

ESTUDO COMPARATIVO ENTRE OS TIPOS DE DESTILADORES SOLARES PARA DESSALINIZAÇÃO DE ÁGUAS SUBTERRÂNEAS: REVISÃO DE LITERATURA

Adriano Oliveira da Silva ¹
Carlos Antônio Pereira de Lima ²

RESUMO

A escassez de água doce é um dos maiores problemas ambientais do mundo. Diante deste quadro, a exploração das águas subterrâneas tem se tornado uma alternativa para o abastecimento humano e animal. Porém, as águas comumente encontradas possuem altos índices de sais dissolvidos, ultrapassando os limites máximos permitidos deste parâmetro na água para o consumo humano. De maneira a combater este problema, a técnica de dessalinização a partir da utilização de energia solar se apresenta como uma alternativa interessante, uma vez que utiliza uma fonte de energia gratuita e abundante, de fácil operação, não gera poluição e é eficaz no tratamento de águas. Este trabalho teve como objetivo comparar os principais tipos de destiladores solares utilizados para tratamento de águas subterrâneas. Através de uma revisão bibliográfica, foi possível identificar vários tipos de destiladores solares, desde os convencionais ou destiladores de simples efeito, até modelos alternativos desenvolvidos a partir destes a fim de aumentar os rendimentos e diminuir os custos. Portanto, os destiladores solares são considerados uma alternativa eficaz de tecnologia limpa para realizar dessalinização de águas salobras e salinas, face à escassez de água potável, principalmente no Semiárido brasileiro. A sua utilização no semiárido causa o mínimo de prejuízo ao meio ambiente e promove o uso da fonte energética mais abundante e gratuita encontrada nesta região, a energia solar.

Palavras-chave: Destiladores solares, Semiárido brasileiro, Alternativas sustentáveis. Energia solar.

INTRODUÇÃO

A água é indiscutivelmente um dos recursos naturais mais importantes visto que é um elemento essencial tanto na composição dos seres vivos, como para suas atividades vitais, além de estar diretamente relacionada com o desenvolvimento econômico de um país. Constitui-se também no solvente universal da maioria das substâncias, modificando-as e modificando-se em função destas (LIBÂNIO, 2010).

A escassez de água doce é um dos maiores problemas ambientais do mundo. Segundo o Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento de Recursos Hídricos

¹Mestrando do Curso de Ciência e Tecnologia Ambiental da Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, adriano_able@hotmail.com;

²Professor orientador: Doutorado, Universidade Estadual da Paraíba - UEPB, caplima@uepb.edu.br. (83) 3322.3222

(2015), a demanda mundial de água deverá aumentar 40% até 2030 e 55% até 2050, ano no qual se estima que mais de 40% da demanda global viverá em áreas de grave estresse hídrico.

No Brasil, a demanda de água aumentou 80% nas últimas duas décadas, e a previsão é de que, até 2030, a retirada deste recurso aumente 24%, segundo dados da Agência Nacional de Águas – ANA (2019). Esse histórico do crescimento do uso da água está diretamente relacionado ao desenvolvimento econômico e ao processo de urbanização do país, porém, o maior consumo de água deve-se à sua utilização na irrigação agrícola.

A oferta de água no Semiárido brasileiro é uma das maiores dificuldades para os governos e para a sociedade no que tange à escassez para a produção de alimentos e para o abastecimento. Essa região apresenta particularidades desfavoráveis quanto à disponibilidade de água, tais como: baixos índices de precipitação pluviométrica, período chuvoso irregular, sequência de anos com índices de precipitação abaixo da média histórica e elevados níveis de salinidade em grande parte dos solos e das águas (MARINHO *et al.*, 2012).

Diante deste quadro, a exploração das águas subterrâneas tem se tornado uma alternativa para o abastecimento humano e animal. Porém, as águas comumente encontradas possuem altos índices de sais dissolvidos, ultrapassando os limites máximos permitidos deste parâmetro na água para o consumo humano, de acordo com o Anexo XX da Portaria de Consolidação Nº 05/2017 do Ministério da Saúde (BRASIL, 2017).

