

ESTUDO PRELIMINAR DA APLICAÇÃO DE UM CONTROLE DE VAZÃO EM UM PASTEURIZADOR SOLAR AUTOMÁTICO

Antonio Lucas Dos Santos Carlos¹, Taciano Amaral Sorrentino²

Resumo: O acesso à água potável é um direito humano, e que, portanto, deve ser garantido a todas as pessoas do planeta. Tendo em vista a dificuldade que certas populações ainda encontram em exercer tal direito e as inúmeras mazelas que isto as causa, se fazem necessários métodos e equipamentos capazes de tornar a água potável, operando sob condições de baixo custo e baixa demanda de conhecimento técnico, para que facilite sua implantação mesmo nas comunidades mais remotas. Sendo assim, este trabalho teve como intuito propor um sistema de controle de vazão autônomo, por meio do uso de microcontroladores, para sua possível implementação em um pasteurizador solar de calha parabólica. Para isto, se analisou obras já existentes sobre o tema, de forma a possibilitar a comparação entre os principais métodos alternativos de desinfecção da água, bem como os diferentes tipos de concentrador solar e suas adequações à pasteurização. Também por meio de análise de literatura, foi possível traçar parâmetros microbiológicos que regessem o funcionamento do sistema de maneira a assegurar uma inativação adequada para uma grande gama de patógenos.

Palavras-chave: Inativação; Solar; Automação;

1. INTRODUÇÃO

A água, recurso que cobre a maior parte da superfície do planeta e ao redor do qual várias civilizações se desenvolveram, tem seu uso tão arraigado no cotidiano humano que muitos a veem como algo ilimitado. Porém, a verdade é que, em termos numéricos, de toda a água do planeta apenas 0,5% é doce e se encontra em fontes de extração acessíveis, tornando-a disponível para consumo. Por sua vez, 70% desta fração de água é usada para a produção de alimentos, 20% para fins industriais, restando apenas 10% para o uso doméstico, no qual estão incluídas ações diárias necessárias para o bem-estar humano, relativas a hidratação e higiene [1].

De acordo com o programa conjunto de monitoramento da OMS/UNICEF para o abastecimento de água e saneamento, 2,1 bilhões de pessoas ainda não têm acesso seguro a serviços de água potável. Destas, 159 milhões consomem água diretamente de fontes superficiais, tais como rios e lagos, o que as expõe a grandes riscos de saúde [2]. Tais riscos, oriundos principalmente da disseminação de patógenos por meio de água não tratada, os quais geram doenças como cólera, hepatite A, tifo, entre várias outras, entre as quais se destacam as doenças diarreicas, que são responsáveis anualmente pela morte de aproximadamente 1,5 milhão de pessoas. De maneira geral, estima-se que 58% destas mortes poderiam ser evitadas através de melhorias nas condições de acesso à água potável, saneamento e higiene [3].

No que concerne somente ao acesso à água potável, a Organização Mundial da Saúde relata que em 2012 houveram mais de meio milhão de mortes causadas pelo consumo de água inadequada ao ser humano, tais informações comprovam que a falta de acesso à água potável persiste como um dos grandes problemas para a saúde e bem-estar da sociedade, tanto que assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e saneamento para todos consta como um dos 17 objetivos de desenvolvimento sustentável formulados pela Organização das Nações Unidas [2]. Apesar dos avanços em direção a erradicar este problema, foi estimado que entre 2000 e 2015 mais de cinco milhões de pessoas no Brasil ainda não tinham acesso à água potável sem ter que se deslocar por mais de 30 minutos, condição que é ainda mais evidente em comunidades rurais [4].

Tendo em vista que o consumo de água contaminada fomenta o índice de internações por doenças diarreicas, se fazem necessários métodos de descontaminação eficazes e acessíveis. Entre estes métodos a pasteurização se mostra uma opção viável graças à sua simplicidade, já que pode ser empregado a baixas temperaturas, o que reduz sua demanda energética, sem se fazer necessário a utilização de produtos químicos. Tais temperaturas, para a água, se encontram abaixo de seu ponto de ebulição, isto é, 100°C, podendo ser facilmente atingidas por meio da utilização de um concentrador solar. Mais especificamente, este trabalho busca analisar o potencial do concentrador de calha parabólica, em contraposição aos demais, assim como idealizar um sistema de vazão capaz de melhorar sua eficiência.

2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Nesta seção são expostas as informações coletadas de trabalhos já existentes, os quais mostram as formas de tratamento alternativo para a inativação de patógenos na água e as características de alguns meios de aquecimento de água que se utilizam de concentradores de energia solar, destacando os aspectos construtivos de um concentrador de calha parabólica. São também expostas referências que demonstram o potencial solar do Brasil, bem como as obras que permitiram a seleção de diretrizes para o sistema de inativação térmica.

