

APLICAÇÕES CONTEMPORÂNEAS DA ENERGIA SOLAR COM ABORDAGENS SOCIAIS NO ESTADO DE SERGIPE



**VANINA CARDOSO VIANA ANDRADE
IRAÍ TADEU FERREIRA DE RESENDE
DIEGO LOPES CORIOLANO
ODELSIA LEONOR SÁNCHEZ DE ALSINA
RENAN TAVARES FIGUEIREDO**

APLICAÇÕES CONTEMPORÂNEAS DA ENERGIA SOLAR COM ABORDAGENS SOCIAIS NO ESTADO DE SERGIPE



**Vanina Cardoso Viana Andrade
Iraí Tadeu Ferreira de Resende
Diego Lopes Coriolano
Odelsia Leonor Sánchez de Alsina
Renan Tavares Figueiredo**



Copyright © 2019 • IFS

Todos os direitos reservados. Nenhuma parte deste livro pode ser reproduzida ou transmitida em nenhuma forma e por nenhum meio mecânico, incluindo fotocópia, gravação ou qualquer sistema de armazenamento de informação, sem autorização expressa dos autores ou do IFS.

DIRETORA DE PUBLICAÇÕES

Vanina Cardoso Viana Andrade

EDITORIAÇÃO

Diego Ramos Feitosa

Jéssika Lima Santos

Kelly Cristina Barbosa

Júlio César Nunes Ramiro

PLANEJAMENTO E

COORDENAÇÃO GRÁFICA

Renan Garcia de Passos

PROJETO GRÁFICO DA CAPA

Renan Garcia de Passos

DIAGRAMAÇÃO

Renan Garcia de Passos

REVISÃO

DADOS INTERNACIONAIS DE CATALOGAÇÃO NA PUBLICAÇÃO (CIP)

A642 Aplicações contemporâneas da energia solar com abordagens sociais no Estado de Sergipe [recurso eletrônico] / Vanina Cardoso Viana Andrade [et al...] – Aracaju: IFS, 2019.
176 p.: il.

Formato: e-book
ISBN 978-85-9591-105-5

1. Tese de doutorado. 2. Energia solar. 3. Inclusão social.
4. Preservação do meio ambiente. I. Andrade, Vanina Cardoso Viana. II. Coriolano, Diego Lopes. III. Alsina, Odelsia Leonor Sánchez de. IV. Figueiredo, Renan Tavares. V. Resende, Iraí Tadeu Ferreira de.

CDU: 551.521.37(813.7)

Ficha catalográfica elaborada pela bibliotecária Célia Aparecida Santos de Araújo (CRB 5/1030)

[2019]

Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de Sergipe (IFS)

Avenida Jorge Amado, 1551. Loteamento Garcia, bairro Jardins.

Aracaju/SE. CEP: 49025-330.

Tel.: +55 (79) 3711-3222. E-mail: edifs@ifs.edu.br.

Impresso no Brasil



MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO

**INSTITUTO FEDERAL DE EDUCAÇÃO, CIÊNCIA E TECNOLOGIA DE SERGIPE
(IFS)**

PRESIDENTE DA REPÚBLICA

Jair Messias Bolsonaro

MINISTRO DA EDUCAÇÃO

Abraham Bragança de Vasconcellos Weintraub

SECRETÁRIO DA EDUCAÇÃO PROFISSIONAL E TECNOLÓGICA

Alexandro Ferreira de Souza

REITORA DO IFS

Ruth Sales Gama de Andrade

PRÓ-REITORA DE PESQUISA E EXTENSÃO

Chirlaine Cristine Gonçalves



O livro é fruto das teses de doutorado dos professores do Instituto Federal de Sergipe, Dr. Iraí Tadeu Ferreira de Resende, Dr. Diego Lopes Coriolano e Dr^a. Vanina Cardoso Viana Andrade, que foram orientados por Dr^a. Odelsia Leonor Sánchez de Alsina e Dr. Renan Tavares Figueiredo, os orientadores são docentes do Programa de Pós Graduação em Engenharia de Processos da Universidade Tiradentes, PEP/UNIT, e pesquisadores do Instituto de Tecnologia e Pesquisa - ITP.

Para o desenvolvimento das pesquisas, foi necessário o financiamento através dos projetos de pesquisa com auxílio da Fundação de Apoio à Pesquisa e Inovação Tecnológica do Estado de Sergipe - FAPITEC/SE e do Banco do Nordeste do Brasil - BNB.

APRESENTAÇÃO

Nesta obra são apresentadas aplicações tecnológicas sustentáveis do uso da energia solar com abordagem voltada para inclusão social e preservação do meio ambiente que foram desenvolvidas ao longo de anos de pesquisas por uma equipe multidisciplinar.

Os autores apresentam problemáticas contemporâneas, como o descarte inadequado de resíduos agroindustriais, desmatamento e desperdício de água, e como é possível revertê-las com o uso de tecnologia de baixo custo.

Modelos de fabricação e/ou montagem das tecnologias são apresentadas, assim como a aplicação das mesmas, tornando a obra tanto informativa quanto prática, incentivando a reflexão e ações positivas sobre o tema da energia solar e meio-ambiente como meio de melhorar a sociedade.

Lista de Figuras

Figura 1: Esquema da radiação solar dentro do secador solar de radiação direta.	27
Figura 2: Secador tipo túnel com exposição solar direta e circulação de ar forçada.....	27
Figura 3: Secador solar de radiação direta com circulação de ar forçada.	28
Figura 4: Placa de coleta do secador por convecção natural e vista interna do secador solar.....	29
Figura 5: Ilustração esquemática da energia solar, em um secador de energia solar indireta com circulação de ar forçada.....	30
Figura 6: Modelo do secador com radiação solar direta	31
Figura 7: Materiais para elaboração do secador solar com incidência solar direta (a) madeira, chapa de zinco e tela de moeda de aço inoxidável (b) lã de rocha.....	32
Figura 8: Etapas da montagem do secador horizontal (a) caixa de madeira com a chapa de alumínio e lã de vidro (b) tela com borda de madeira (c) impermeabilização da madeira (d) secador finalizado.	33
Figura 9: Monitoramento da temperatura de secagem (a) arduino montado com os componentes eletrônicos (b) coolers e sensores instalados no secador. ..	34
Figura 10: Modelo do secador com radiação solar indireta.	35
Figura 11: Câmara de Secagem (a) Secador vertical pronto (b).	36
Figura 12: Etapas reacionais envolvidas na transesterificação de triacilglicerídeos	51
Figura 13: Modelo de funcionamento de um termossifão.....	61
Figura 14: Representação da área de abertura e da área de captação da radiação solar do concentrador tipo Scheffler em uma seção lateral de uma parabolóide	63
Figura 15: Representação esquemática da planta de produção.	65
Figura 16: Concentrador solar e forno utilizados na calcinação das amostras da casca de coco.....	68
Figura 17: Classificação dos fogões solares (HEREZ, 2018) – modificado.....	88
Figura 18: Tipos de fogão solares: (a) fogão solar painel; (b) fogão solar parabólico; e (c) fogão solar caixa.	88
Figura 19: Fogão solar híbrido térmico fotovoltaico: (a) fora de uso; e (b) em operação.	90
Figura 20: Fogão solar tipo caixa construído com sucata de pneu.....	90
Figura 21: Forno solar construído com geladeira em desuso: (a) assando bolo; e (b) fora de uso.	91
Figura 22: Fogão solar tipo caixa com duplo vidro utilizando. (a) o refletor superior; (b) os refletores superior e frontal; e (c) os refletores superior, frontal e inferior.	92