De maneira a combater este problema, a técnica de dessalinização a partir da utilização de energia solar se apresenta como uma alternativa interessante, uma vez que utiliza uma fonte de energia gratuita e abundante, de fácil operação, não gera poluição e é eficaz no tratamento de águas, sendo assim uma solução integrada tanto para a escassez de água potável quanto para os problemas energéticos e ambientais também enfrentados. Além disso, os equipamentos utilizados no processo de dessalinização solar podem ser instalados próximos à residência do consumidor final, sob os cuidados da própria família beneficiada, o que facilita o acesso à água e reduz os riscos de contaminação posterior da água.

Diante do contexto abordado, o presente trabalho objetivou efetuar o levantamento bibliográfico e comparar os principais tipos de destiladores solares utilizados para tratamento de águas subterrâneas.

METODOLOGIA

O presente estudo é baseado em uma compilação de vários trabalhos sobre os tipos de destiladores solares utilizados para tratamento de águas subterrâneas. A pesquisa foi realizada nas principais bases de dados nacionais e internacionais disponíveis na internet (*ScienceDirect, Web of Science, SciELO, PubMed e Scopus*) e contempla trabalhos acadêmicos e livros-texto especializados publicados nos últimos anos.

DESENVOLVIMENTO

A Destilação solar térmica consiste na remoção de sais dissolvidos na água a níveis ou concentrações que possibilitam a sua utilização tanto para o consumo humano como para outras atividades em que é necessária água doce (CLAYTON, 2006).

Essa técnica baseia-se no processo para a evaporação e condensação da água e é semelhante a um ciclo hidrológico natural. Um destilador solar usa a radiação natural livre para purificar a água contaminada em água destilada usando o processo de transferência de energia. Essa radiação solar incidente é considerada o principal parâmetro ambiental que afeta a taxa de produtividade de um sistema de destilação solar (PRAKASH; VELMURUGAN, 2015).

A destilação solar pode ser dividida como direta (passiva) e indireta (ativa). Na forma passiva, o sistema recebe energia proveniente apenas do sol e já no caso da ativa, o sistema recebe, além da radiação solar, uma parcela extra de calor advinda de outra fonte de energia. Sabe-se que, em relação à produtividade, a destilação solar ativa possui vantagens com relação à passiva, porém, do ponto de vista ambiental, a destilação passiva é mais favorável visto que utiliza apenas uma fonte de energia limpa, o sol (TIWARI; TIWARI, 2007).

A destilação solar, embora utilize calor cedido gratuitamente pela natureza, requer amplas áreas de terreno para exposição da água ao sol, razão pela qual se restringe à produção de reduzidos volumes de água doce (ALVES, 2007).

É consenso entre alguns autores que a destilação solar se destaca entre as tecnologias existentes, por ser a que mais se adequa, técnica e economicamente, a regiões como a do Semiárido brasileiro, caracterizada pelo baixo desenvolvimento e dificuldade de acesso a água potável, mesmo com a existência de reservas subterrâneas salobras, devido ao tipo de solo e clima.

A literatura tem apontado um futuro limitado para a destilação solar para aplicações em grande escala. Dentre as principais dificuldades apontadas, está a necessidade de grandes áreas e os custos de instalação. No entanto, em áreas isoladas, onde o combustível é caro, a terra é barata, e a incidência solar é elevada, essa aplicação se torna especialmente promissora. Adicionalmente, sistemas para abastecimento humano em pequena escala são extremamente simples de se operar, e poderiam ter seu uso bastante difundido em partes subdesenvolvidas do mundo (MILLER, 2003).