2.1 Métodos de tratamento

Tendo em vista os dados supracitados que mostram o impacto que a qualidade de água tem sobre o bem-estar dos seres humanos, se torna evidente a necessidade de formas e mecanismos para a melhoria do acesso à água potável.

A existência de métodos já bem estabelecidos de desinfecção de água, tais como o sistema de tratamento convencional usado nas estações de tratamento de água (ETA) não satisfazem por completo as necessidades globais, uma vez que estes demandam grandes custos e conhecimento técnico, tendo sua presença limitada a regiões urbanas e sua proximidade. Tendo em mente que a maioria dos problemas evidenciados acima, ocorrem em regiões não urbanizadas e por muitas vezes sem acesso à água encanada, métodos alternativos se fazem necessários.

Dentre estes métodos alternativos estão presentes a filtração, o SODIS (Solar Water Disinfection) e SOPAS (Solar Pasterurization).

2.1.1 Filtração lenta

A filtração lenta é uma das operações mais antigas usadas no tratamento de água potável e é o método mais comum usado para a filtragem de efluentes, especialmente em aplicações de reutilização de água. Este método faz uso de filtros com baixa taxa de filtração, o que faz com que a eliminação dos patógenos ocorra principalmente por meio de atividades biológicas. Esta abordagem elimina a necessidade de utilização de produtos químicos. A fácil construção e operação de mecanismos que desempenhem este tratamento faz com que ele seja facilmente adotado por comunidades remotas onde a implementação de outros métodos seria mais difícil. [5]

Este tipo de eliminação de microrganismos possui algumas limitações, dentre elas destacam-se a inviabilidade de seu uso para águas de elevada turbidez, a baixa velocidade de filtração que implica em uma baixa produtividade, o que pode impossibilitar sua utilização para comunidades com grande demanda. Além destas, a sua capacidade de eliminação de patógenos também é bastante limitada, no que diz respeito a granulometria do filtro, de maneira que para uma desinfecção mais segura, isto é, eliminação de uma gama mais ampla de patógenos, se faz necessária a utilização de filtros mais refinados, o que aumenta seu custo e remove a simplicidade do processo, removendo assim as características mais vantajosas deste processo para seu uso em comunidades necessitadas [6].

O gráfico exposto na Figura 1 mostra a capacidade de eliminação de cada tipo de filtração, nele a filtragem de interesse e aplicação vantajosa para população necessitada e afastada de centros urbanos é representada como GF, mostrando assim a sua incapacidade de lidar com vírus e algumas bactérias.

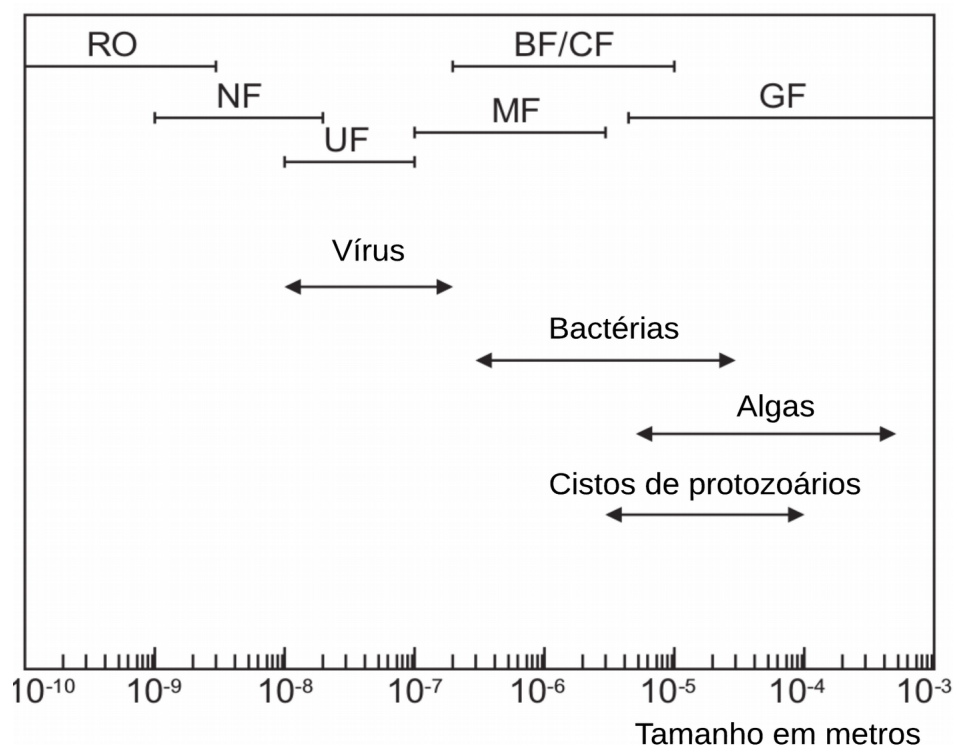


Figura 1: Tamanhos médios dos poros de filtros e o tamanho das partículas microbianas. Os tipos de filtros representados são RO: osmose reversa. NF: nanofiltração. UF: ultrafiltração. MF: microfiltração. BF / CF: bolsa e filtros de cartucho. GF: filtração granular, a qual inclui a filtração lenta. Fonte: Organização Mundial Da Saúde [6] (Adaptado).

