

ALEXANDRE PRATA MALUF

DESTILADORES SOLARES NO BRASIL

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Fontes Alternativas de Energia, para a obtenção do título de especialista em Fontes Alternativas de Energia

Orientador
Professor Carlos Alberto Alvarenga

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2005

ALEXANDRE PRATA MALUF

DESTILADORES SOLARES NO BRASIL

Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do curso de Pós-Graduação *Lato Sensu* em Fontes Alternativas de Energia, para a obtenção do título de especialista em Fontes Alternativas de Energia

APROVADA em ___ de _____ de _____

Prof. _____

Prof. _____

Professor Carlos Alberto Alvarenga
UFLA
(Orientador)

LAVRAS

MINAS GERAIS – BRASIL

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	5
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	7
2.1	HISTÓRICO.....	7
2.2	TIPOS DE DESTILAÇÃO	8
2.3	FUNCIONAMENTO DO DESTILADOR	9
2.4	EFICIÊNCIA E PRODUÇÃO TÍPICAS	11
2.5	OUTRAS POSSÍVEIS APLICAÇÕES	12
2.6	PONTOS FORTES	144
2.7	PONTOS FRACOS	15
2.8	CONSTRUÇÃO DE DESTILADORES	17
2.8.1	<i>Dimensões.....</i>	<i>177</i>
2.8.2	<i>Partes e Materiais.....</i>	<i>199</i>
2.9	OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO	25
2.10	NÍVEL ATUAL DE DESENVOLVIMENTO	26
2.10.1	<i>Global.....</i>	<i>266</i>
2.10.2	<i>No Brasil.....</i>	<i>277</i>
2.11	DESAFIOS PARA UMA ACEITAÇÃO EM LARGA ESCALA	28
2.12	POTENCIAL DE USO NO BRASIL.....	30
2.13	ASPECTOS SOCIAIS.....	31
2.14	CÁLCULO DE UM DESTILADOR SOLAR TÍPICO NO BRASIL	32
2.15	ANÁLISE DE CUSTOS.....	33

3	CONCLUSÃO.....	366
4	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	377

1 INTRODUÇÃO

Uma das necessidades básicas para a sobrevivência de um ser humano é a ingestão de água potável, na base de um a dois litros por dia. Entretanto, em muitas partes do planeta a única água disponível é salobra (de um a dez gramas de sais por litro) ou salgada (com mais de 10 gramas de sais por litro). A água do mar é altamente salgada, com uma concentração típica de sais de 35g por litro (dos quais 28g são Cloreto de Sódio, ou sal comum de cozinha).

Cerca de 97% da água existente no planeta estão contidos nos oceanos. Dos 3% restantes, cinco sextos são de água salobra, deixando um restante de apenas 0,5% de água fresca. O resultado disso é a falta de acesso à água potável e de baixo custo para milhões de pessoas, o que leva a uma concentração de população em torno de fontes de água potável já conhecidas, baixas condições sanitárias e baixo padrão de vida. De acordo com dados da Organização Mundial de Saúde (OMS) [1], o Brasil tem cerca de 11% de sua população, ou seja, 20 milhões de pessoas, sem acesso à água potável de qualidade.

Assim, para que essa água (salobra, salgada e mesmo contaminada) se torne adequada ao consumo humano, é necessário remover o conteúdo de sais até se chegar a uma concentração razoável. Por outro lado, a água totalmente destilada também não é própria para o consumo humano a longo prazo, e uma concentração mínima de sais é necessária para uma boa saúde.

A destilação solar utiliza a energia solar diretamente, em um sistema extremamente simples: o processo natural de purificação de água, por meio de evaporação, condensação e precipitação, é reproduzido em pequena escala. Esse

equipamento, chamado de destilador solar¹, consiste basicamente em um tanque raso com um tampo de vidro transparente, formando um volume estanque. A radiação solar atravessa o vidro e aquece a água, aumentando sua taxa de evaporação. O vapor d'água sobe, condensa em contato com o vidro mais frio, e a água destilada escorre até ser capturada por uma canaleta, deixando para trás os sais, outros minerais e a maioria das impurezas, incluindo microorganismos nocivos à saúde.

Apesar de ser uma tecnologia relativamente cara para a produção de água potável, se sua construção objetiva um funcionamento adequado e uma longa vida útil, ela pode produzir água pura a um custo razoável. Para tanto deve ser construída, operada e mantida propriamente, dentro de rígidos padrões. Além disso, a escolha do local à sua implementação é fundamental, pois somente existe uma adequação da tecnologia para locais com grande insolação, baixo nível pluviométrico, pouca eletricidade disponível, abundância de água imprópria ao consumo e pouca demanda (uso familiar), como é o caso de certas regiões do interior do Nordeste brasileiro.

¹ Há outros tipos de destilação que utilizam energia solar no processo, mas por “destilador solar” deverá se entender, nesse trabalho, apenas o tipo “tanque raso”

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 HISTÓRICO

A destilação há muito é considerada uma maneira de transformar a água salgada em água potável, em lugares remotos. Já no século IV a.C. Aristóteles descreveu um método para evaporar água imprópria e então condensá-la para poder ser ingerida. Os alquimistas árabes já usavam a destilação solar para produzir água potável no século XVI. Em 1593, o navegador “Sir” Richard Hawkins já usava a destilação solar para obter água potável da água do mar em suas viagens aos mares do sul.

O primeiro destilador solar moderno foi construído em Las Salinas (Chile) em 1872, por Charles Wilson. Ele consistia de 64 tanques de água (num total de 4.459m²) feitos de madeira pintada de negro com coberturas inclinadas, de vidro. Essa instalação foi usada para suprir 20 mil litros por dia de água potável para animais que trabalhavam nas minas. Após a abertura da região pela chegada da ferrovia, a instalação foi sendo deteriorada até o fim de sua operação em 1912, 40 anos após sua construção. A maioria dos destiladores solares que vieram depois deste seguem basicamente seu desenho.[2]

Durante a década de 1950, o interesse em destilação solar foi reavivado, e praticamente em todos os casos o objetivo era construir grandes destiladores centralizados. Entretanto, após cerca de dez anos, os pesquisadores concluíram que a destilação solar para grandes demandas era demasiadamente custosa se comparada com sistemas baseados em combustíveis fósseis ou eletricidade. Então a pesquisa se voltou para sistemas de destilação de pequeno porte.

Atualmente, com o aumento do preço dos combustíveis fósseis, aliado à demanda ambiental, existe uma possibilidade do crescimento do número de

destiladores solares para instalações de médio e grande porte, principalmente em alguns séculos, com o aparente fim das reservas petrolíferas mundiais.

2.2 TIPOS DE DESTILAÇÃO

Atualmente, os principais processos para destilar a água são:

- Destilação feita com fontes de energia como combustíveis fósseis ou eletricidade, que corresponde a 65% da capacidade instalada mundial.
- Osmose reversa, que corresponde a 30% capacidade instalada.
- Eletrodialise, que corresponde a 5% da capacidade instalada.
- Dessalinização solar, que tem uma participação quase insignificante em relação aos outros processos.

A dessalinização solar pode ser feita mediante três diferentes processos:

- Destilação solar, também conhecida como umidificação solar, que será tratada nesse trabalho. Uma variante do processo utiliza um pedaço de tecido negro, que por propriedades de capilaridade é encharcado de água e então exposto ao sol. Esse processo atinge a maior eficiência (60%) de todos os tipos de destilação mas tem muitos problemas que na prática impedem seu desenvolvimento maior, como a rápida deterioração do tecido e conseqüente necessidade de troca, além da necessidade de constante limpeza. O tipo de destilador de tanque raso, que será tratado aqui, é o mais bem disseminado, devido à simplicidade de construção, manutenção e operação.
- Destilação feita com o auxílio de um coletor solar, que concentra a radiação solar e purifica a água salobra pelo processo de “múltiplo efeito” ou de “múltiplos estágios”. Esse tipo de destilação produz uma alta temperatura na

água, tem um alto custo inicial e sua operação é complicada, além de necessitar de energia elétrica extra para funcionar a bomba de água.