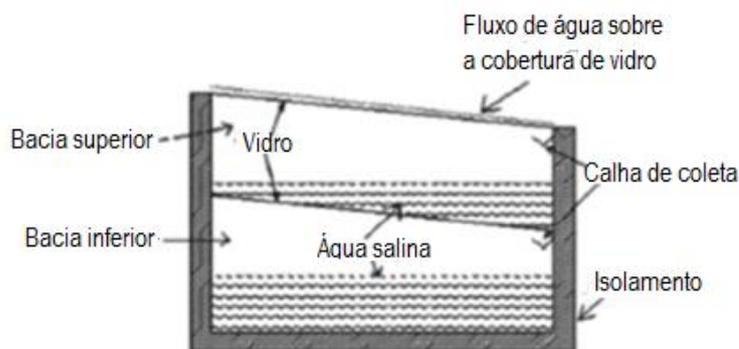
RESULTADOS E DISCUSSÃO

Através da revisão bibliográfica, foi possível identificar vários tipos de destiladores solares, desde os convencionais ou destiladores de simples efeito, até modelos desenvolvidos a partir desses, a fim de aperfeiçoar e aumentar os rendimentos visando à diminuição dos custos.

Desse modo, surgiram os destiladores solares de multiestágio, os do tipo filme capilar, os capilares com tecido ou tipo mecha, destiladores tipo pirâmide e destiladores tipo cascata, dentre outros modelos que se baseiam no aumento da taxa de evaporação de água pelo aquecimento através de energia solar e a condensação da água destilada e sua recuperação.

Os destiladores solares do tipo multiestágio são projetados com o objetivo de utilizar o calor máximo dissipado. Estes tipos de destiladores têm mais de uma camada de cobertura de vidro sobre a superfície da água, assim, o calor latente de condensação é utilizado para aumentar a eficiência térmica da energia solar (Figura 1).

Figura 1 – Princípio do destilador de multiestágio



Fonte: Kaviti; Yadav; Shukla (2016)

Por se tratar de um processo sem grandes complicações tecnológicas, isto é, baseia-se na modelagem de balanço e transmissão de calor e massa, com as características

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

termodinâmicas das substâncias envolvidas, foi amplamente utilizada, representando no início desta década cerca de 26% da dessalinização mundial (GHAFFOUR *et al.*, 2013).

Outro destilador solar utilizado é o do tipo filme capilar, que apresenta semelhança ao do tipo multiestágio, no sentido de que há aproveitamento do calor latente. Sua principal característica é a utilização da propriedade de capilaridade da água. Possuem uma espécie de tecido na superfície de evaporação que ficam ensopados com água a ser destilada. A água flui lentamente através do tecido poroso (mecha) que absorve a radiação. A utilização deste tecido na energia solar aumenta o tempo de permanência da água na placa absorvedora, devido ao fato da água salgada atingir rapidamente uma temperatura mais elevada e, conseqüentemente, aumentar a taxa de evaporação (Figura 2).

Figura 2 – Princípio do destilador tipo filme capilar

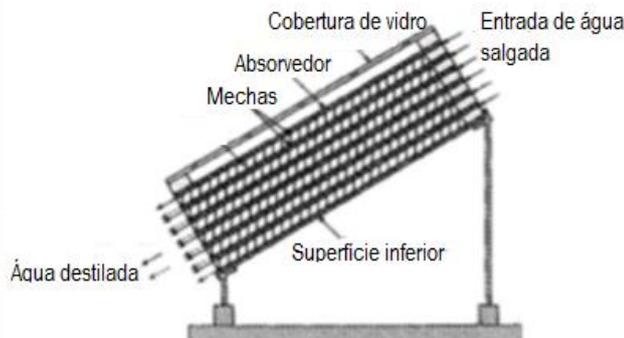


Fonte: Carvalho (2015)

A vantagem do destilador tipo capilar é manter a salmoura o mais superficial possível, evitando os pontos secos. A eficácia depende de parâmetros como absorvidade, capilaridade e condutividade térmica do tecido (KAVITI, YADAV, SHUKLA, 2016).

O destilador solar do tipo mecha caracteriza-se por possuir uma espécie de tecido querecobresua superfície de evaporação e fica embebido da água a ser destilada. Neste destilador, uma ou mais chapas metálicas pintadas de preto fosco (face superior) dão sustentação a um tecido poroso, conhecido como mecha, que passa pela parte inferior da chapa. Dois rolos tencionam as extremidades do tecido, o qual é mergulhado em um recipiente contendo água salobra ou salgada. A última chapa é pintada de branco e funciona como um condensador. As laterais e o topo são isolados termicamente, porém a parte inferior é aberta, mantendo-se em contato com o ar ambiente (Figura 3).