2.1.2 SODIS

A utilização do aquecimento em conjunto com certa taxa de radiação solar para desinfectar a água é um princípio utilizado por inúmeros sistemas de tratamento solar, dentre os quais o mais popular é conhecido como SODIS, sigla em inglês desinfecção solar da água. A forma mais comum de aplicação deste método é utilizando garrafas de polietileno tereftalato (PET), material utilizado por conta de sua estabilidade química. As garrafas então, têm metade de sua superfície pintada de preto, para facilitar o fenômeno de aquecimento através de radiação solar. Feito isto, elas devem ser colocadas em locais onde possam receber grandes níveis de luz solar. Para obter uma inativação satisfatória dos microrganismos nocivos, este método exige várias horas de exposição solar, podendo chegar a dias, dependendo de condições climáticas [7].

A praticidade e o baixo custo deste método são motivos para sua grande disseminação, porém, algumas de suas limitações podem torná-lo inaplicável para critérios mais rigorosos, tais como a exigência de inativação de microrganismos mais resistentes, de maneira que, embora seja efetivo contra a maioria das bactérias, este método encontra dificuldades na inativação de vírus, se tornando até inaplicável em alguns casos, como ocorre para os vírus entéricos [8].

2.1.3 SOPAS

A pasteurização é um processo já bastante disseminado e conhecido pela sua utilização na descontaminação de laticínios. Tal processo, consiste em elevar a temperatura de um meio contaminado, sem que este chegue ao seu ponto de ebulição, e mantê-lo a estas temperaturas elevadas por tempo suficiente para a eliminação de todos os patógenos [9]. Dentre as diversas maneiras de se executar este processo, uma cujo uso vem sendo proposta para atender as necessidades de pessoas em condições de escassez de água potável, é o método SOPAS, sigla em inglês para pasteurização solar da água. Este processo é uma aprimoração do método SODIS, que visa aumentar a concentração de raios solares que atingem o meio que se deseja descontaminar, através do uso de refletores. A adição de refletores para concentrar a energia solar, aumenta consideravelmente as temperaturas alcançadas, reduzindo assim o tempo de descontaminação. Tal redução de tempo foi analisada por Paterniani e Silva [10]. A aplicabilidade e vantagens deste processo em comunidades remotas como forma vantajosa de substituir métodos mais simples, porém não tão confiáveis, foi analisada e sugerida por Metcalf e Eddy [9].

2.2 Tipos de concentradores solar para aquecimento de água

2.2.1 Concentradores solares de placa plana

Os coletores solares de placa plana são a tecnologia mais difundida atualmente para sistemas de aquecimento de água residencial através de energia solar. Seu funcionamento parte de um princípio bem simples, o sol aquece uma superfície escura e plana, que coleta a maior quantidade de energia possível, a qual é então transferida para água contida em tubos próximos a essa superfície, este sistema pode contar também com uma cobertura transparente que tem como intuito evitar perdas por convecção e irradiação, ao mesmo tempo que permite a passagem plena de raios solares. Este sistema é estacionário, o que significa que podem absorver tanto irradiação direta como difusa, de maneira que não precisa estar posicionado diretamente para o sol o tempo todo. Consegue operar comumente entre temperaturas de 30 a 80 graus °C [11], o que embora torne possível seu uso na pasteurização, faria com que operasse em condições de tempos mais longos e não podendo aproveitar ao máximo todo período de insolação diária devido ao fato de ser estacionário.

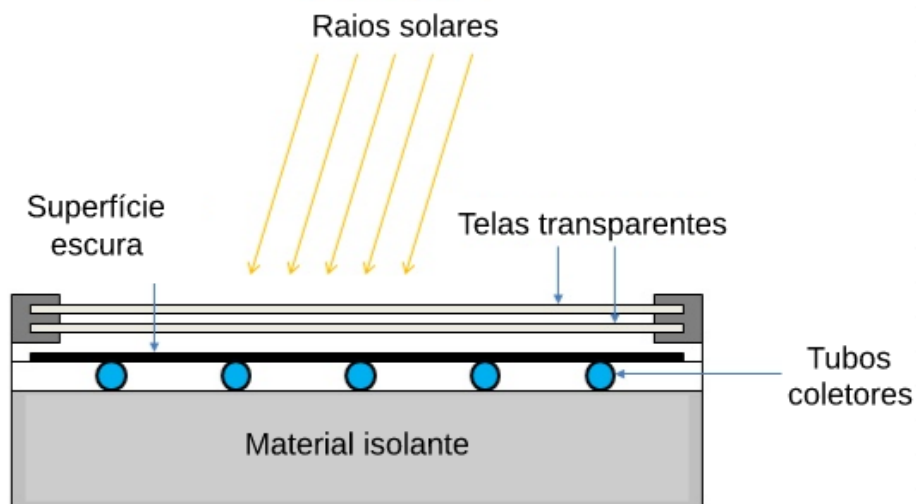


Figura 2: Coletor de placa plana. Fonte: Página na web da Universidade Estadual da Pensilvânia [12] (Adaptado).

