileiro onde o índice de insolação é alto e o índice pluviométrico baixo.

Os volumes de água destilada produzida no destilador estudado (em média de 15,65 L dia⁻¹) são suficientes para atender às necessidades de água destinada ao consumo direto de uma família na zona rural, considerando uma família de até 7 pessoas e que cada indivíduo deve consumir até 2L dia⁻¹.

Com o uso de destiladores com maior área será possível suprir também outras demandas hídricas das famílias de agricultores de base familiar de regiões onde a demanda de água potável é escassa.

Referências Bibliográficas

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?id=15879>. Acesso em: 13 abr. 2008.

BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 357**, de 17 de março de 2005. Disponível em: www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf. Acesso em: 16 maio 2006.

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

BUROS, O. K et al. **The USAID desalination manual**. Produced by CH2M HILL Intenacional for the U.S Agency Development, Washington, D.C, 1980.

CRAVO, J. G.; CARDOSO, H. E. **Projeto de dessalinização de solos e água**. Nota Técnica nº 1. Brasília/DF: SRH/MMA, 1996.

GOMES, F. P. **Curso de estatística experimental**. 8. Ed. São Paulo: Nobel. 1978. 430 p.

IBGE. (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). (2007). Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>>. Acesso em: 14 de Dezembro de 2009.

LOPES, J. T. Dimensionamento e análise térmica de um dessalinizador solar híbrido. Campinas, 2004 (Dissertação de mestrado) Universidade Estadual de Campinas. 92p.

MARTINS, F. R.; ABREU, S. L. de; RÜTHER, R.. **Atlas brasileiro de energia solar**. São José dos Campos: Inpe, 2006. 60 p.

PENNAM, H. L. Natural Evaporation from open water, Bare Soil e Grass. **Proc. Roy. Soc.**, 11942, p 145 a 193.

SOARES, C e SENS, M.L (2001). Tratamento de Água Doce Contaminada Através da Destilação Solar Natural para Uso Domiciliar. Trabalho de Conclusão de Curso,

Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, SC.

SOMMER, B., et al. Sodis - An Emerging Water Treatment Process, **Journal of Water Supply: Research and Technology - Aqua**, v. 46, n3, p. 127 - 137, 1997.

SODIS - SOLAR WATER DISINFECTION. Homepage. Disponível em: <http://www.sodis.ch>. Acesso em 12 de dezembro de 2005.