Figura 23: Fogão solar tipo painel Cookit.....	92
Figura 24: Fogões solar a) Fogão Solar tipo painel b) Fogão Solar tipo caixa c) Fogão Solar tipo parabólico.....	93
Figura 25: Fogão Solar parabólico.....	94
Figura 26: Fogões solar a) Fogão solar coletor de placas planas b) Utilização de fogão solar em ambientes internos.....	95
Figura 27: Comparação do processo de fabricação de farinha (a) período colonial e (b) nos dias atuais.....	109
Figura 28: Fluxograma dos resíduos gerados na casa de farinha.....	110
Figura 29: Produção, em toneladas, de mandioca por município do estado de Sergipe no ano de 2015.....	112
Figura 30: Planta baixa e equipamento de uma casa de farinha.....	114
Figura 31: Fluxograma do processo de fabricação de farinha utilizando o sistema híbrido solar/gás.....	119
Figura 32: Concentrador solar de foco fixo.....	119
Figura 33: Unidade absorvedora dos raios solares.....	120
Figura 34: Forno para torrefação da farinha.....	121
Figura 35: Ciclo da água.....	134
Figura 36: Distribuição de água no mundo.....	136
Figura 37: Armazenamento de água pluvial.....	146
Figura 38: Sistema de aproveitamento da água da chuva de telhados.....	153
Figura 39: Sistema de aproveitamento da água da chuva de superfícies no solo.....	153
Figura 40: Filtro simples adaptado no tubo de queda.....	155
Figura 41: Filtro simples para ser acoplado à tubulação.....	155
Figura 42: Reservatório de descarte com bolinha flutuante.....	156
Figura 43: Reservatório de descarte com Tubos.....	157
Figura 44: Exemplo de cálculo do volume da água de descarte.....	158
Figura 45: Quadro tarifário de Aracaju.....	163
Figura 46: Coletores (a) Coletor não concentrador, (b) Coletor concentrador parabólico e (c) Coletor parabólico composto.....	167
Figura 47: Coletor Cilíndrico Parabólico (PTC) instalado na Plataforma Solar de Almería.....	168
Figura 48: Coletores cilíndricos reflexão solar. (a) Coletor Cilíndrico Parabólico (PTC) e (b) Coletor Cilíndrico Parabólico Composto (CPC).....	169

Lista de Tabelas

Tabela 1: Valores com teores	126
Tabela 2: Proporção de área territorial, disponibilidade de água e população para as cinco regiões do Brasil.....	140
Tabela 3: Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis	153
Tabela 4: Frequência de Manutenção	154
Tabela 5: Características dos modelos dos fotorreatores solares.....	173

Lista de Siglas

AES	Advanced Encryption Standard
CPU	Unidade Central de Processamento

SUMÁRIO

SECADOR SOLAR	19
1. INTRODUÇÃO	19
2. SECAGEM.....	21
2.1 Tipos de secagem	
2.2 Equipamentos solares para secagem	
3. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA	31
E TECNOLOGIA.....	31
3.1 Secador Solar com radiação direta	
3.1 Secador Solar com radiação indireta	
4. APLICAÇÃO SOCIAL.....	37
REFERÊNCIAS.....	39

BIODIESEL SOLAR	45
1. INTRODUÇÃO	45
1.1 Combustíveis	
1.2 Políticas Públicas de Redução de Agentes Tóxicos no Mundo	
1.3 Políticas Públicas de Redução de Agentes Tóxicos no Brasil	
1.4 Biodiesel no Brasil	
1.5 Matéria-prima para a produção de biodiesel	
1.6 Sistema Fotovoltaico	
1.7 Sistema Termossifão	
1.8 Concentrador Solar	
2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA E TECNOLOGIA	64
2.1 Montagem da Planta para Síntese de Biocombustível	
2.2 Preparo e Síntese do Biocombustível	
3. APLICAÇÃO SOCIAL.....	69
REFERÊNCIAS.....	70

FOGÃO SOLAR 83

1. INTRODUÇÃO 83

1.1 A história dos fogões solares

2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA E TECNOLOGIA 87

2.1 Os tipos de fogões solares

3. APLICAÇÃO SOCIAL..... 89

3.1 Conclusões

REFERÊNCIAS..... 98

CASA DE FARINHA HÍBRIDA SOLAR GÁS 105

1. INTRODUÇÃO 105

1.1 A Evolução das Casas de Farinha

1.2 Os Problemas Ambientais Oriundos das Casas de Farinha

1.3 Legislações Pertinentes para Melhoria das Casas de Farinha

2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA E TECNOLOGIA 117

2.1 Descrição do Sistema

2.2 Caracterização físico-química da farinha de mandioca

3 Conclusões..... 123

REFERÊNCIAS..... 125

ÁGUA

131

1. INTRODUÇÃO	131
1.1 Definição de água	
1.2 Ciclo da água	
1.3 Distribuição da água no mundo	
1.4 Águas no Brasil	
1.5 Necessidade do aproveitamento de recursos hídricos	
1.6 Normatização para captação de água da chuva	
2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA E TECNOLOGIA	152
2.1 Sistema para captação e armazenamento de água da chuva	
2.2 Desenvolvimento de um sistema para captação e armazenamento de água da chuva	
2.3 Vantagens e desvantagens da implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva	
2.4 Cálculo do volume de água coletado	
2.5 Cálculo da economia na taxa de água	
2.6 Cálculo de retorno do investimento	
3. APLICAÇÃO SOCIAL.....	164
3.1 Aplicação da fotocatalise na desinfecção da água	
3.2 Reatores fotocatalíticos	
REFERÊNCIAS.....	171



INTRODUÇÃO



Até poucas décadas atrás, os combustíveis fósseis vinham sendo utilizados como fonte primária de energia em diversos setores da sociedade. Devido a crises financeiras comerciais no mundo e o aumento dos impactos ambientais gerados advindos do seu uso, outras fontes de energia juntamente com novas tecnologias vem sendo estudadas para minorar a dependência econômica dos países com esses combustíveis e mitigar os efeitos de seu uso no ambiente.

A energia solar é uma fonte de energia limpa, renovável e gratuita, que vem sendo utilizada historicamente pela humanidade para diversos fins, sendo um dos mais comuns atualmente a produção de energia elétrica e térmica. Seu aproveitamento se dá através de tecnologias de baixo custo, como fogões e secadores solares, termossifões, concentradores e painéis fotovoltaicos, que pode ser voltadas para o uso com viés na inclusão social, objetivando uma melhor qualidade de vida para famílias de baixa renda.

O desenvolvimento e aplicações das tecnologias de aproveitamento da energia solar no Estado de Sergipe se mostra favorável devido não somente a quantidade de radiação solar incidente recebida pelo Estado, que possibilita a sua transformação em outras formas de energia, mas também devido à possibilidade do uso de vários derivados da cultura local, como a mangaba, coco e até mesmo óleo de fritura usado, transformando em um produto mais nobre, como mantas de frutas e combustível, quando houvesse o descarte, e a mandioca na produção de farinha, favorecendo a diminuição do desmatamento.

Nos capítulos que seguirão, serão descritos o uso dessas tecnologias e as mesmas serão detalhadas para que o leitor possa, em tempo, por em prática o conhecimento neste disseminado.





CAPÍTULO 1

SECADOR SOLAR

1. INTRODUÇÃO

Uma vertente da utilização da energia solar é para a produção de alimentos, onde através da mesma é possível a fabricação de diversos produtos naturais e de alto valor agregado. A secagem é um método de conservação de alimentos que atua na remoção de água ou de qualquer outro líquido, de um material sólido, pelo método de evaporação, que combina a transferência de calor e massa. Isso aumenta a vida de prateleira do produto. Esta secagem pode ser realizada por secadores solares (EVANGELISTA, 2008). A secagem de frutas ocorre com a utilização de secadores que podem ser comercializados a partir da produção industrial ou secadores artesanais, onde estes últimos podem ser divididos em secadores com radiação solar direta e indireta e ventilação natural ou forçada. No secador de energia solar com ventilação natural, não é possível realizar o controle da temperatura durante a secagem do produto, pois depende ainda mais das condições externas, tanto da radiação solar quanto da velocidade e direção do vento (BANIASADI *et al.*, 2017).