2.2.2 Concentradores solares tipo Fresnel

Estes concentradores se dividem em dois tipos, o coletor por lente fresnel e o refletor linear fresnel. Este último é formado por diversos refletores planos espaçados e orientados de maneira que, em conjunto, todos reflitam os raios solares sobre uma mesma linha focal. Já o tipo por lente fresnel, o qual possui aplicações mais comuns no aquecimento de água, faz uso de uma lente com uma geometria particular, que a torna capaz de focar os raios recebidos ao longo de uma linha focal, sob qual se encontra o tubo com o fluido que se deseja aquecer. Estes concentradores necessitam estar constantemente direcionados ao sol, de maneira a permitir a coesão dos raios solares.

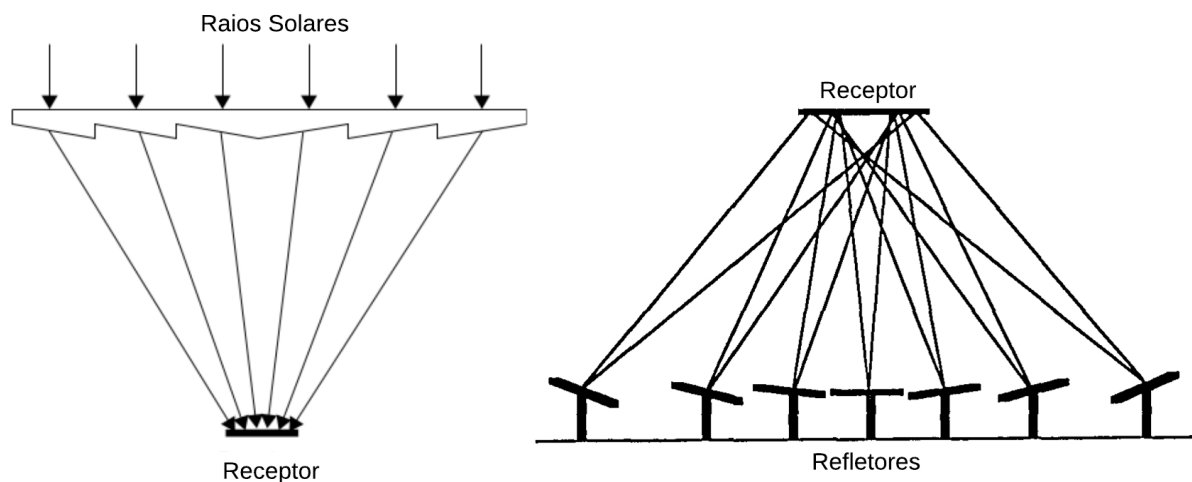


Figura 3: Lente Fresnel (esquerda) e refletores Fresnel lineares (direita). Fonte: Kalogirou [11] (Adaptado).

2.2.3 Tipo parabólico composto

Os concentradores parabólicos compostos embora comercialmente sejam mais facilmente encontrados na forma de um painel repleto de parábolas, se assemelhando a concentradores de placa plana, também podem ser produzidos como uma só peça, com um só tubo contendo o fluido, sob o qual o calor será concentrado. Eles podem tanto ser estacionários, quanto também possuir um sistema de rastreamento. Tal característica se faz possível graças as diferentes geometrias que este concentrador pode apresentar, de maneira que a necessidade de um direcionamento constante em relação ao sol pode ser amenizada ao se utilizar geometrias com duas seções de parábolas opostas uma a outra, o que é feito em detrimento da sua taxa de concentração.

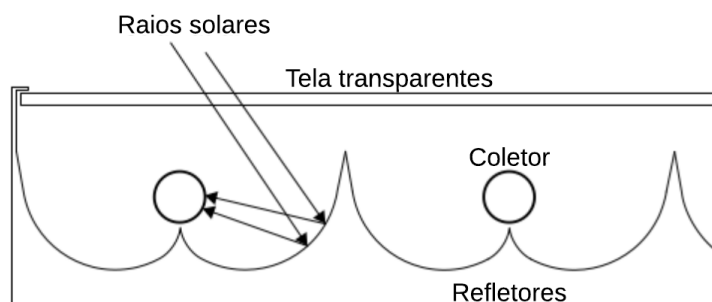


Figura 4: Esquema de um concentrador solar parabólico composto. Fonte: Kalogirou [11] (Adaptado).