- Separação fotovoltaica, no qual a eletricidade produzida pelo painel solar é usada para o processo de eletrodialise ou osmose reversa.

2.3 FUNCIONAMENTO DO DESTILADOR

A destilação solar, que é feita via destilador solar do tipo tanque raso (*basin type*), é uma tecnologia muito simples que imita um processo natural: a radiação solar aquece a água contida num recipiente raso de concreto revestido por uma cobertura negra, a água se transforma em vapor, o vapor se condensa na cobertura de vidro (que tem uma temperatura mais baixa) e a lâmina de água destilada é então coletada em um duto metálico meia-cana localizado na parte lateral do destilador. A energia solar é aprisionada dentro da câmara, pois o vidro comum é transparente para a radiação solar mas opaco para a radiação térmica emitida pela água (efeito estufa). Quando a água evapora, as impurezas são deixadas para trás na água salobra. O sal necessitaria de uma temperatura de 1400°C para evaporar. Não é necessário, como alguns acreditam, que a água ferva para que ela seja destilada. O processo realizado pelo destilador solar realiza o mesmo trabalho que a fervura, produzindo uma água até mesmo mais pura, pois quando as bolhas da fervura estouram, elas podem contaminar a água destilada com pequenas porções de água contaminada sendo lançadas no vapor.

A cobertura de vidro fica em uma posição inclinada (o valor ideal está entre 10° e 15°) de modo a evitar que as gotas d'água caiam de volta para o reservatório de água salobra. O melhor material para a cobertura é o vidro temperado ou comum, pois os plásticos não são tão *wettable* (as gotas d'água não aderem bem e caem de volta ao reservatório). O destilador deve ter um grande comprimento no sentido leste-oeste, com o objetivo de maximizar o

ganho solar. A largura do destilador deve ficar entre noventa centímetros e dois metros. A profundidade da água deve estar entre 1,5 e vinte centímetros, com o melhor valor estando entre 1,5 e 2,5 cm.

Durante a Segunda guerra mundial esse tipo de destilador foi estudado e desenvolvido para o uso em pequena escala. Esse tipo de tecnologia é mais adequado para o uso em pequena escala, como por exemplo para pequenas comunidades nas quais o consumo se limita a 25 mil litros por dia. Para consumos mais altos a osmose reversa é geralmente mais barata. A produção deste tipo de destilador é baixa, com um valor típico entre três e cinco litros por m² por dia, fazendo dessa tecnologia relativamente cara em termos de investimento por água produzida, ou custo benefício. As melhores áreas para seu uso são aquelas com muito pouca água fresca disponível e pouca chuva, com muita água salobra ou água do mar disponíveis e abundante radiação solar ao longo do ano, como em países áridos próximos ao mar, ilhas ou lugares com água salobra subterrânea, como no Nordeste brasileiro e norte de Minas Gerais.

A operação destes destiladores é muito simples e não requer um alto custo de manutenção ou trabalhadores especializados, apesar de que uma correta manutenção seja fundamental para que eles funcionem adequadamente. O destilador deve ser limpo regularmente para a retirada do sal acumulado no fundo do reservatório pois uma maior salinidade da água diminui a produção. A limpeza regular é também importante para evitar a formação de algas. Uma das principais razões de perdas de calor e conseqüentemente de perda de eficiência são os vazamentos de calor, principalmente em grandes destiladores: assim, o uso de bons selantes e vedadores (como o silicone) é muito importante. O nível da água no tanque deve ser sempre mantido dentro dos limites adequados, o vidro deve ser ficar limpo e sem trincas que podem levar a uma perda extra de calor.

2.4 EFICIÊNCIA E PRODUÇÃO TÍPICAS

As perdas típicas em um destilador solar do tipo tanque raso são causadas pela reflexão da radiação incidente no vidro (cerca de 10% da energia total), absorção no vidro (10%), perdas por radiação da cobertura de vidro para o céu (3,7%), perdas por convecção do vidro para o ambiente (12,2%), perdas por condução da base do reservatório para o solo (16% mas com o uso de um bom isolante térmico pode cair para 5%) e outras perdas menores devido aos vazamentos de calor (9,7%). Esses valores foram tirados de experimentos feitos na Índia. [3] A velocidade do vento (efeito Bernoulli) e as diferenças de temperatura contribuem para os vazamentos de calor. Assim, considerando esses números como referência, de 38% a 43% (a eficiência máxima atingida não passa de 60%) da energia solar recebida pelo destilador é utilizada no processo de transferência de massa da evaporação. Contando com um valor típico de energia solar incidente num plano horizontal como de 4 a 5 kWh/m²/dia, então o valor típico de produção para esses números serão de apenas de 2 a 2,7kg/m²/dia de água.

Produção= $I \cdot \eta / \text{calor latente de evaporação da água}$

Mínima:

$$4 \text{ kWh/m}^2/\text{dia} \cdot 0,38 \cdot 3,6 \text{ MJ/kWh} \cdot 1000 \text{ kJ/MJ} / 2270 \text{ kJ/kg} = 2,0 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ dia})$$

Máxima:

$$5 \text{ kWh/m}^2/\text{dia} \cdot 0,43 \cdot 3,6 \text{ MJ/kWh} \cdot 1000 \text{ kJ/MJ} / 2270 \text{ kJ/kg} = 2,7 \text{ kg}/(\text{m}^2 \text{ dia})$$

2.5 OUTRAS POSSÍVEIS APLICAÇÕES

A energia utilizada para a destilação solar é gratuita, mas o custo de construção de destiladores solares ainda fazem do custo da água destilada bastante alto, ao menos para grandes demandas como a agricultura e tratamento de efluentes domésticos e industriais. Conseqüentemente, o principal uso de destiladores é voltado para a provisão de água potável para uso doméstico e outras pequenas aplicações.

A destilação solar para o uso na agricultura não é muito promissora. Se considerarmos que é necessário um metro de altura de água para irrigar culturas em climas secos e que um destilador solar pode evaporar cerca de dois metros de altura de água por ano, então seria necessário um metro quadrado de área de destilador para irrigar dois metros quadrados de cultura. Deste modo, a água de irrigação valeria mais que os produtos agrícolas em si. Entretanto, para a agricultura em ambientes controlados (estufas) um sistema bem projetado de destiladores para hidroponia pode produzir de 8 a 10 vezes mais produtos por unidade de água consumida, se comparado à cultura em ambiente aberto.

A produção de sal por meio do aproveitamento do sal depositado no fundo do tanque do destilador (para o caso de água do mar) não parece ser economicamente viável. O sal comum é um produto de pouco valor, e o destilador solar não produz mais sal que o método tradicional de secagem ao ar livre. Para um destilador solar familiar que produz água destilada a um custo de 1US\$ por dia, a quantidade de sal equivalente custa apenas meio centavo de um dólar.

Produção de água potável a partir de efluentes é possível de ser feita. Entretanto, se existirem contaminantes como gases mal cheirosos, uma parte desses gases poderá evaporar e condensar juntamente com a água. Apesar de poder ser feita uma filtragem com carbono ativado, tal experiência ainda não foi implementada.

A produção de álcool também pode ser feita via destiladores solares, mas considerando a disponibilidade de combustíveis fósseis a um custo razoável, esse tipo de atividade ainda não é economicamente viável. Com o aumento do preço do petróleo, entretanto, a destilação do álcool por via solar pode vir a ser viável.