A secagem de alimentos com a utilização da energia solar é o método mais utilizado na grande maioria dos países, que possuem o clima a seu favor, como os tropicais e subtropicais (EL-SEBAIL *et al.*, 2002). A característica do secador solar é de não ser poluente, possuir eficácia energética e os produtos elaborados com a utilização dos secadores são de qualidade, e de baixo custo. Este fato justifica a adoção e aplicação dos secadores solares para a secagem de frutas, legumes e especiarias. Portanto, o uso da energia solar para a secagem de frutas é ecologicamente

correto e economicamente viável nos países em desenvolvimento que contém um clima propício para a aplicação desta técnica (CHOWDHURY, 2011).

A cocção de alimentos com o uso da energia solar acontece com o manejo de determinados equipamentos como secadores, fogão e fornos absorvedores solares. O cozimento dos alimentos se dá através da incidência direta da radiação solar no alimento ou pelo aquecimento de água, para a cocção de diversos alimentos, entre eles a mangaba, manga, caju, mandioca, até mesmo feijão, arroz, carne, pizzas, bolos, lasanhas, pães de queijo (MAHAVAR *et al.*, 2012; GEDDAM *et al.*, 2015; MAHAVAR *et al.*, 2015). Existem muitos trabalhos na área de produção de alimentos utilizando energia solar para a cocção de alimentos, dentre eles, o estudo de LINGAYAT *et al.* (2017), que afirmaram a necessidade da redução da utilização dos combustíveis fósseis e destacaram a necessidade do uso de energia solar, para isso construíram um secador solar do tipo indireto, com coletor de ar de placa plana de 2 m² com placas de absorção onduladas em V, câmara de secagem acoplada e uma chaminé para a exaustão do ar. Após a construção do secador descrito anteriormente, realizaram a secagem da banana no secador solar indireto e obtiveram um teor de umidade inicial de 356% em base seca para um teor final de 16,33%, 19,47%, 21,16% e 31,16%, em quatro alturas de bandejas diferentes da mais próxima do coletor para o exaustor, respectivamente e para a secagem ao sol aberta 42,37% em base seca. Estudaram também a eficiência térmica média do coletor que foi de 31,50% e a da câmara de secagem foi de 22,38%. Destacaram que a temperatura, umidade e velocidade do ar de secagem são fatores importantes durante a secagem.

2. SECAGEM

2.1 Tipos de secagem

A secagem de alimentos de origem vegetal pode ser realizada por duas maneiras, que podem ser secagem artificial por meio de calor, umidade relativa e velocidade do ar controlada ou a secagem natural por meio da utilização do sol e/ou vento. A secagem pode ser realizada com a utilização de vários métodos diferentes, secagem natural, artificial, secagem com o uso de energia solar (EVANGELISTA, 2008).

Produtos agrícolas são normalmente secos utilizando a secagem térmica, que envolve a vaporização da umidade no interior do alimento com o emprego da energia em forma de calor, pois envolve transferência de calor e massa simultaneamente. O calor sensível do ar é reduzido, uma vez que é utilizado para a evaporação da umidade do produto. O calor do sistema fica constante, já que a perda do calor sensível é recuperada na forma de calor latente de vaporização da umidade do ar (PARK *et al.*, 2001).

Dependendo do produto, a transferência de umidade é do interior do produto para a superfície do mesmo, devido ao gradiente de umidade. Quando na forma de líquido ou vapor, a transferência de umidade é a partir da superfície (PARK *et al.*, 2001).

2.1.1 Secagem Artificial

A secagem artificial, também conhecida como desidratação de alimentos, é executada com o emprego de diversos métodos, dentre eles: ar aquecido (calor por convecção), por contato com superfície quente (calor por condução), calor de fonte radiante, por sublimação e calor sobre pressão muito baixa (EVANGELISTA, 2008).

Sistemas de secagem artificiais são, na maioria das vezes, classificados conforme as faixas de temperatura de operação, em secadores de baixa e de alta temperatura.

Quando utilizadas baixas temperaturas, o teor de umidade do produto normalmente entra em equilíbrio com o ar utilizado para a secagem com sistema de ventilação constante. Sistemas de baixa temperatura permitem a secagem de produtos ou em grande quantidade, ou para armazenamento de longo prazo, que são geralmente chamados de secadores a granel ou de armazenamento. Vale destacar que este tipo de secagem preserva determinados nutrientes desejados nos produtos (SILVA, 2008).

Os secadores que empregam altas temperaturas são utilizados para secagens mais rápidas e com curta exposição, quando a umidade de equilíbrio do produto é atingida, irá ocorrer uma secagem severa. Os secadores de temperaturas elevadas são classificados como secadores de fluxo contínuo ou descontínuo, neste método os produtos são secos em bandejas por etapas e armazenados. No sistema de fluxo contínuo, as colunas são aquecidas por um ar quente que passa pelo sentido oposto do produto que flui por gravidade (SILVA, 2008).

Na secagem de produtos agrícolas, podem ser utilizados vários secadores com diferentes fontes de calor, dentre eles, os elétricos, seja movido a combustíveis fósseis, energia solar ou até mesmo ligados diretamente na rede elétrica (PIRASTEH *et al.*, 2014).

2.1.2 Secagem Natural

É um método de conservação de alimentos bastante utilizado por pequenos produtores, que consiste em expor o produto que será seco ao sol e ao vento. Com a ausência de metodologias adequadas para a preservação dos produtos agrícolas, a maioria dos agricultores

possui apenas uma alternativa para a conservação dos mesmos, que consiste em espalhar camadas finas de frutas em esteiras ou terrenos pavimentados, as quais ficam expostas a corpos estranhos existentes no ambiente (EL-SEBAII *et al.*, 2002). É um processo robusto, simples e de baixo custo, entretanto, o produto fica sujeito a insetos, poeiras, roedores, pássaros, por se tratar de um processo a céu aberto, é exposta a condições inadequadas de higiene, podendo causar ou ser precursor de doenças aos consumidores.

A secagem natural é favorável para regiões de clima seco com boa irradiação solar e baixas precipitações pluviométricas, de preferência regiões que possuem ventos na época que a secagem é realizada. Algumas regiões como parte da América do Sul (incluindo grande parte do território brasileiro), Espanha, Grécia, Califórnia são locais onde a secagem natural apresenta grande viabilidade (GAVA *et al.*, 2008).

Para que haja um controle de qualidade, o local de secagem natural deve ser protegido, longe das vias de acesso, pois reduz o problema com a poeira (GAVA *et al.*, 2008).

Quando secadores artificiais são comparados com a secagem natural, os alimentos que são desidratados possuem uma melhor qualidade devido as possíveis contaminações, entretanto, com a crise energética, há uma busca de energias alternativas; isto se deve pelo fato de durante o processo da secagem natural, algumas variáveis não ser controladas como o que ocorre no processo artificial. Portanto é de fundamental importância o desenvolvimento de pesquisas aplicadas ao setor energético e entre elas a utilização da energia solar com a aplicação da secagem natural (EVANGELISTA, 2008; RÜTHER e SALAMONI, 2012).

Uma das formas de aperfeiçoar a secagem natural, com a melhoria da qualidade do processo e reduzindo a probabilidade de contaminação, é a utilização de secadores solares que utilizam a energia solar como fonte energética.