2.2.4 Concentrador por calha parabólica

Produzido a partir de uma chapa de material refletor, curvada na forma de uma só parábola, esta é uma das tecnologias mais desenvolvidas no que diz respeito a concentração de energia solar. Este tipo de concentrador exige o uso de rastreamento solar, pois não consegue fazer uso da radiação difusa, isto é, só aproveita os raios que incidem diretamente sobre seu refletor. Quando a parábola está apontada para o sol, os raios solares que incidem sobre o refletor são direcionados ao tubo receptor. A radiação concentrada que chega ao tubo aquece o fluido contido nele.

2.3 Aspectos construtivos de um aquecedor de água solar por calha parabólica

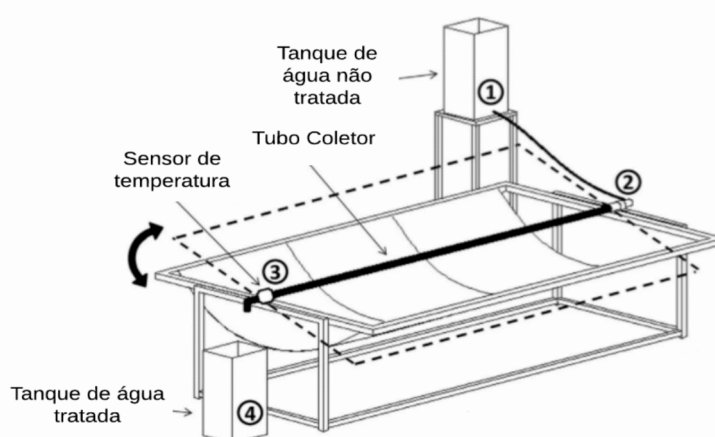


Figura 5: Exemplo de sistema de pasteurização solar por concentrador de calha parabólica. Fonte: Bigoni *et al* [13] (Adaptado).

Os coletores solares parabólicos têm como componentes essenciais uma calha parabólica de superfície espelhada e um tubo coletor. A calha refletirá os raios solares sob sua linha focal, nesta está localizado o tubo coletor o qual é feito ou ao menos recoberto por um material que converterá essa energia de radiação em energia térmica. O fluido que se deseja aquecer é contido dentro tubo coletor, e somente liberado ao atingir a temperatura desejada.

Este sistema faz uso somente da radiação solar direta e por isso necessita estar constantemente alinhado com o sol, para isso faz-se uso de sistemas de rastreamento solar. Tais sistemas podem operar em temperaturas entre 60 e 400 °C [11].

Na utilização destes sistemas para pasteurização, conforme proposto por Bigoni *et al.* [13], um outro sistema de automação se faz necessário, tendo como propósito regular a passagem de água, mantendo-a no tubo por tempo suficiente para a eliminação de microrganismos, liberando a porção já pasteurizada para um reservatório e depois realimentando o tubo com água ainda não tratada vinda de outro reservatório. No trabalho citado esta automação é feita através de um termostato de funcionamento automático, cuja temperatura é imposta. Acima dessa temperatura a válvula estará aberta, abaixo estará fechada, de maneira que o controle não é efetuado em tempo real, mas sim sob circunstâncias pré-determinadas.

2.4 Potencial solar brasileiro

A eficiência de sistemas que usam o sol como fonte de energia varia muito de acordo com as condições de irradiação solar da região onde este será implantado, de maneira que a avaliação de tais parâmetros é essencial no estudo de viabilidade dos mesmos, para que assim se possa obter um melhor aproveitamento.

No Brasil os dados referentes a energia solar, indicam um ambiente propício à utilização deste tipo energia. Em relação a utilização da energia térmica solar, a qual se tem maior interesse nesse estudo, Schlecht e Meyer [14] em sua análise sobre a viabilidade de sistemas de concentradores solares, apontam como parâmetro essencial a irradiação direta normal (DNI). As informações condizentes a este parâmetro podem ser vistas no gráfico do atlas brasileiro de energia solar [15], mostrado na Figura 4, no qual pode ser percebido que o semiárido nordestino é a região que melhor atende a tais requisitos.