Figura 3 – Princípio de destilador tipo mecha

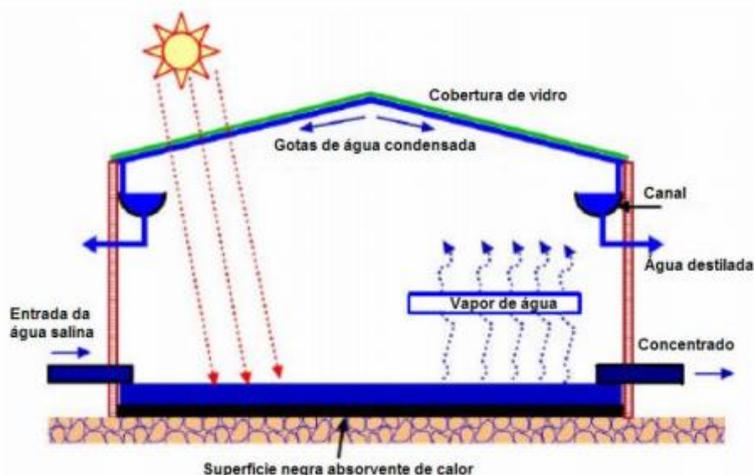


Fonte: Kaviti;Yadav;Shukla (2016)

A vantagem em relação aos outros destiladores é que a mecha por onde flui a água pode ser inclinada, o que resulta em um melhor ângulo com o sol e ocasiona menor reflexão e melhor aproveitamento da radiação. Outra vantagem é que a mecha possibilita uma camada de água muito fina que pode ser aquecida mais rapidamente (KAVITI; YADAV; SHUKLA, 2016).

No destilador solar tipo pirâmide, a destilação é considerada uma tecnologia simples, pois reproduz o ciclo natural da água: a radiação solar aquece a lâmina d'água contida em uma bandeja ou recipiente raso de material condutor revestido por uma superfície negra; com a absorção da radiação e elevação da temperatura, a água se transforma em vapor e condensa ao entrar em contato com as faces da superfície da cobertura de vidro, que apresenta menor temperatura. A lâmina de água destilada é então coletada na parte lateral do destilador (Figura 4). Ao evaporar, ficam contidos na bandeja os sais e as impurezas que haviam na água (CARVALHO, 2015).

Figura 4 – Destilador solar tipo pirâmide



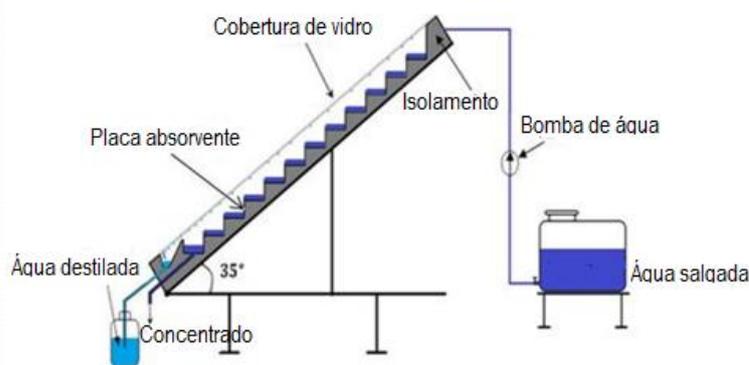
Fonte: Clayton (2006)

Para Vala e Kanabar (2017), o destilador tipo pirâmide solar tem estrutura geométrica mais apropriada que outros destiladores, fazendo deste o mais eficiente, por obter radiação máxima e área de bandeja mais eficaz.

Atualmente, o uso de destiladores solares de bandeja plana é um processo adequado para a produção de água potável por ser um destilador de fácil fabricação, além de ter baixo custo comparado a outros processos. No entanto, este tipo de destilador solar produz um rendimento menor do que outros métodos de dessalinização. Por esta razão, técnicos e pesquisadores buscam aumentar a eficiência e o desempenho desse tipo de dispositivo. Uma das modificações em sua configuração consiste na substituição da bandeja plana por uma bandeja subdividida em patamares. Segundo Bouzaid *et al.* (2019), os destiladores solares escalonados ainda com defletores têm maior produtividade em comparação com os destiladores tipo bandeja, porque a placa absorvedora é feita em várias etapas, oferecendo profundidade mínima de água salgada.