2.1.3 Secagem com o uso da energia solar

Secagem ao sol é um método eficiente para secar alimentos com o aproveitamento da energia solar (CHOWDHURY, 2011). A secagem de alimentos com a utilização da energia solar é o método mais utilizado na grande maioria dos países, que possuem o clima a seu favor, como os tropicais e subtropicais (EL-SEBAIL et al., 2002).

A característica do secador solar é de não ser poluente, possuir eficácia energética e os produtos elaborados com a utilização dos secadores são de qualidade, e de baixo custo. Este fato justifica a adoção e aplicação dos secadores solares para a secagem de frutas, legumes e especiarias. Portanto, o uso da energia solar para a secagem de frutas é ecologicamente correto e economicamente viável nos países em desenvolvimento que contém um clima propício para a aplicação desta técnica (CHOWDHURY, 2011).

2.2 Equipamentos solares para secagem

Em virtude dos altos custos de operação e obtenção de equipamentos convencionais, que utilizam a energia elétrica para a secagem de frutas, como também de não ser economicamente viável à produção de frutas secas por pequenos produtores, existem muitas pesquisas voltadas para a otimização da secagem solar (ALAMADA, 2005).

Os equipamentos utilizados para a secagem solar podem ser construídos com diferentes tipos de materiais, dentre eles podemos citar, chapas metálicas, madeira, alvenaria, alumínio. O

sistema de captação da energia solar é composto por uma placa ou chapa (geralmente pintada de preto fosco), de material que auxilie no aumento da temperatura do sistema, com o objetivo de realizar a absorção da radiação solar incidente. O sistema deve estar isolado termicamente, com um material de baixa condutibilidade térmica, para evitar a perda de calor, e para a cobertura, pode-se utilizar tanto um plástico como um vidro com espessura adequada. O material escolhido para a montagem do secador solar influencia alguns fatores, dentre eles a eficiência do secador, a qualidade final do produto que se deseja obter, o custo e tempo de vida útil do mesmo (POTTLER *et al.*, 1999).

Existem diversos tipos de secadores solares, em diferentes desenhos e tamanhos, dependendo da necessidade. Normalmente, os secadores solares são diferenciados pelo tipo de circulação do ar, o tipo de produto a ser seco, e tipo do isolamento a ser feito (TOSHNIWAL e KARALE, 2013). Os equipamentos para a secagem de produtos agrícolas são comumente classificados em três “tipos”, secadores solares de modo direto, secadores solares de modo indireto, e secadores solares híbridos. Todos eles podem ser de circulação natural ou circulação forçada (KUMAR *et al.*, 2016).

2.2.1 Secadores solar de radiação direta

Para a secagem de pequenas quantidades de frutas e hortaliças MUSTAYEN *et al.* (2014) desenvolveram secadores de caixas e tendas para proteger os alimentos da deterioração devido às chuvas, vento, animais, contaminação, entre outros, o que acontece comumente com a secagem ao natural.

Para reduzir tanto as perdas dos alimentos como citado anteriormente, quanto a de calor, foi utilizado uma tampa transparente sobre a caixa, a qual passará a radiação solar que irá

fornecer energia para a secagem do material. Vale salientar que, esse tipo de processo não evita totalmente as perdas.

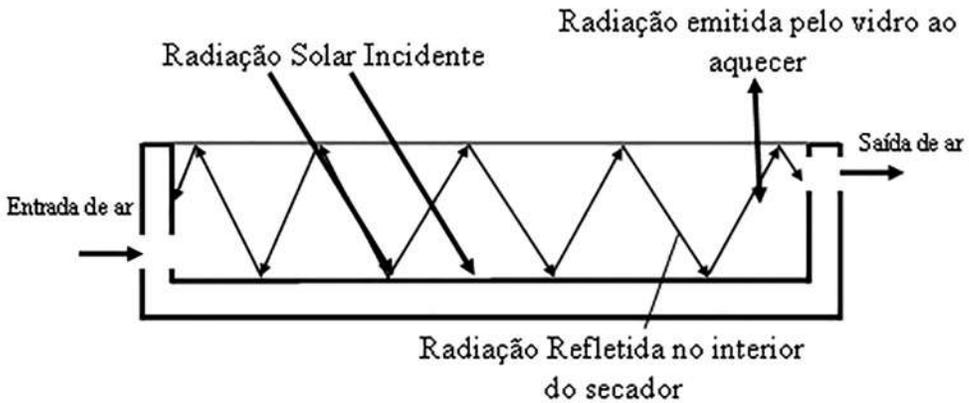
No secador tipo caixa, a radiação solar é direta no produto e absorvida por ele, que faz com que tenha um melhor aproveitamento da energia, e assim, contribui para a evaporação da água do alimento. Isto ocorre devido à pressão de vapor existente na superfície do produto que aumenta com a absorção da radiação da energia solar, pois quando a radiação solar incidente alcança a superfície do secador, parte é absorvida, isto aumenta a temperatura interna e, por conseguinte eleva a energia térmica. Após a entrada da radiação incidente na parte interna, existirá tanto a radiação refletida no interior do secador e a radiação emitida pelo vidro durante o aquecimento, todas essas radiações armazenadas contribuem para o efeito estufa, como pode ser visualizado na **Figura 1**. É possível observar também a necessidade de se ter aberturas nas laterais de forma a possibilitar a entrada de ar frio e a saída de ar quente e úmido na outra extremidade. A junção do coletor e da câmara de secagem em uma unidade única, pode se tornar mais econômico e com uma secagem mais rápida, é importante destacar que esse tipo de secador é ideal para secagem de poucos produtos de forma descontínua (FINCK-PASTRANA, 2014).

Para ALAMADA *et al.* (2005) os fatores importantes para um bom secador são a obtenção de uma temperatura do ar de 40 a 70°C e uma movimentação constante de ar com um baixo teor de umidade.

Secador solar com exposição direta e circulação forçada foi estudado por CHOWDHURY *et al.* (2011) cujo secador de túnel solar funciona com auxílio de dois ventiladores de 12 V, alimentados por placas solares de 40 W, para secagem da manta de jaca. O coletor

Figura 1: Esquema da radiação solar dentro do secador solar de radiação direta.

Fonte: Adaptado de GOMES, 2007

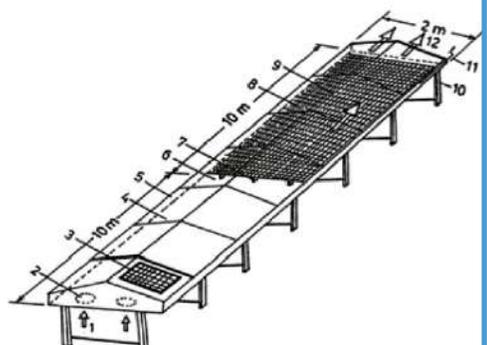


de aquecimento de ar e a unidade de secagem são conectados. O equipamento utilizado pelos autores possui 20 m de comprimento, 2 m de largura e 380 mm de altura, o mesmo possui 15° de inclinação. Foi elaborado com chapas de aço e madeira e entre elas foi realizado um isolamento com lã de vidro para reduzir a perda de calor na parte inferior. O mesmo foi coberto com polietileno de 0,2 mm de espessura. O secador pode ser observado na **Figura 2** abaixo.

Figura 2: Secador tipo túnel com exposição solar direta e circulação de ar forçada.

Fonte: CHOWDHURY *et al.*, 2011.