A produção de água destilada a partir de corpos d'água contaminados é outra alternativa, pois testes de laboratório mostram que o destilador solar pode eliminar, além de sólidos não voláteis, bactérias.[4]

Outra aplicação está na remoção de substâncias tóxicas como pesticidas. Testes laboratoriais mostram que o tricloroetileno pode ser removido por um fator de cinco mil para um, e nitratos num fator de cinquenta para um. São necessários, entretanto, mais testes para confirmar esses números e também para outras substâncias, pois dependendo da volatilidade do contaminante, a destilação não produz uma água com qualidade satisfatória.

Algas também podem ser eliminadas com o uso de destiladores solares, principalmente naqueles que têm o tanque raso (nos de tanque mais profundo geralmente ocorre o crescimento de algas, devido a uma menor temperatura).

Uma opção interessante é a do uso de um coletor plano acoplado ao destilador. Dessa maneira, além da água quente para o banho, a eficiência da destilação será aumentada devido à maior temperatura da água. [5] Outra possibilidade interessante, no caso da água salobra não estar disponível no local, é a de fazer o bombeamento para a o reservatório de alimentação por meio de um sistema de moto-bomba acoplado a um painel fotoelétrico como fonte de eletricidade. Tal alternativa é interessante pois geralmente a maior necessidade de água ocorre quando há maior insolação.

2.6 PONTOS FORTES

- A purificação da água feita via destilador solar é uma tecnologia muito simples, sem a necessidade de instrumentos complicados nem partes eletrônicas ou mecanicamente móveis.
- Essa tecnologia é a mais adequada econômica e tecnicamente para áreas pobres e desprovidas de rede elétrica, que tenham pouca água fresca disponível assim como pouca chuva, com grandes quantidades de água salobra ou do mar, além de altos índices de radiação solar, como acontece no nordeste brasileiro e em regiões pobres do norte de Minas Gerais.
- A operação destes destiladores é bastante simples e não requer altos custos de manutenção e reparos, nem de mão de obra qualificada.
- Podem ser usados materiais e mão de obra locais, gerando empregos e comprometimento social. A água é produzida no local de consumo.
- O combustível utilizado é gratuito, o processo é silencioso e não poluente e geralmente há pouca necessidade de eletricidade, que pode ocorrer no caso da água ter que ser bombeada, mas não no processo em si.
- Com o destilador adequadamente operado, a água produzida será livre de sais e de contaminação microbológica, melhorando assim os padrões de saúde dos consumidores.
- Se construído com bom isolamento térmico, durante a noite também haverá produção de água destilada devido ao calor armazenado na massa de água.
- Destiladores pequenos e portáteis são de simples fabricação e podem ser usados em situações de desastres como tragédias naturais e guerras, nas quais o suprimento de água potável é um dos primeiros e maiores problemas.
- Nos locais nos quais água do mar está disponível pode diminuir a dependência de água de chuva.

- A destilação solar geralmente utiliza menos energia para purificar a água que os outros métodos de destilação.
- Pode ser usada em culturas específicas e de alto valor como a de verduras hidropônicas, quando uma fonte de água adequada não está disponível.
- A pesca pode se desenvolver em áreas costeiras desérticas nas quais não há água potável para os pescadores.
- A destilação solar permite o estabelecimento em áreas pouco densamente povoadas, podendo aliviar a pressão em áreas urbanas.

2.7 PONTOS FRACOS

- A produção é pequena, com valores típicos girando na faixa de três a cinco litros por metro quadrado por dia, fazendo dessa tecnologia cara em termos de dinheiro investido por litro de água produzido. Quando a produção desejada ficar acima de 25.000 litros por dia outros tipos de sistemas devem ser considerados.
- Devido à baixa produção por área, esse tipo de tecnologia requer uma grande área de instalação para produzir grandes quantidades de água. Em locais nos quais essas áreas não estão disponíveis ou são muito caras a escolha recairá em tecnologias de destilação mais eficientes. Assim, se um destilador solar é construído em um local subdesenvolvido devido ao baixo preço da terra, no momento em que a região se desenvolve economicamente a terra fica mais cara e assim é criada uma necessidade do destilador solar ser substituído por opções que ocupem uma área menor.
- O custo de capital para sua construção é alto, e esse tipo de destilador deve ser muito bem construído para funcionar adequadamente.

- É necessário haver um sistema para manter o nível da água constante, ou dentro dos limites para uma ótima performance, no caso de destiladores maiores.
- A produção de água é dependente das condições meteorológicas.
- Pequenos vazamentos de calor podem diminuir significativamente a produção do destilador.
- Como a água destilada não é própria para o consumo humano a longo prazo, devido a características fisiológicas, pequenas quantidades de sais devem ser adicionadas precisamente à água antes que ela chegue ao usuário. Este processo deve ser feito cuidadosamente pois os limites são bastante estreitos: um mínimo de sais dissolvidos (dependendo da dieta da população e das normas de saúde de cada país) deve estar presente, mas o valor máximo de quinhentos miligramas por litro (desejável, de acordo com os padrões brasileiros) ou de um grama por litro (permitido, de acordo com os padrões brasileiros) [6] não devem ser ultrapassados (apesar de algumas pessoas poderem consumir ao longo de anos água com concentrações de 2,5 a três gramas por litro sem nenhum efeito deletério evidente, considerando que não haja grandes quantidades de substâncias tóxicas como o Bário ou o Boro. Uma solução típica utilizada em pequenas ilhas é a adição de conchas do mar, calcinadas e pulverizadas. Uma outra maneira de fazer a água destilada própria ao consumo é adicionar pequenas quantidades de água salobra, que por sua vez deve ter sua composição muito bem conhecida (acerca da concentração de sais, existência de substância tóxicas etc.) assim como sua eventual contaminação biológica.