Um dos mais novos tipos de destiladores solares é o tipo cascata (Figura 5). Pesquisas comprovam que a produtividade deste destilador solar é aproximadamente 57% mais elevada em relação à de um destilador solar simples (KABEEL, 2012). Isso ocorre em virtude de temperaturas mais elevadas serem atingidas em seu interior, por haver maior área superficial para absorção e transferência de calor, além de a subdivisão da bandeja em volumes de controle menores acarretar na diminuição do gasto energético para aquecimento da água (KABEEL *et al.*, 2015).

Figura 5 – Destilador solar tipo cascata



Fonte: Montazeri; Banakar; Ghobadian (2017)

A produtividade máxima do destilador tipo cascata é alcançada para uma profundidade de salmoura nas bandejas de 0,5 cm, largura de 12 cm, comprimento da bandeja de 200 cm e distância entre a superfície da água e a base da bandeja superior de 10 cm (KABEEL, 2012).

Conforme estudos de Bouzaid *et al.* (2019), no destilador tipo escalonado com defletores a produtividade pode atingir $1,6\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}$ de $900\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ de intensidade de energia solar, valor interessante de produtividade em comparação com outros resultados de destiladores solares.

A Tabela 1 traz um resumo dos resultados encontrados na literatura, para comparação dos diferentes destiladores solares existentes.

Tabela 1 – Comparação entres tipos diferentes de destiladores solares

Tipo	Autores	Especificações	Resultados Experimentais	Comentários
Destilador solar acoplado a tubos coletores	Tiwari <i>et al.</i> (2007)	Área: 1m^2 Massa de água: 50kg Área tubo coletor: 2m^2 Fluxo: $0,035\text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$	Produção: $4,0\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}/\text{dia}$ Eficiência térmica: 17%	Opção mais viável para aquecimento e destilação simultânea de água
Destilador solar com superfície côncavo	Kabeel (2009)	Superfície da bacia côncavo com quatro lados em forma de pirâmide	Eficiência média de 30% para produtividade horária máxima de $0,5\text{ l}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ após o meio dia	O sistema apresentou um custo de R\$0.1225 por litro destilado
Destilador solar em forma de pirâmide	Vala; Kanabar (2017)	$0,82\text{ m} \times 0,81\text{ m} \times 0,75\text{ m}$ testado com diferentes profundidades de água (2 a 4 cm)	Apresentou produtividade 48% maior do que a convencional	Tem a forma geométrica apropriada e aumenta a produção de água fresca comparado à outros destiladores
Destilador solar tipo cascata com defletores	Bouzaid <i>et al.</i> (2019)	Cobertura de vidro inclinado com ângulo de 30°	Produtividade pode atingir $1,6\text{kg}/\text{m}^2\cdot\text{h}$ de $900\text{ W}\cdot\text{m}^{-2}$ intensidade de energia solar	O desempenho térmico do destilador pode ser melhorado com a nova modificação

Fonte: Autores

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Dentre as tecnologias citadas, cada uma se destaca apresentando sua eficiência no processo de dessalinização de águas subterrâneas. Os rendimentos dos destiladores solares são afetados por fatores meteorológicos e por suas configurações. Como parâmetros meteorológicos não podem ser manipulados, as produtividades dos destiladores podem ser potencializadas a partir de modificações em sua configuração.

De acordo com o levantamento bibliográfico foi possível observar que o destilador tipo cascata apresenta uma maior eficiência de produtividade de água destilada comparada com outros tipos de destiladores solares, como o destilador solar acoplado a tubos coletores.

(83) 3322.3222

contato@conapesc.com.br

www.conapesc.com.br

Pesquisadores buscam aperfeiçoar esse tipo de destilador cascata utilizando defletores de radiação integrados para que possa aumentar sua eficiência, além da utilização de materiais de fácil aquisição e de baixo custo na sua confecção. Já o destilador solar em forma de pirâmide possui uma eficiência satisfatória, na qual vem sendo utilizado como alternativa de adquirir água potável para comunidades isoladas.