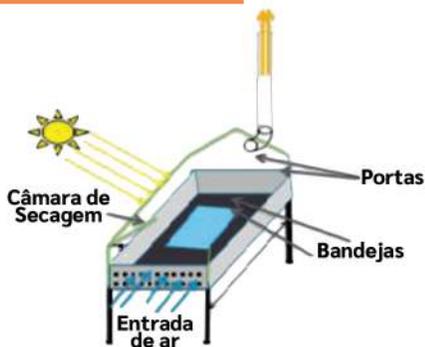
1. entrada de ar
2. Ventilador
3. Módulo solar
4. Placa solar
5. Armação lateral de metal
6. Saída do coletor
7. Suporte de madeira
8. Plástico
9. Estrutura coberta para apoiar o polietileno
10. Base da estrutura que apoia o secador
11. Barra de rolamento
12. Saída do túnel de secagem.



Outro tipo de secador foi elaborado por CHOUICHA *et al.* (2014), que utilizaram um secador solar de exposição direta com circulação de ar forçada, composto pelo local da secagem e uma chaminé **Figura 3**. Para cobrir o secador, foram utilizados vidros com espessura de 4 mm, no lado oposto ao da chaminé, parte inferior, foram postos furos de 1 cm de diâmetro com distância de 5 cm entre eles. O secador foi elaborado com metal galvanizado.

Figura 3: Secador solar de radiação direta com circulação de ar forçada.

Fonte: CHOUICHA *et al.*, 2014.



2.2.1 Secadores solar de radiação direta

O secador solar de radiação indireta, também conhecido como secador convectivo, possui um coletor solar plano que capta o calor fornecido pelo sol e devido à convecção do ar natural ou forçada, passa para o local, acoplado à placa onde está o produto a ser seco em prateleiras perfuradas, e assim ocorre a secagem.

JAIN e TEWARI (2015) elaboraram um secador solar de que utiliza a energia solar de forma indireta, por convecção natural, no qual a placa esquenta, e esta aquece o ar que por convecção aquece os produtos que estão nas bandejas. Para o armazenamento da energia, e o uso da mesma no período noturno, foram utilizados

dentro da câmara de secagem tubos de 0,75 m de comprimento e 0,05 m de diâmetro contendo parafina para a manutenção do calor interno. Um espelho refletor foi instalado na frente do secador para aumentar a incidência solar na placa do secador, uma vez que o mesmo refletia as radiações na placa, aumentando assim a temperatura do ar aquecido. O secador utilizado no trabalho de JAIN e TEWARI (2015) pode ser visualizado na **Figura 4**.

Figura 4: Placa de coleta do secador por convecção natural e vista interna do secador solar

Fonte: JAIN e TEWARI, 2015.

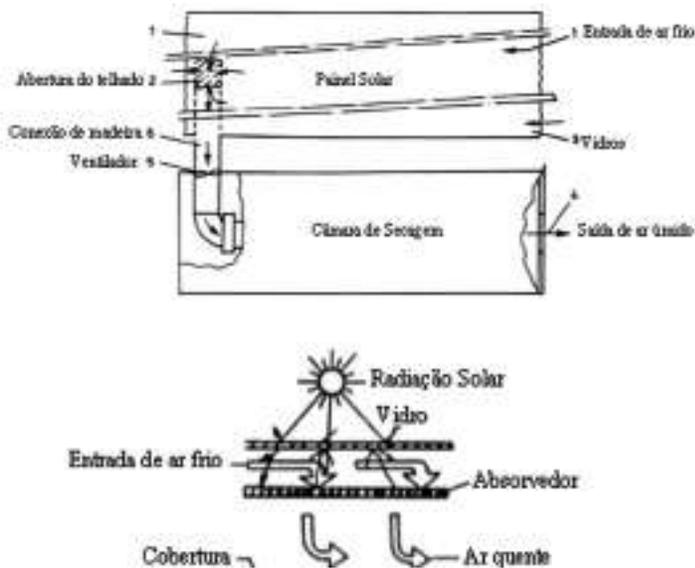


Outro secador solar de modo indireto com circulação forçada foi elaborado por ROOSEVELT *et al.* (2000). Esse secador solar consiste em um painel solar com estrutura de madeira sobre um telhado de amianto, uma esteira de nylon preta e um vidro transparente para proteger o nylon da chuva e da poeira. Um exaustor foi posto na parede da câmara de secagem para a sucção do ar frio, forçando a entrada de ar no painel e absorvendo calor. Posteriormente o ar quente é conduzido para a câmara de secagem de ar **Figura 5**.

O princípio de funcionamento do sacador de ROOSEVELT *et al.* (2000) é por meio de uma pressão negativa que é formada por baixo da esteira de feltro a partir do acionamento do ventilador instalado na parede, após a entrada do ar frio pelo painel solar, o ventilador aspira o ar já aquecido, para dentro da câmara de secagem.

Figura 5: Ilustração esquemática da energia solar, em um secador de energia solar indireta com circulação de ar forçada.

Fonte: ROOSEVELT *et al.*, 2000.



3. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA E TECNOLOGIA

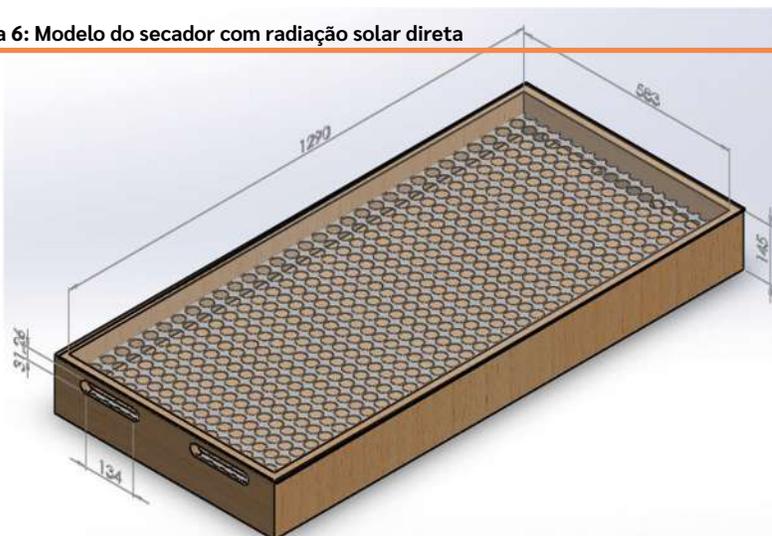
O escopo do trabalho foi encontrar o secador tipo solar de baixo custo, para atender às necessidades da comunidade com baixa renda e de agricultura familiar, com alta eficiência energética, que pudesse ser facilmente transportado e de fácil operação.

Foram construídos dois secadores solares, um do tipo radiação solar direta (SRD), e outro de radiação solar indireta (SRI). Para a montagem dos mesmos foram utilizados madeira, chapa de zinco, tela de alumínio, tela tipo moeda de aço inox, lã de rocha e vidro. Preferencialmente foram utilizados materiais de baixo custo, todavia prezando a qualidade.

3.1 Secador Solar com radiação direta

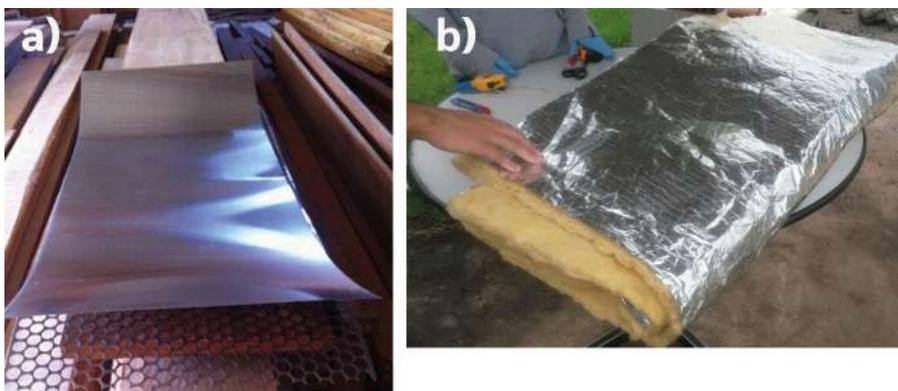
O primeiro modelo de secador preparado foi o de exposição solar direta que foi projetado com a utilização do programa Solidworks, como pode ser visualizado na **Figura 6**.