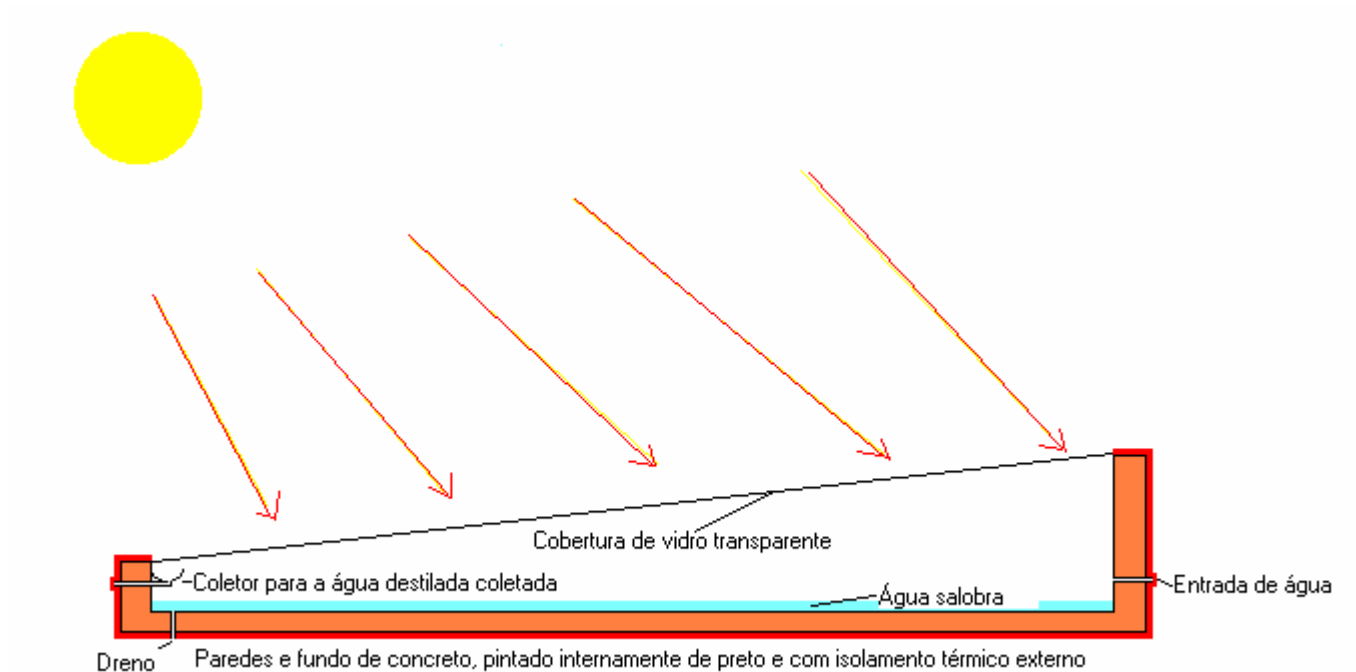


Fig. 1: Destilador solar tipo tanque raso

2.8 CONSTRUÇÃO DE DESTILADORES

2.8.1 Dimensões

Geralmente é preferível que os destiladores sejam construídos em pequenos módulos, pois assim as unidades podem ser adicionadas ou subtraídas, a manutenção e limpeza podem ser feitas com equipamentos mais simples e por mão de obra menos qualificada, além de poder ser feita alternadamente, sem interromper totalmente a produção. Apesar de terem menor capacitância térmica, os destiladores menores produzem mais água por área .[2]

O tamanho mais típico de destiladores para pequenas comunidades é de 0,50m a 2,50m de largura por comprimentos de até cem metros. O sentido de maior comprimento deve ficar na direção leste-oeste, para maximizar o ganho solar. Para o uso residencial, geralmente são usados vidros de 0,65m a 0,90m de

largura por comprimentos na faixa de dois a três metros. A profundidade da água de 1,5cm a 2,5cm é a que apresenta melhor eficiência, de acordo com Al-Hayek [7] e McCracken [3] . Normalmente se argumenta que profundidades maiores reservam uma energia extra em forma de calor, o que aumentaria a produção noturna, quando a temperatura do ar exterior é menor. Na prática, nenhum destilador com tanques mais profundos consegue atingir a eficiência típica de 43% dos destiladores de tanque raso. Quanto mais raso o tanque, melhor o resultado. Mas por outro lado, se o tanque é raso demais, ele se secará facilmente (em um dia de verão o destilador pode evaporar 0,5cm de profundidade de água) e haverá mais depósitos de sal, o que não será bom para seu desempenho. Com uma carga inicial de, por exemplo, 1,5cm, todos os sais presentes permanecem na solução, e podem assim ser lavados nas operações de recarga e limpeza.

A distância entre a cobertura de vidro à superfície da água não deve ser maior que cinco ou sete centímetros, para que o destilador opere com maior eficiência. A medida que a distância entre o vidro e a água aumenta, as perdas térmicas por convecção também aumentam e a eficiência do destilador diminui.

O ângulo de inclinação da cobertura de vidro tem influência na quantidade de radiação solar que entra no destilador. Quanto mais ortogonal à superfície do vidro for esse ângulo de incidência melhor. Enquanto que para ângulos de incidência de 90° cerca de 90% da radiação é transmitida, para ângulos de 20° quase nenhuma radiação direta atravessa o vidro. Mas como as latitudes brasileiras vão de 0° a cerca de 35°, esse problema é minimizado. Não é necessário haver uma inclinação muito grande do vidro para que a água escorra por ele: com o vidro limpo, uma inclinação de apenas 1° é necessária para que isso ocorra. É interessante uma inclinação pequena pois assim se gastará menos vidro, o destilador terá volume e peso menores (custando menos) e o volume de ar entre a água e o vidro será menor, aumentando a eficiência.

Quanto ao tamanho do vidro, o objetivo é fazê-lo tão largo quanto possível na direção norte-sul. Entretanto, usando vidros com largura superior a 90cm surgem alguns problemas: o custo aumenta muito, além das dificuldades e perigos de trabalhar com o vidro. O tamanho ótimo para destiladores pequenos está entre oitenta e noventa centímetros.

2.8.2 Partes e Materiais

2.8.2.1 Geral

Os materiais utilizados para a construção de destiladores solares devem possuir uma série de características. Eles devem ter uma longa vida útil nas condições às quais serão expostos ou suficientemente baratos para serem substituídos quando necessário. Devem ser resistentes às intempéries. Não devem ser tóxicos ou emitir vapores que possam transmitir à água um sabor desagradável quando houver altas temperaturas. Devem ser resistentes à corrosão e à água destilada (que provoca muitas reações químicas). Devem ter um peso e tamanho adequado ao transporte e montagem.

Apesar de se tentar usar materiais locais sempre que possível, de maneira a diminuir o investimento inicial e os custos de reparos, a consequência de um destilador que não tem uma vida útil longa deve ser levada em conta. Uma construção mais cara e bem feita pode levar a economias futuras. Muitos dos destiladores de baixo custo construídos foram abandonados em pouco tempo.

A escolha de materiais que estarão em contato com a água é um sério problema. A maioria dos plásticos liberam substâncias que geram cheiro e gosto na água, por períodos que vão de horas a anos. Se o material em contato com a água não for vidro ou metal (policloreto de vinila (PVC), polietileno, etc.), um teste de fervura deve ser feito por meia hora, o que irá acelerar o processo de adição de sabor à água.

Um destilador solar é composto de cinco partes: (1) tanque, (2) estruturas de suporte, (3) cobertura, (4) canaleta de coleta, e (5) isolamento térmico.

2.8.2.2 O Tanque

O tanque contém a água de alimentação, que será destilada. Desta maneira ele deverá ser à prova d'água e pintado de uma cor escura para que possa absorver melhor a radiação solar e transformá-la em calor. Sua superfície deverá ser lisa para uma melhor limpeza. Cada material tem suas características que devem ser levadas em conta, e o custo e disponibilidade local são fatores importantes.

Na tabela 1 pode se ver uma comparação das características de diversos materiais usados para destiladores solares.

Tipo de material	Durabilidade	Custo	Disponibilidade local	Limpeza	Portabilidade	Toxicidade
Aço esmaltado	alta	Alto	baixa	alta	média	baixa
Borracha EPDM	alta	Alto	baixa	alta	alta	baixa
Borracha butil	alta	Alto	baixa	alta	alta	baixa
Manta asfáltica	alta	Médio	média	média	média	[a]
Cimento amianto	alta	Médio	baixa	média	média	alta
Polietileno	média	Baixo	baixa	média	alta	baixa
Concreto	média	Baixo	alta	média	baixa	baixa
Madeira	baixa	[a]	[a]	média	média	baixa
Fibra de vidro	média	Médio	baixa	alta	média	baixa
[a] não conhecido ou depende de condições locais						

Tab 1: Comparativo de materiais para o tanque

A seleção de um material adequado para a construção do tanque constitui um dos principais problemas na construção dos destiladores solares. A corrosão que ocorre no contato com a água é tão severa que mesmo os tanques feitos de

metais protegidos por anti-corrosivos são danificados. Tanques feitos de cobre são destruídos em poucos anos. Ferro galvanizado e alumínio anodizado duram apenas alguns meses, mesmo para alumínio de construção naval. As reações químicas são aumentadas com o aumento da temperatura no tanque e assim o alumínio naval, que dura 20 anos no mar, a 25°C duraria apenas um ou dois anos a 50°C. A fibra de vidro foi usada em vários experimentos mas se mostrou um material, além de caro, inútil para a confecção de partes de destiladores solares que entram em contato com a água. Resinas de Poliester e Epoxy dão gosto e cheiro à água por meses ou mesmo anos, o que não é solucionado nem pela adição de revestimentos de acrílico. Além disso, com a variação de umidade e temperatura, os destiladores de fibra de vidro desenvolvem trincas ao longo dos anos. Uma boa alternativa é alumínio revestido com borracha de silicone. A durabilidade de tanques feitos com esse material vai de 10 a 15 anos. O aço inoxidável também já foi tentado, mas o resultado foi bastante ruim.[3]

Pela sua simplicidade e baixo custo, o concreto tem sido bastante usado, apesar de existirem muitas experiências ruins devido ao surgimento de trincas em poucos anos de uso. De qualquer maneira, para as condições do interior do Brasil, deve ser o concreto o material mais utilizado.