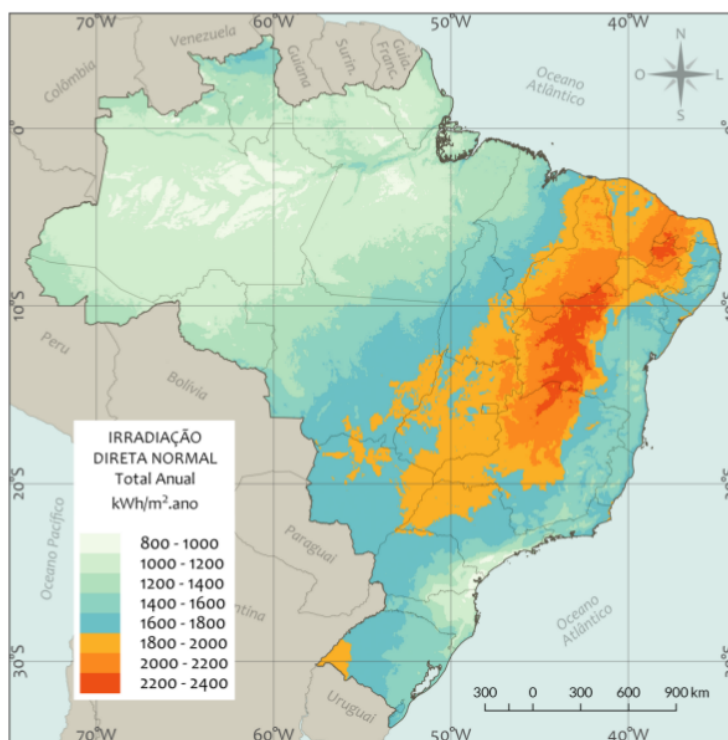


Figura 6: Mapa brasileiro com índices de irradiação direta normal.

Fonte: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais [15].

Martins *et al.* [16] em seu estudo sobre as aplicações da energia térmica solar no Brasil, também conclui que o semiárido nordestino é a melhor região para aplicação de métodos de concentração solar, sob a análise de diversos outros parâmetros.

2.5 Tempo e temperatura de inativação

Faechem *et al.* [17], em sua descrição dos diversos tipos de patógenos, suas formas de crescimento e eliminação, demonstra um trabalho extenso na avaliação de métodos efetivos de descontaminação dos diversos meios onde estes podem ser encontrados. Entre estes métodos está presente a inativação térmica, para a qual a relação entre tempo e temperatura de desinfecção foi descoberta por meio do estudo de uma grande quantidade

de dados sobre a sobrevivência de diversos tipos de microrganismos sob diferentes condições para várias combinações tempo-temperatura. Os requisitos para eliminação dos principais patógenos, analisados na obra anteriormente citada são expostos no gráfico a seguir, o qual apresenta uma zona segura, que se encontra acima dos valores de tempo e temperatura exigidos para a inativação dos microrganismos mais resistentes.

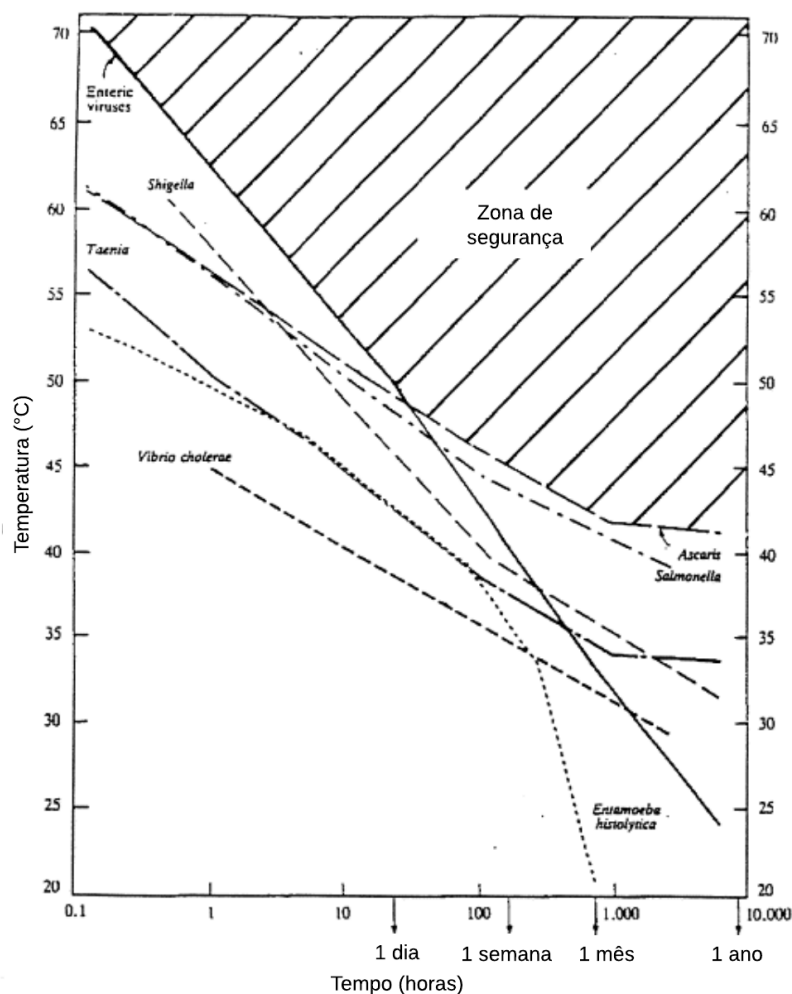


Figura 7: Relação tempo-temperatura para eliminação de diversos patógenos.
Fonte: Faechem *et al.* [17] (Adaptado).