Figura 6: Modelo do secador com radiação solar direta



Neste modelo, a radiação solar incide diretamente na fruta preparada para processamento solar passando através do vidro. O coletor solar é acoplado com o local de secagem do produto. Para a montagem do mesmo foram necessários, madeira, chapa de zinco, tela de aço inoxidável tipo moeda **Figura 7a**. Foi utilizada também lã de rocha como isolante térmico e assim reduzir a troca térmica entre o secador e o ambiente externo, e vidro, **Figura 7b**.

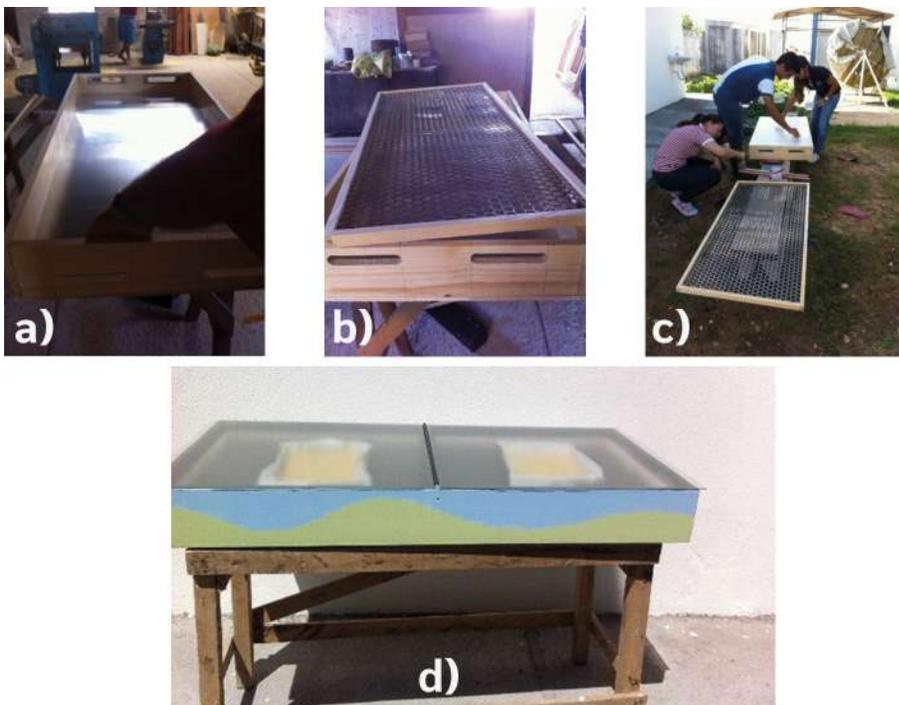
Figura 7: Materiais para elaboração do secador solar com incidência solar direta (a) madeira, chapa de zinco e tela de moeda de aço inoxidável (b) lã de rocha.



O secador é formado por uma caixa retangular com as dimensões de 58,3 cm de largura, 129 cm de comprimento e 14,5 cm de altura. Existem duas aberturas nas laterais para que haja a troca de calor, entre o produto e o ar, dentro do secador por convecção natural, as aberturas com alturas diferentes foram protegidas com telas de alumínio para evitar contaminação por insetos. A chapa de zinco foi pintada na cor preta fosco para que auxiliasse na absorção do calor. A lã de rocha foi posta entre a madeira e chapa de zinco **Figura 8a**. Sobre a chapa, foi posta uma tela de aço inoxidável tipo moeda que recebeu uma moldura de madeira para ficar suspensa **Figura 8b** e a manta a ser seca foi exposta nas formas sob a tela. A parte superior do secador foi coberta com vidro transparente de

espessura de 3 mm. A última etapa foi impermeabilizar o secador com tinta **Figura 8c** para que o mesmo não se deteriorasse com facilidade, em caso de contato com a água da chuva, por exemplo. O secador foi posto sobre um suporte de madeira **Figura 8d**.

Figura 8: Etapas da montagem do secador horizontal (a) caixa de madeira com a chapa de alumínio e lâ de vidro (b) tela com borda de madeira (c) impermeabilização da madeira (d) secador finalizado.



Após a montagem do secador solar com radiação direta, o mesmo foi aprimorado com um sistema de monitoramento e controle da temperatura interna através do uso de sensores de temperatura tipo DS18B20, acoplados no secador e a plataforma Arduino. O envio dos dados foi realizado através de um módulo *bluetooth* tipo HC-05, acoplado ao sistema eletrônico, e um *tablet* com aplicativo apropriado para a aquisição/visualização dos mesmos.

O sistema eletrônico atua de forma automática no controle de temperatura interna, através da atuação de seis *coolers*, instalados nas aberturas do secador. Dois na entrada, propiciando troca de calor por convecção forçada de ar e quatro na saída, propiciando insuflação do ar, à medida que a temperatura era superior ao estabelecido para assim refrigerar o sistema. As temperaturas utilizadas foram 50 °C, 60 °C e 70 °C com erro de ± 4 °C. Foi utilizado também um sensor de umidade tipo DHT11, que atuava em conjunto com o Arduino, para o monitoramento da umidade interna do secador. As **Figuras 9a** e **9b**, demonstram respectivamente o sistema eletrônico utilizado para o monitoramento e controle do processo e os materiais instalados no secador.

Figura 9: Monitoramento da temperatura de secagem (a) arduino montado com os componentes eletrônicos (b) coolers e sensores instalados no secador.

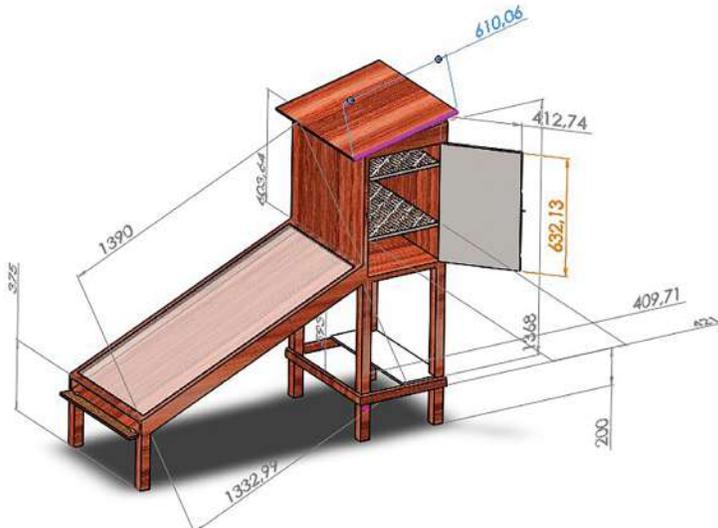


3.1 Secador Solar com radiação direta

O secador com radiação solar indireta, também conhecido como secador vertical, foi o segundo secador projetado utilizando o programa Solidworks. Ele foi construído com o coletor solar acoplado a câmara de secagem, de acordo com a **Figura 10**.

A estrutura do secador foi montada toda em madeira, o coletor

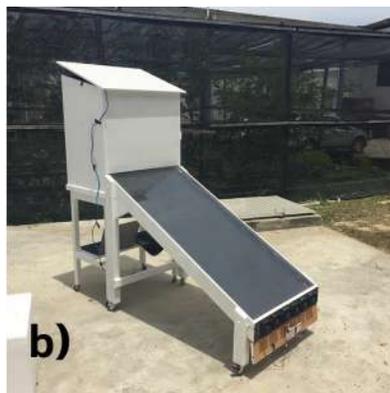
Figura 10: Modelo do secador com radiação solar indireta.



solar foi construído com as seguintes dimensões 68,20 cm de largura, 139,00 cm de comprimento e 10,00 cm de altura, obtendo uma área total de 0,95 m² de área total. Foi posta uma chapa de ferro da cor preta fosca a uma distância de 3 cm do vidro onde a chapa é aquecida e o ar quente, por convecção, entra no secador pela abertura inferior que troca calor com o produto e sai na parte superior quente.