2.8.2.3 Suportes

Os suportes da cobertura de vidro podem ser feitos de madeira, metal, ou pela própria estrutura de concreto. A madeira tem a vantagem de ser facilmente trabalhada e de não exigir mão de obra muito especializada, mas se deteriora facilmente, principalmente sob condições de alta umidade e temperatura.. No caso de metais eles ficam sujeitos à corrosão, mas por outro lado são mais indicados para se manter uma boa selagem íntegra.. Geralmente os suportes são feitos de alumínio ou aço galvanizado, que irão durar bastante se devidamente protegidos. O silicone de vedação não adere bem ao aço galvanizado mas muito bem ao alumínio. O destilador de concreto tem a vantagem de dispensar o

suporte para o vidro, no caso de apenas uma água para a cobertura, com na figura 1.

2.8.2.4 Cobertura

Depois do tanque, a cobertura é o componente mais crítico do destilador solar. Ela é montada acima do tanque e deve transmitir o máximo de radiação dentro da faixa do espectro solar e manter o calor gerado dentro do destilador. Devido à exposição à radiação ultravioleta, ou o material deve ser resistente à ela ou deve ser de baixo custo para ser trocado periodicamente. Como as temperaturas podem chegar a 95°C, o material deve suportar seu próprio peso nessas temperaturas e não expandir demasiadamente, o que poderia danificar a vedação. Idealmente, um material para a cobertura deve ser bastante forte para resistir a ventos, chuvas, granizo e mesmo pequenos movimentos de terra, além de não permitir a entrada de insetos e pequenos animais. Além do mais deve permitir a condensação do vapor e a consequente formação de uma lâmina de água que escorrerá sob ele, em vez de gotas de água (característica conhecida em inglês como *wettability*). No caso de se formarem gotas de água, a performance do destilador será afetada, pois as gotas funcionam como pequenos espelhos que refletem a radiação solar. Além disso, parte das gotas podem cair de volta ao tanque em vez de serem coletadas.

Outros fatores a serem analisados para a escolha do material de cobertura são custo, peso, vida útil, disponibilidade local, tolerância a altas temperaturas e resistência mecânica, além de altos valores de transmissão para a faixa do espectro solar e baixos valores para o infravermelho (para gerar um bom efeito estufa). O vidro temperado é a melhor escolha em termos de *wettability* e resistência a altas temperaturas. É também de 3 a 5 vezes mais resistente que o vidro comum, além de ser mais seguro para se trabalhar. Sua principal desvantagem é seu alto custo. Comparado com o vidro comum ele aumenta a produção do destilador em cerca de 6%, mas os custos totais aumentam em 15%.

Outra desvantagem é que o vidro não pode ser cortado depois de temperado. De qualquer maneira, é uma ótima opção para um produto de alta qualidade. No caso brasileiro, no qual o custo é um fator fundamental, o vidro comum de três ou quatro milímetros de espessura deverá ser a melhor escolha. O mais delgado apresenta uma performance melhor mas é mais frágil e deve ser evitado para vãos maiores que 60cm. [8]

Alguns tipos de plástico são mais baratos que o vidro comum, mas se deterioram sob altas temperaturas e tem uma ruim *wettability*, além de poderem causar um risco à saúde devido a interações químicas entre seus compostos e a água destilada.

2.8.2.5 Canaleta de Coleta

A canaleta de coleta fica localizada na base da cobertura de vidro e serve para coletar a água condensada e levá-la para o local de armazenamento. Deve ser bastante pequena para não criar sombreamento no tanque. O material mais indicado é o aço inoxidável, apesar de seu alto custo. O alumínio não deve ser corroído na presença de água destilada, mas é aconselhável revesti-lo com uma cobertura de silicone, a fim de protegê-lo melhor. Ferro galvanizado não deverá durar mais que uns poucos anos, e cobre ou latão não devem ser usados pois podem trazer riscos à saúde. O polietileno não é indicado pois ele gera gosto e cheiro na água. O PVC tem sido usado, mas seu uso é restrito devido à grande exposição ao calor e à luz solar.

2.8.2.6 Componentes auxiliares

Os componentes auxiliares são o isolamento térmico, selantes (vedadores), tubos, válvulas, bombas e locais para o armazenamento da água. Em geral, deve-se usar materiais de disponibilidade local, que possam ser reparados ou substituídos facilmente. O isolamento térmico serve para evitar perdas de calor do destilador para o ambiente, aumentando assim a eficiência do

sistema em até 14% para tanques rasos, e geralmente é utilizado por baixo do tanque. Em locais com grande incidências de radiação solar o uso de isolamento térmico não é economicamente compensador, principalmente se o destilador é construído sobre um solo seco e com boa drenagem. O custo do isolamento térmico pode chegar a 16% do custo de construção do destilador. O uso de areia na base serve para diminuir as perdas de calor, pois ela serve como um armazenador, que acumula calor durante o dia e o devolve para o tanque à noite, mantendo o processo de destilação após o pôr do sol.

Os vedadores ou selantes são fundamentais para uma eficiente operação dos destiladores, pois são usados para fixar o vidro ao resto da estrutura, absorver as diferentes expansões dos materiais além de manter o ar quente preso dentro da estrutura, evitando perdas de calor. A vedação deve ser muito bem feita, pois caso contrário poderá haver a entrada de água de chuva e a introdução de micro organismos na água destilada. Além disso, o tipo de material do selante pode trazer um gosto ruim à água. De todas as opções, o silicone moldado *in loco* parece ser a mais eficiente, apesar de poder haver uma certa degradação após um período de cinco a quinze anos de exposição.

Encanamentos são necessários para a alimentação de água no sistema, drenagem e transporte da água destilada para o reservatório final. O aço inoxidável é o material preferido, apesar do PVC ser tolerável (gera um gosto ruim na água durante as primeiras semanas). Latão, ferro galvanizado e cobre podem ser usados no sistema de alimentação, mas não no de saída de água destilada.

O material do reservatório de água destilada deve ser muito bem escolhido, pois a água destilada é muito agressiva quimicamente, querendo dissolver quase toda substância com a qual entra em contato. Uma boa escolha é o aço inoxidável. O ferro galvanizado dura apenas uns poucos anos, e adicionará zinco e ferro à água. O concreto também pode ser utilizado, mas irá se deteriorar

ao longo dos anos. O carbonato de cálcio que é liberado por ele poderá acertar a água destilada mais adequadamente à dieta humana. Em geral são adicionados pedaços de pedra calcária ou de mármore para melhorar a qualidade da água, o que diminui o ataque químico ao reservatório. A capacidade do reservatório deve ser de quatro a cinco vezes a produção diária do destilador.

2.9 OPERAÇÃO E MANUTENÇÃO

A alimentação dos destiladores solares é feita de uma maneira diária, de uma vez, ou antes de uma ou duas horas após o nascer do sol ou após três ou quatro horas do pôr do sol. É suficiente colocar duas vezes o volume da produção diária para diluir adequadamente a solução concentrada restante e evitar depósitos de sais.

Um grande cuidado deve ser tomado para evitar a entrada de insetos e bactérias no reservatório. Deve haver a circulação do ar no reservatório toda vez que a água entra ou sai, e para protegê-lo deve se usar uma malha muito fina, de cerca de 2 fios por milímetro, além de voltar a abertura da ventilação para baixo, para que não haja entrada de água de chuva.