Conforme pode ser visualizado no gráfico, os enterovírus são, dentre os microrganismos analisados, os que resistem às temperaturas mais elevadas e são, portanto, os que delimitam os parâmetros mínimos de desinfecção por tratamentos de inativação térmica. Este fato, conforme citado por Hodgson [18], foi atestado por Burch e Thomas [19], em um trabalho no qual também propuseram a Equação 1, que coloca o tempo de duração do tratamento (t), em função da temperatura (T) em que este ocorre, criando assim uma relação matemática que permite obter o tempo mínimo necessário para inativar os enterovírus e, conseqüentemente, todos os outros microrganismos:

$$t = 1,47 \cdot 10^7 \cdot e^{-0,265T} \quad (1)$$

Sistema de controle de vazão

Uma maneira de manter um controle mais atencioso aos parâmetros de inativação térmica durante a pasteurização solar pode ser obtida por meio de sensores e atuadores em conjunto com um microcontrolador. A Figura 6 demonstra o fluxograma para tal sistema. Nele o microprocessador contaria o tempo que passou (t_p) desde o início do processo, o que é sinalizado pelo fechamento da válvula que alimenta o canal com água ainda não desinfetada. Enquanto isto, a temperatura pode ser monitorada através de sensores, para que seja mantido um ajuste constante do tempo necessário de inativação, o qual pode ser calculado utilizando a Equação 1, de maneira a obter a duração de tratamento inicialmente necessária, a qual será atualizada a cada nova iteração com

base no tempo que já passou. Ao se atingir uma relação satisfatória de porcentagem entre o tempo de operação e o tempo total necessário, as válvulas para esvaziar o tubo são abertas, após passado tempo suficiente para que o tubo se esvazie, elas se fecham. As válvulas que dão passagem a água ainda contaminada se abrem novamente, dando início a um novo ciclo de pasteurização.

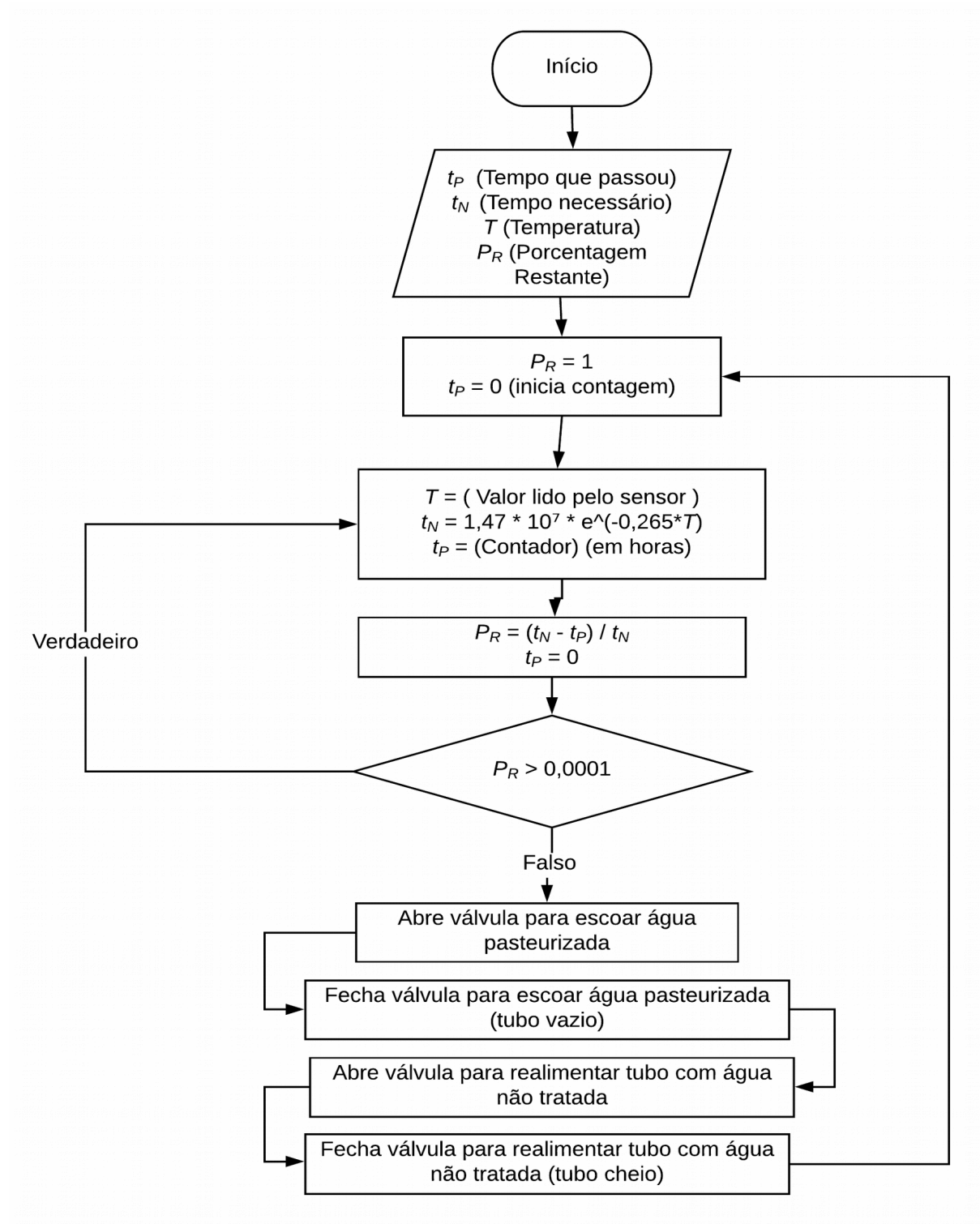


Figura 8: Fluxograma do funcionamento do sistema de controle de vazão. (Autoria própria)