Portanto, os dispositivos de destilação solar são considerados uma alternativa eficaz de tecnologia limpa para dessalinização de águas salobras e salinas, face à escassez de água potável, principalmente no Semiárido brasileiro. A utilização de destiladores solares no semiárido causa o mínimo de prejuízo ao meio ambiente e possibilita o uso da fonte energética mais abundante e gratuita encontrada nesta região, a energia solar.

REFERÊNCIAS

Agência Nacional de Águas – ANA. **Manual de usos consuntivos da água no Brasil**. 2019. Disponível em: <<http://www3.ana.gov.br/portal/ANA/noticias/estudo-da-ana-aponta-perspectiva-de-aumento-do-uso-de-agua-no-brasil-ate-2030/manual-de-usos-consuntivos-da-agua-no-brasil.png/view>>. Acesso em: abr. 2019.

ALVES, C. *Tratamento de águas de abastecimento*, 2ª Edição, Publindústria, 301- 320, 2007.

BOUZOID, M.; ANSARI, O.; TAHA-JANAN, M.; MOUHSIN, N.; OUBREK, M. Numerical Analysis of Thermal Performances for a Novel Cascade Solar Desalination Still Design. *Energy Procedia*, 157 1071–1082. 2019.

BRASIL. **Portaria de consolidação de nº de 28 de setembro de 2017 do Ministério da Saúde**. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade.

CARVALHO, E.K.F. **Potabilização de água eutrofizada utilizando destilação solar**. 2015. **84f**. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia Ambiental). Programa de PósGraduação em Ciência e Tecnologia Ambiental, UEPB, Campina Grande, PB. 2015.

CLAYTON, R. Desalination for Water Supply FR/R0013 (35p), *Review of Current Knowledge*, Foundation for Water Research, U.K, Feb. 2006.

GHAFFOUR, N.; MISSIMER, T. M.; AMY, G. L. Technical review and evaluation of the economics of water desalination: Current and future challenges for better water supply sustainability. *Desalination*, v. 309, p.197-207, 2013.

KABEEL, A. E. Performance of solar still with a concave wick evaporation surface. *Energy*, v. 34, p. 1504-1509, 2009.

KABEEL, A. E.; KHALIL, A.; OMARA, Z. M.; YOUNES, M. M. Theoretical and experimental parametric study of modified stepped solar still. *Desalination*. 289:12-20. 2012.

KABEEL, A.E.; OMARA, Z.M.; YOUNES, M.M. Techniques used to improve the performance of the stepped solar still: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 46 v., 178 – 188, 14p. 2015.

KAVITI, A. K.; YADAV, A.; SHUKLA, A. Inclined solar still designs: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 54 429–451. 2016.

LIBÂNIO, M. *Fundamentos de qualidade e tratamento de água*, Campinas, SP, editora átomo, 3ª edição, 2010.

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

MILLER, J.E. Review of Water Resources and Desalination Technologies. *M. Kevin Price, Denver*. 2003.

PRAKASH, P.; VELMURUGAN, V. Parameters influencing the productivity of solar stills- a review. *Renew. Sust. Energ. Rev.* v. 49, p. 585–609, 2015.

TIWARI, A. K., TIWARI, G. N. Thermal Modeling Based on Solar Fraction and Experimental Study of the Annual and Seasonal Performance of a Single Slope Passive Solar Still: The Effect of Water Depths. *Desalination*. v. 207, n. 1-3, p. 184- 204, 2007.

UNITED NATIONS. **Relatório Mundial das Nações Unidas sobre Desenvolvimento dos Recursos Hídricos: Água para um mundo sustentável**. Sumário Executivo. Disponível em: <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/SC/images/WWDR2015ExecutiveSummary_POR_web.pdf>. Acesso em: 26abr. 2019.

VALA, S.; KANABAR, B. Solar Distillation Based on Pyramid Shape Solar Still- A Review. *Journal for Research*, v. 3, n. 3, maio, 2017.