Quando a construção do destilador está terminada, o interior deve ser desinfetado com cloro ou um produto semelhante.

Eventualmente pode acontecer o aparecimento de depósitos minerais no fundo do tanque, que podem diminuir a eficiência do destilador, devido a uma maior reflexão da luz solar, principalmente para depósitos de cor clara. O vidro também deve ser limpo, pois a poeira em excesso pode diminuir a produção do destilador (menor transmissão).

2.10 NÍVEL ATUAL DE DESENVOLVIMENTO

2.10.1 Global

Devido a limitações de custo e área, em sua maioria o uso de destiladores solares é ainda experimental, não tendo atingido um patamar comercialmente importante, apenas com aplicações de pequena escala. É estimado que existam cerca de apenas cem destiladores solares espalhados em cerca de vinte e cinco países, com capacidade instalada de menos de vinte mil litros por dia. Este número não inclui os pequenos destiladores, usados apenas para uso familiar. [9][10]

Em contraste, outros tipos de dessalinizadores apresentam os seguintes números: no fim de 2001, o número total de unidades instaladas ou em construção com capacidade de mais de cem m³ por dia era de 15.223, cuja capacidade instalada total era de mais de 32 milhões de m³ por dia, sendo 19 Mm³/dia para o tratamento de água do mar e 13 Mm³/dia para outras fontes de água. A maioria desta capacidade está situada no Oriente Médio, norte da África e nos Estados Unidos: Arábia Saudita (cinco Mm³/dia), EUA (2,8Mm³/dia), Emirados Árabes Unidos (2,1Mm³/dia), Kuwait (1,3Mm³/dia), Líbia (0,64Mm³/dia), Catar (0,56Mm³/dia), Espanha (0,49Mm³/dia) e Irã (0,42Mm³/dia). Atualmente o maior uso é para o suprimento de água potável, mas o uso para tratar e reutilizar efluentes tem crescido bastante.

O custo para dessalinizar a água (em outros processos fora o destilador solar) varia imensamente entre cada país, mas é sabido que a água do mar é de três a cinco vezes mais cara de ser tratada que a água salobra. O custo de produção para a água salobra, para uma instalação com capacidade entre quatro mil e quarenta mil m³/dia está entre US\$0,25 e US\$0,60 por m³. Para uma produção com base na água do mar, para uma capacidade entre quatro mil e cem mil m³ por dia, o custo de produção fica na faixa de US\$0,75 a US\$3,00 por

m³ (estes valores não incluem os custos de distribuição e margem de lucro). No Brasil, a água tratada pelo sistema público tem um preço final ao consumidor de US\$0,25 a US\$0,60 por m³ e a água mineral custa US\$ 80,00 por m³, se comprada em galões de 20 litros. Assim, a água dessalinizada feita com base na água salobra é mais cara que a água tratada em sistemas convencionais (água de rios ou lagos a qual é clarificada e então clorada) mas a água dessalinizada feita com base na água do mar é ainda assim mais barata que água mineral.

2.10.2 No Brasil

Destiladores solares são quase inexistentes no Brasil.

Há vinte anos houve um acordo entre o Centro Tecnológico da Universidade Federal da Paraíba e o governo do Estado da Paraíba para a construção de um destilador solar no município de Olivedos/PB. [11] O destilador tinha uma área de 504 m² e podia produzir em média 2.520 litros de água potável por dia. Após três anos de uso o destilador foi fechado, pois não fora propriamente mantido pela administração local.

O Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal da Paraíba, que tinha importantes projetos nessa área, não trabalha mais com esse assunto. Os protótipos construídos foram desmontados.

Uma das poucas instituições que desenvolvem projetos nessa área é a Universidade Federal de Campina Grande, também localizada no estado da Paraíba.

Outra instituição que também trabalha nesta área é a Universidade Católica do Paraná, que instalou um destilador solar em uma ilha do estado do Paraná (Vila de Tibicanga, no município de Guaraquecaba) e fez estudos acerca das concentrações de sais a serem atingidas na água destilada. [6] Este destilador produz água potável para uma vila de pescadores. O destilador também funciona como um coletor de água de chuva. A produção de água destilada mais a de água de chuva é em média de cinco litros por m² por dia, o que resulta em uma

provisão de 12 litros por habitante por dia. A área total é de 160 m², em 16 módulos de dez m² cada. Dependendo das condições pluviométricas, o aumento de produção pode tomar valores como 51% a mais (em Israel) ou de 150% a 460% a mais no caso da Costa Rica [12]. Para os casos em que o índice pluviométrico é alto, acima de 400 ou 500mm, provavelmente é mais econômico utilizar apenas a coleta de água de chuva.

O Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco (ITEP) tem estudado os destiladores solares por mais de vinte anos. [13] Em 1983, um protótipo foi construído, e a experiência foi estendida ao município de Petrolina em 1984, onde um destilador de trezentos m², feito de seis módulos de 50m² cada, foi construído. Após essa experiência, duas outras instituições públicas foram providas de água potável por meio de destiladores solares: uma escola e um orfanato. Não há notícias sobre o desempenho desses dois últimos sistemas.

Também no Instituto Tecnológico da Aeronáutica (ITA), em São José dos Campos, um dos locais de pesquisa mais respeitados do país, alguns experimentos com destiladores solares foram feitos na década de 1970, mas então foram abandonados.

2.11 DESAFIOS PARA UMA ACEITAÇÃO EM LARGA ESCALA

- Conscientizar as pessoas de que essa é uma alternativa real para o tratamento de água, por meio de educação básica em escolas e universidades, conferências públicas, artigos em jornais, programas de televisão e demonstrações públicas, assim tentando quebrar a barreira cultural estabelecida por tradições locais.
- Pesquisa e desenvolvimento de novos materiais e novas tecnologias, para que os destiladores solares sejam mais eficientes e acessíveis economicamente, se possível com a utilização de materiais localmente disponíveis.

- Incentivar os definidores de políticas públicas para que dêem suporte a programas oficiais que visem a popularizar essa tecnologia, aumentando os investimentos na indústria e eventualmente promovendo subsídios.
- Fazer associações com outros programas de energia alternativa, meio ambiente e saúde pública, pois dessa maneira será mais fácil estabelecer uma infra-estrutura básica, incluindo organizações não-governamentais (ONGs), universidades, escolas e governos.
- Criar um número de organizações (como ONGs) voltadas exclusivamente para a disseminação do conhecimento e do uso desse tipo de tecnologia.
- Incentivar a pesquisa em institutos e universidades, por meio da provisão de fundos adequados, considerando que essa tecnologia aumenta a qualidade de vida da população assim como melhora as condições ambientais, pois não utiliza produtos químicos, combustíveis fósseis nem eletricidade.
- Ajudar e treinar os membros da comunidade a operar e manter as instalações, pois essa é uma das principais razões de fracasso de experiências anteriores.
- A área de instalação do destilador deve ser cuidadosamente escolhida, pois como exige grandes áreas, uma eventual valorização da terra pode levar ao fechamento da instalação em favor de tecnologias mais compactas. Tal acontecimento seria um entrave à disseminação dessa tecnologia, pois uma experiência negativa cria uma imagem de difícil dissolução.
- Melhorar a performance de destiladores solares, utilizando-se de melhor isolamento térmico, menos vazamentos de calor, melhores técnicas de construção, sistemas de controle melhores e mais simples, além de mecanismos de limpeza mais aperfeiçoados. Tudo isso é necessário para

compensar a necessidade de grandes áreas, que são consequência do fato da fonte de energia ser intermitente e de baixa densidade, resultando em uma baixa produção para grandes demandas.