3. CONCLUSÃO

A inativação térmica de microrganismos por meio da pasteurização solar se mostra uma operação com grande potencial. A avaliação de parâmetros já bem explorados na literatura demonstra a viabilidade de implementação

de tal método por meio de concentradores solares no semiárido do nordeste brasileiro, com atenção especial para seus índices de irradiação solar. A implementação de um sistema capaz de controlar a vazão de um pasteurizador solar de calha parabólica pode ser feita futuramente seguindo as análises aqui presentes, de maneira a possibilitar o estudo de diversos parâmetros de inativação térmica sob as condições abordadas.

4. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] KALLEN, Stuart A.. Running Dry: The Global Water Crisis. Minneapolis: Twenty-first Century Books, 2015.
- [2] Progress on drinking water, sanitation and hygiene: 2017 update and SDG baselines. Gênova: World Health Organization (WHO) and the United Nations Children's Fund (UNICEF)
- [3] WHO. Preventing Diarrhoea through Better Water Sanitation and Hygiene: Exposures and Impacts in Low- and Middle-Income Countries. Geneva, Switz. 2014.
- [4] Trends in drinking water service levels (2000-2015): Brazil - service levels. Disponível em: <<https://washdata.org/data#!/dashboard/1231>>. Acesso em: 12 jun. 2018.
- [5] LANGENBACH, K. et al. Modeling of slow sand filtration for disinfection of secondary clarifier effluent. Water research, v. 44, n. 1, p. 159-166, 2010.
- [6] WORLD HEALTH ORGANIZATION et al. Assessing microbial safety of drinking water improving approaches and methods: Improving approaches and methods. OECD Publishing, 2003.
- [7] BORDE, Preeti et al. Community challenges when using large plastic bottles for Solar Energy Disinfection of Water (SODIS). BMC public health, v. 16, n. 1, 2016.
- [8] CARRATALÀ, Anna et al. Solar disinfection of viruses in polyethylene Terephthalate bottles. Applied and environmental microbiology, v. 82, n. 1, 2016.
- [9] METCALF, Eddy; EDDY, M. Wastewater engineering: treatment and Resource recovery. Mic Graw-Hill, USA, 2014.
- [10] PATERNIANI, José Euclides Stipp et al. Desinfecção de efluentes com tratamento terciário utilizando energia solar (SODIS): avaliação do uso do dispositivo para concentração dos raios solares. Engenharia Sanitária e Ambiental, 2005.
- [11] KALOGIROU, Soteris. Solar Energy Engineering: Processes and Systems, 2009. Carbohydrate Chemistry International Journal of Medicinal Chemistry International Journal of Hindawi Publishing Corporation <http://www.hindawi.com>, v. 2014, 2009.
- [12] Solar Thermal Energy for Utilities and Industry - overview of Flat Plate Collectors. Disponível em: <<https://www.e-education.psu.edu/eme811/node/685>>. Acesso em: 20 set. 2018.
- [13] BIGONI, Riccardo et al. Solar water disinfection by a Parabolic Trough Concentrator (PTC): flow-cytometric analysis of bacterial inactivation. Journal of Cleaner Production, v. 67, p. 62-71, 2014.
- [14] SCHLECHT, M.; MEYER, R. Site selection and feasibility analysis for concentrating solar power (CSP) systems. In: Concentrating Solar Power Technology. 2012. p. 91-119.
- [15] PEREIRA, ENIO BUENOS et al. Atlas brasileiro de energia solar. São José dos Campos: Inpe, 2017
- [16] MARTINS, F. R.; ABREU, S. L.; PEREIRA, E. B. Scenarios for solar thermal energy applications in Brazil. Energy Policy, v. 48, p. 640-649, 2012.
- [17] FEACHEM, Richard; MARA, D. Duncan; BRADLEY, David J. Sanitation and disease. Washington DC, USA:: John Wiley & Sons, 1983.
- [18] HODGSON, David A. Design of and Experimentation with a Passive Valve-less Flow-through Solar Water Pasteurization System. 2005. Tese de Doutorado. Colorado State University.
- [19] BURCH, Jay; THOMAS, Karen E. An overview of water disinfection in developing countries and the potential for solar thermal water pasteurization. National Renewable Energy Lab., Golden, CO (United States), 1998.