Nas laterais da câmara de secagem do secador **Figura 11a** foi feito o isolamento térmico com lã de rocha, acondicionada e isolada com chapa de aço inox, evitando assim o contato com o alimento. A câmara de secagem, construída também com madeira, possui as seguintes dimensões: 68,20 cm de largura, 68,00 cm de altura. Na parte interna da câmara de secagem, estão dispostas bandejas feitas em telas de moeda de aço inoxidável. Na parte superior, foi posta uma abertura com 4 (quatro) regulagens de altura para a saída do ar quente e úmido. O secador de radiação solar indireta foi impermeabilizado e pintado, para aumentar o tempo de vida útil, o secador finalizado pode ser visualizado na **Figura 11b**.

Figura 11: Câmara de Secagem (a) Secador vertical pronto (b).



O coletor de radiação solar, que pode ser visualizado na **Figura 11 b**, é formado por 4 (quatro) elementos principais: a cobertura transparente de vidro, a placa coletora na cor preta fosco, a lã de vidro como isolante térmico e a carcaça de madeira.

A cobertura transparente de vidro é responsável por produzir o efeito estufa e reduzir as perdas de energia dentro do coletor, principalmente por meio da convecção.

A placa coletora tem a intenção de absorver a energia solar da forma mais eficiente possível e transformá-la em energia térmica. Para isto foi utilizada uma tinta preta fosca que suportasse temperaturas elevadas, para que não liberasse nenhum composto químico no alimento enquanto estivesse exposto aos raios solares.

O isolante térmico, para que não haja perda do calor gerado pela placa preta com o ambiente externo, foi a lã de vidro.

Após a finalização do secador solar com radiação indireta, foram instalados coolers na entrada do coletor solar, para realizar a convecção forçada e facilitar o processo de secagem. Foi realizado

o monitoramento da temperatura interna do secador na entrada de ar da câmara de secagem, na parte intermediária e na saída de ar e, portanto, não houve o controle da temperatura como ocorreu no secador solar de radiação direta, devido à grande abertura existente na saída de ar.

4. APLICAÇÃO SOCIAL

Existem grandes perdas de produtos agroindustriais, devido ao seu curto período de tempo de prateleira. Este aspecto faz com que a fruta coletada tenha que ser comercializada quase que imediatamente, muitas vezes por preços que não remuneram adequadamente a atividade de coleta pelos pequenos agricultores. O destino das frutas coletadas é a venda *in natura* para fábricas de sorvete, de polpa de fruta, ou as feiras livres. Para aumentar a durabilidade das frutas e agregar valor ao trabalho da coleta das mesmas é comum o uso da secagem como método de conservação de alimentos que atua na remoção de água ou de qualquer outro líquido, de um material sólido, pelo método de evaporação, que combina a transferência de calor e massa. Isto aumenta a vida de prateleira do produto, para que esta tecnologia chegue aos agricultores de baixa renda, é possível a utilização de secadores solares artesanais de baixo custo, como explanado anteriormente.

No secador de energia solar com ventilação natural, não é possível realizar o controle da temperatura durante a secagem do produto, pois depende ainda mais das condições externas, tanto da radiação solar quanto da velocidade e direção do vento (BANIASADI *et al.*, 2017). A implementação de ventilação forçada com controle de temperatura no processo, utilizando microcontrolador, faz-se necessária para a uniformidade e padronização, mantendo no processo de produção as mesmas características do produto.

Em processos industriais o uso de microcontroladores é muito comum, o arduino é um dispositivo eletrônico programável capaz de processar entradas e saídas entre ele e outros componentes externos, como sensores conectados, entre outros (MCROBERTS, 2011). Esta tecnologia de secagem está baseada na energia solar, uma tecnologia limpa, com grande disponibilidade no nordeste brasileiro.

REFERÊNCIAS

ALAMADA, M.; CÁCERES, M. S.; MACHAÍN-SINGER, M.; PULFER, J. C. **Guia de uso de secadores solares para frutas, legumbres, horatalizas, plantas medicinales y carnes**. Fundación Celestina Pérez de Almada, Asunción, Paraguay, 2005.

BENIASADI, E.; RENJBAR, S.; BOOSTANIPOUR, O. Experimental investigation of the performance of a mixed-mode solar dryer with thermal energy storage, *Renewable Energy*, 112, p. 143-150, 2017.

CHOUICHA, S.; BOUBEKRI, A.; MENNOUCHE, D.; BOUGUETAIA, H.; BERRBEUH, M. H.; BOUHAFS, S.; REZZOUG, W. Valorization Study of Treated Deglet-Nour Dates By Solar Drying Using Three Different Solar Driers, *Energy Procedia*, 50, p. 907 – 916, 2014.

CHOWDHURY, M.M.I.; BALA, B.K.; HAQUE, M.A. Energy and exergy analysis of the solar drying of jackfruit leather, *Biosystems Engineering*, 110 (2), p. 222–229, 2011.

EL-SEBAIL, A. A; ABOUL-ENEIN, S.; RAMADAN, M.R.I.; EL-GOHARY, H.G. Experimental investigation of an indirect type natural convection solar dryer, *Energy Conversion and Management*, 43 (16), p. 2251–2266, 2002.

EVANGELISTA, J. **Tecnologia de Alimentos**. São Paulo. 2º ed. Editora Atheneu, 2008.

FINCK-PASTRANA, A. G. Nopal (opuntia lasiacantha) drying using an indirect solar dryer, *Energy Procedia*, 57, p. 2984 – 2993, 2014.

GAVA, A. J. ; SILVA, C. A. B da; FRIAS, J. R. G. **Tecnologia de Alimentos: princípios e aplicações**. São Paulo: Nobel, 2008.

GEDDAM, S.; DINESH, G. K.; SIVASANKAR, T. Determination of thermal performance of a box type solar cooker, *Solar Energy*, (113), p. 324–331, 2015.

GOMES, D. G. Otimização teórica/experimental de um coletor de energia solar plano. *Instituto Tecnológica da Aeronáutica*, 2007.

JAIN D. and TEWARI P. Performance of indirect through pass natural convective solar crop dryer with phase change thermal energy storage, *Renewable Energy*, 80, p. 244–250, 2015.

KUMAR, M.; SANSANIWAL, S.K.; KHATAK, P. Progress in solar dryers for drying various commodities, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 55, p. 346-360, 2016.

LINGAYAT, A.; CHANDRAMOHAN, V. P.; RAJU, V. R. K. Design, Development and Performance of Indirect Type Solar Dryer for Banana Drying, *Energy Procedia*, (109), p. 409 – 416, 2017.

MAHAVAR, S.; SENGAR, N.; RAJAWAT, P.; VERMA, M.; DASHORA, P. Design development and performance studies of a novel Single Family Solar Cooker, *Renewable Energy*, (47), p. 67–76, 2012.

MAHAVAR, S. RAJAWAT, P.; PUNIA, R. C.; SENGAR, N.; DASHORA, P. Evaluating the optimum load range for box-type solar cookers, *Renewable Energy*, (74), p. 187–194, 2015.

MUSTAYEN, A.G.M.B.; MEKHILEF, S.; SAIDUR, R. Performance study of different solar dryers: A review, *Information Processing in Agriculture*, Article In Press, 2015.