- Criar incentivos para a produção de materiais como o vidro (um dos mais caros para a construção do destilador) de maneira a fazer o custo de capital mais baixo e assim criar mais interesse em investimentos nessa tecnologia. Entretanto é necessário tomar o cuidado de adaptar os materiais e tecnologias à disponibilidade local em cada parte do país, levando em conta sua grande extensão territorial e suas grandes diferenças em termos de desenvolvimento social e econômico.
- Considerando que as condições físicas necessárias (altas taxas de insolação, baixos níveis de precipitação de chuva, áreas de grandes dimensões e de baixo valor) fazem essa tecnologia apenas economicamente viável para regiões muito específicas, o esforço deve ser concentrado na identificação dessas áreas e na implementação da tecnologia apenas nas mesmas.

2.12 POTENCIAL DE USO NO BRASIL

Parte do Nordeste brasileiro é composto por áreas semidesérticas, com grandes taxas de insolação (alguns locais têm médias de 5,9 a 6,2 kWh/dia), como baixos índices de precipitação (em torno de 350mm por ano) e com um solo cristalino (dos 950 mil Km² da região, 778 mil Km² são de solos cristalinos), o que faz da água no subsolo geralmente salobra. Os anexos A e B contêm os mapas de insolação, pluviometria e caracterização quanto à qualidade das águas disponíveis na região. Pode ser bem notado a coincidência de condições favoráveis à implementação de destiladores solares no Nordeste brasileiro. No estado de Pernambuco, em torno de 70% da água do subsolo e de açudes é salobra ou salgada. Essa região tem uma população grande e pobre (em torno de 17 milhões de habitantes) que poderia se beneficiar da tecnologia de

destilação solar. Até hoje, várias das soluções propostas são paliativas, como a construção de pequenos açudes ou o suprimento de água (não-potável, geralmente) via caminhões-pipa (a um custo de cerca de US\$4,50 por m³). Considerando sua operação extremamente simples, destiladores solares podem ser uma boa alternativa para o suprimento de água potável nessas áreas, para o consumo humano, dessedentação de animais e agricultura em pequena escala.

Em pequenas ilhas oceânicas e áreas costeiras (o país tem 7.367Km de costa atlântica), nas quais não há outra fonte de água fresca nem a precipitação de chuva é abundante, o uso de destiladores solares também é indicado.

Como no Nordeste do país há alguns programas de dessalinização de água salobra via osmose reversa, existe uma preocupação em relação ao impacto negativo de disposição dos efluentes com alta concentração de sais. Estudos acadêmicos acerca dessa matéria foram feitos por pesquisadores da Universidade Federal da Paraíba [11] e o uso de destiladores solares foi considerado uma solução adequada para transformar o efluente em água e sais na forma sólida cristalina, de forma a proteger a natureza de maiores danos.

2.13 ASPECTOS SOCIAIS

Alguns aspectos sociais devem ser observados para que os destiladores solares tenham sucesso em sua implementação. Os destiladores construídos para o uso em pequenas comunidades necessitarão de um nível de cooperação entre os moradores que talvez não seja comum para certas culturas. Se por exemplo não houver uma correta distribuição da água produzida, poderá haver um conflito a partir daí. Por essa razão os destiladores familiares podem ser mais bem sucedidos que aqueles voltados para maiores produções, para o suprimento de água coletivo.

O gosto da água destilada pode provocar reações adversas ao consumidor que não está acostumado ou não foi preparado para tal alteração nesse aspecto de sua vida diária, [14] podendo levar a um desapontamento ou mesmo ao

abandono do uso dessa tecnologia. Outro ponto é o possível surgimento de conflitos acerca da responsabilidade de operação dos destiladores, se de homens ou mulheres, o que também pode levar à rejeição da tecnologia.

Se a destilação solar for vista como uma ameaça ao estilo de vida tradicional, a comunidade pode rejeitar seu uso. Tal restrição pode ser combatida com uma aproximação adequada, que possa mostrar a importância do consumo de água pura para a melhora das condições de saúde.

2.14 CÁLCULO DE UM DESTILADOR SOLAR TÍPICO NO BRASIL

Nome do local e coordenadas geográficas: Morada Nova (5,100°Sul; 38,374Oeste) - Paraíba [15]

Mês	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AG	SET	OUT	NOV	DEZ	MIN	MED	MAX
H (Kwh/M2.DIA), hor.	5,5	5,4	5,4	5,3	5,3	5,0	5,3	6,1	6,1	6,4	6,4	5,9	5,0	5,7	6,4
Incl. como lat (5º)	5,3	5,3	5,4	5,4	5,5	5,2	5,5	6,2	6,2	6,3	6,2	5,7	5,2	5,7	6,3
Média máx.(10º)	5,1	5,2	5,4	5,4	5,6	5,4	5,7	6,3	6,2	6,2	6,0	5,5	5,1	5,7	6,3

Tab 2: Valores de insolação total diária, média para cada mês, Morada Nova/PB

Essa região específica foi escolhida porque está localizada na área mais adequada do país para esse tipo de tecnologia: tem altas taxas de insolação, baixos níveis de precipitação pluviométrica, população espalhada em pequenos grupos e em locais cuja distância à rede pública de eletricidade é grande e baixo nível educacional da população (deste modo criando uma necessidade para tecnologias simples em termos de manutenção e operação). Essa região tem mais de 70% de sua água subterrânea salobra (mais de um grama de sais por litro, sendo assim imprópria para o consumo humano).

Baseando-se nessas informações, a taxa de insolação escolhida foi a da média mínima para o pior mês, ou seja, de $5,14 \text{ kWh/m}^2 \cdot \text{dia} = 18.504.000 \text{ J/m}^2 \cdot \text{dia}$.

A inclinação da cobertura de vidro é aquela que maximiza a média de radiação incidente, ou seja, de 10°, que também é a inclinação mais recomendada para otimizar o mínimo de vidro requerido combinado com a inclinação mínima necessária para evitar que as gotas de água já condensadas não voltem a cair no tanque, fazendo que elas sejam adequadamente coletadas nas calhas laterais.

Esse cálculo visa a prover água potável para uma família de seis pessoas, e como a necessidade diária individual de água para beber é de cerca de dois litros, então a produção deve ser de 12 l/dia.

A performance típica desse tipo de tecnologia apresenta uma eficiência de 38% a 43% (a parte da energia solar destinada à evaporação e transferência de massa), assim o valor mais baixo deve ser adotado para garantir a produção mínima.

$H \cdot A_a \cdot \eta = \text{Levap} \cdot \text{PRODUÇÃO}$; onde H é a irradiação total na superfície horizontal durante um dia, A_a é a área do tanque (projeção horizontal), η é a eficiência e Levap é o calor latente de evaporação da água.

$$\text{PRODUÇÃO} = 12 \text{kg} = 18.504.000 \text{J} \cdot 0,38 \cdot A_a / 2.270.000 \text{J/kg}$$

$$A_a = 3,87 \text{m}^2$$

2.15 ANÁLISE DE CUSTOS

Para o destilador acima foi feito uma cálculo de custos aproximados, com base em preços reais e atuais de materiais e mão de obra para o interior de Minas Gerais. As especificações para a construção do destilador foram as seguintes:

- Destilador assimétrico, de uma água (como na figura 1)
- largura: 90cm
- comprimento: 4,50m
- inclinação do tampo de vidro: 10°

- altura: 25cm na parte mais baixa e 42cm na parte mais alta
- altura da água no tanque: 1,5 cm
- distância da superfície da água à parte mais baixa do vidro: 7,5 cm
- espessura das parede e fundo de concreto armado: 8cm
- taxa de aço: 60kg/m³ de concreto
- concreto estrutural de F_{Ck}=15Mpa, com impermeabilizante e plastificante
- pintura de fundo a base de Epoxi
- fôrmas de laminado de madeira plastificado
- vidro comum de espessura 4mm e largura de 90cm
- vedação feita com silicone
- calha de coleta em aço inoxidável
- tubo de alimentação e descarga em PVC
- tubo de saída em aço inoxidável
- alimentação manual, diária, sem o uso de energia elétrica

A composição de preços para esse destilador (tab.3) resultou em um custo final de construção de R\$832,16. Considerando um custo de manutenção total de 15% do custo total do destilador em valores presentes, chegamos a um custo total em valores atuais de R\$979,01 (US\$408,00). Como a produção média do destilador deve ficar em torno de 12 kg/dia e a vida útil é estimada em vinte anos, então o custo unitário do m³ de água produzida ficará em US\$4,66 (considerando o dólar cotado a R\$2,40). Este valor está dentro daquele tido como referência, de 3 a 8US\$ por m³[16]. Delyannis [17] calculou esse custo, para uma vida útil de 20 anos, uma produção de 4l/m²/dia e uma taxa interna de retorno de 8% em US\$2,90 por m³. Para um sistema mais complexo, com pré tratamento, pós tratamento e sistema auxiliar, além do custo da terra, Al-Hinai [18] chegou a um custo de US\$16,30/m³. O custo da osmose reversa,

por exemplo, fica na faixa de US\$0,50 a US\$2,00 por m³. O caminhão pipa fica em US\$4,50/m³, mas nem sempre a água é potável. O custo da água mineral é de US\$80,00 por m³, considerando a compra de galões de vinte litros.

DESCRIÇÃO DOS SERVIÇOS	UNIDADE	QUANT	UNIT	TOTAL
OBRAS CIVIS				
Acerto e nivelamento de terreno	m2	6,16	R\$1,88	R\$11,55
Lastro de concreto magro	m3	0,2	R\$165,74	R\$33,15
Forma plana de madeirite plana	m2	5,36	R\$34,86	R\$186,83
Concreto estrutural	m3	0,53	R\$131,75	R\$69,50
Ferragem	Kg	31,65	R\$4,77	R\$151,09
Desforma	m2	5,36	R\$3,93	R\$21,06
Aquisição, transporte e instalação de vidro com silicone	m2	4	R\$55,00	R\$220,00
Lixamento, selador e pintura à base de epoxi	m2	2,68	R\$7,38	R\$19,77
TOTAL 1				R\$712,96
HIDRÁULICO				
Tubo PVC rosca 3/4"	m	0,2	R\$3,00	R\$0,60
Tubo em aço schedule 3/4"	m	0,3	R\$22,00	R\$6,60
Registro de gaveta, 3/4"	un	1	R\$22,00	R\$22,00
Calha em aço inox, largura 0,10 m	m2	0,4	R\$150,00	R\$60,00
Talha de barro	un	1	R\$30,00	R\$30,00
TOTAL 2				R\$119,20
TOTAL GERAL DO ORÇAMENTO				R\$832,16
Com custo de manutenção				R\$979,01
Custo unitário (vida útil de 20 anos, produção de 12l/dia)	US\$/m3			US\$ 4,66

Tab. 3: Orçamento de destilador solar familiar.

3 CONCLUSÃO

Os destiladores solares do tipo tanque raso têm uma grande possibilidade de solucionar problemas em pequena escala de tratamento de água no Brasil, contanto que as condições necessárias para a escolha dessa tecnologia se façam presentes, quais sejam, escolha de um local dotado de altos índices de insolação, baixo índice pluviométrico, água salobra abundante e impossibilidade física ou econômica de se utilizar outras fontes energéticas. Apesar de um alto investimento inicial, essa tecnologia é de baixa complexidade, pouca manutenção e grande confiabilidade.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] WHO – UNICEF joint monitoring program 2002. Apresenta informações sobre a disponibilidade de água potável em todos os países. Disponível em: <<http://www.wssinfo.org/>>, em 20 jun. 2005.

[2] DUFFIE, J. A.; BECKMAN, W.A. **Solar Engineering of Thermal Processes** (inglês) 2 ed. USA: Wiley-Interscience, 1991. 919p.

[3] MCCRACKEN, H.; GORDES, J. **Understanding solar stills** (inglês) Arlington/USA: VITA, 1985. 33p.

[4] HANSON, A. et al.; Distillate water quality of a single-basin solar still: laboratory and field studies. **Solar Energy** v.76, p.635-645, 2004

[5] VOROPOULOS, K.; MATHIOULAKIS, E.; BELESSIOTIS, V. A hybrid solar desalination and water heating system **Desalination** v.164, p.189-195, 2004

[6] CENTRO PANAMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y CIENCIAS DEL AMBIENTE (CEPIS) Relata um estudo feito na Universidade Federal do Paraná acerca da concentração de sais na água produzida por destiladores solares comparada com a água de chuva. Disponível em <[http://www.cepis-oms.org/eswww/proyecto/rapidisc/publica/hdt/hdt030.html](http://www.cepis.ops-oms.org/eswww/proyecto/rapidisc/publica/hdt/hdt030.html)> em 10 jan. 2005

[7] AL-HAYEK, I.; BADRAN, O. O. The effect of using different designs of solar stills on water distillation. **Desalination** v.169, p.121-127, 2004

[8] GHONEYEM, A. Software to analyze solar stills and an experimental study on the effects of the cover **Desalination** v.114, p.37-44, 1997

[9] UNIVERSITY OF HONG KONG Apresenta informações acerca do atual estado de desenvolvimento de tecnologias renováveis no mundo. Disponível em: <<http://www.arch.hku.hk/research/BEER/renew.htm#4>>, em 05 jan. 2005

[10] INSTITUTO DE ESTUDOS AVANÇADOS DO CENTRO TÉCNICO AEROESPACIAL (IEAv-CTA) Apresenta um estudo sobre a situação de água doce no planeta , além do desenvolvimento da dessalinização solar no mundo. Disponível em <http://www.ieav.cta.br/hpenu/b/yuji/agua_doce.htm#dessalinizacao> em 10 jan. 2005

[11] BEZERRA, A. M Pesquisador da Universidade Federal da Paraíba que tem diversos trabalhos sobre destiladores solares. Disponível em: <<http://www.les.ufpb.br/>>, em 05 jan. 2005

[12] CHAIBI, M.T. An overview of solar desalination for domestic and agriculture water needs in remote arid areas **Desalination** v.127, p.119-133, 2000

[13] UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO. Apresenta informações sobre o histórico do uso de destiladores solares no Brasil.

Disponível em: <<http://www.di.ufpe.br/~mundi/numero3/ziencia/outrasol.html>>, em 05 jan. 2005

[14] FALAHEE, M.; MACRAE, A.W. Consumer appraisal of drinking water: multidimensional scaling analysis **Food Quality and Preferences**, Great Britain, v.6, p.327-332, 1995

[15] CENTRO DE REFERÊNCIA PARA ENERGIA SOLAR E EÓLICA SÉRGIO DE SALVO BRITO (CRESESB) possui um programa em rede por meio do qual é possível acessar dados de insolação em diversas parte do Brasil. Disponível em <<http://www.cresesb.cepel.br/abertura.htm>> em 01 jun. 2005

[16] KANDPAL, T.C.; GARG, H.P. **Financial evaluation of renewable energy technologies** (inglês) New Delhi: Macmillan India Ltd., 2003. 394 p.

[17] DELYANNIS, E.E.; BELESSIOTIS, V. **Desalination & Water Reuse** v.28, p.1-5, 1995

[18] AL-HINAI, H.; AL-NASSRI, M.S.; JUBRAN, B.A. Effect of climatic, design and operational parameters on the yield of a simple solar still **Energy Conversion and Management**, v.43, p.1639-1650, 2002