PARK, K. J.; TADO, M. K. M.; BROD, F. P. R. Estudo de secagem de pêra bartlett (pyrus sp.) em fatias, *Ciências e Tecnologia de*

Alimentos, 21 (3), 2001.

PIRASTEH, G.; SAIDUR, R.; RAHMAN, S. M. A.; RAHIM, N. A. A review on development of solar applications, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 31, p. 133-148, 2014.

POTTLER, K; SIPPEL, C.M.; BECK, A.; FRICKE, J. Optimized finned absorber geometries for solar air heating collectors, *Solar Energy*, 67 (1-3), p.35-52, 1999.

ROOSEVELT, D.S; SADULLA, S; RAMASAMI, T. Solar dryer for leather and a comparative study on the characteristics of open-, solar- and electrical-dried leathers, *Renewable Energy*, 19 (1-2), p. 123-134, 2000.

RÜTHER, R; SALAMONI, I. O potencial dos setores urbanos brasileiros para a geração de energia solar fotovoltaica de forma integrada às edificações, Fórum Patrimônio, *Mudanças climáticas e o impacto das cidades*, 4 (1), 2011.

SILVA, J. de S. e. **Secagem e armazenagem de produtos agrícolas**, Viçosa : Aprenda Fácil, 2008.

TOSHNIWAL, U.; KARALE, S. R. A review paper on Solar Dryer, *International Journal of Engineering Research and Applications*, 3 (2), p. 896-902, 2013.





CAPÍTULO 2

BIODIESEL SOLAR

1. INTRODUÇÃO

1.1 Combustíveis

Em todo o planeta os combustíveis fósseis são usados como fonte de energia e matéria-prima para diversos fins. Sua crescente utilização proporcionou melhores condições de vida para humanidade, visto que seus derivados podem ser utilizados em diversos setores como o da indústria, alimentício, hospitalar, entre outros, e o combustível produzido através dele pode ser utilizado como fonte de energia elétrica, térmica, entre outras. De grande importância comercial, o setor petroquímico é alvo de grandes investimentos, e o petróleo, desde sua extração e refinamento, teve seu uso consolidado, sendo juntamente com seus derivados um dos produtos mais exportados e importados entre os países, gerando uma grande dependência social e econômica deste insumo (HASSANI *et al.*, 2017).

Todavia, as reservas estão se esgotando, devido à atual taxa de consumo, podendo causar ruptura energética no mundo. Agregado a isso, a utilização de petróleo como fonte de energia e, conseqüentemente, a queima de seus subprodutos, vem gerando poluição ambiental de diversas formas, causando grandes danos a camada de ozônio, provocando chuvas ácidas, inviabilizando fontes de água potável devido à emissão de materiais tóxicos na natureza, seja através de gases derivados do seu uso como monóxido e dióxido de carbono, dióxidos de nitrogênio e enxofre ou descarte de seus subprodutos e vazamentos de óleo em sua extração, provocando ainda doenças pulmonares e câncer (GOLVEIA, 2012; BPWSRE, 2017).

Devido a essas problemáticas, estudos na área de fontes alternativas de energia vêm sendo realizados com o intuito de não apenas substituir a utilização de petróleo e seus derivados, mas fazê-lo de maneira sustentável, além de combater o efeito nocivo de seu uso. Tais fontes vêm se destacando devido ao grande potencial de geração de energia, seja na produção de combustível para uso em transporte, ou de energia elétrica, com a utilização da biomassa, energia solar, eólica, entre outras (OLIVEIRA & COELHO, 2017).

Dentre as fontes alternativas de energia, a biomassa, recurso renovável originado de matéria orgânica, vem ganhando notoriedade no setor energético brasileiro, destacando-se a biomassa de resíduos urbanos, como os óleos vegetais já utilizados, casca de ovos e a casca de coco. O Brasil é o 2º maior produtor de óleos vegetais do mundo, o 4º maior produtor de coco e o 5º maior produtor de ovos de galinha, e a utilização desses insumos gera grande quantidade de resíduos urbanos. O reaproveitamento desses materiais é de grande importância econômica, social e ambiental, pela possibilidade de síntese de diversos produtos, dentre eles biocombustíveis, podendo gerar renda e inclusão social para famílias de baixa renda, além de contribuição na conservação do meio ambiente (FIGUEIRA, 2005; NUNES *et al*, 2014).

Dentre os combustíveis gerados com a utilização da biomassa encontram-se os derivados de álcool éster de ácidos graxos, como o biodiesel, combustível renovável e menos poluente, sintetizado através de rotas químicas consolidadas, possibilitando a produção de energia elétrica e térmica, tendo a vantagem de poder ser misturado ou substituir completamente o diesel de petróleo, diminuindo os custos na importação do mesmo, além de reduzir a emissão de gases poluentes e ser de grande aceitação no mercado mundial (AYETOR *et al*, 2016).

1.2 Políticas Públicas de Redução de Agentes Tóxicos no Mundo

As políticas de meio ambiente são ações regulatórias de atividades que têm impacto direto no meio ambiente. Seu objetivo é proteger o meio-ambiente, em preocupação com a qualidade do mesmo para futuras gerações enquanto interfere minimamente nas questões ligadas ao comércio de produtos que estão diretamente ou indiretamente ligados com o setor de energia e combustíveis. As estratégias utilizadas estão baseadas em reduzir a quantidade de materiais tóxicos emanados pela indústria (como derivados de carbono, nitrogênio e enxofre) e setor de transportes e, paralelamente, aumentar a utilização de fontes de energia renovável ou mesmo substituir os derivados de combustíveis fósseis integralmente (BRASIL, 2019).

Dentre as políticas voltadas para a atenção ao meio ambiente, o Protocolo de Kyoto foi criado como um acordo internacional que trata sobre as questões climáticas mundial, com o objetivo de fazer os países mais desenvolvidos e poluidores reduzirem e limitarem as emanações de materiais tóxicos no meio-ambiente, advindo também do uso de combustíveis fósseis, em pelo menos 5,2% em comparação aos níveis emitidos de poluentes em 1990 através de mecanismos como o comércio internacional de emissões, prevendo ações de reforma nos setores de energia e transporte, com a utilização de energias renováveis e políticas de conservação de biomassa que atuam diretamente na eliminação de poluentes (KUMAR, 2015).

1.3 Políticas Públicas de Redução de Agentes Tóxicos no Brasil

1.3.1 Pró-Álcool e Proconve

Seguindo a tendência mundial, o Brasil faz parte dos países que se preocupam com os efeitos da emissão de poluentes e as consequências que os mesmos trazem ao meio ambiente.

Um dos programas pioneiros implementados para não só minimizar os impactos das emissões de poluentes, mas dar um viés econômico alternativo ao setor de combustíveis no país, em substituição à gasolina, foi a criação do Programa Nacional do Álcool - PRÓ-ÁCOOL através do decreto nº 76.593 de 1975 (RATHMANN, 2012).

Outro exemplo de programa que possibilitou ao Brasil avançar nas políticas de controle das emissões de gases nocivos foi o Programa de Controle de Poluição do Ar por Veículos Automotores - PROCONVE, criado em 1986 através da Resolução nº 18 do CONAMA, coordenado pelo IBAMA, com o objetivo de definir limites de emissões dos veículos leves, podendo proibir a fabricação e circulação dos mesmos, caso não estejam de acordo com seus padrões.

1.3.1.1 Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel do Brasil

Em 2003, o Governo Federal liderou um estudo sobre a viabilidade da produção e uso de biocombustível na matriz energética nacional. Esse estudo culminou na Lei 11.097 de 13 de janeiro de 2005, que regulamenta o Programa Nacional de Produção e Uso do Biodiesel (PNPB) e discorre sobre a inclusão de maneira obrigatória do biodiesel na matriz energética nacional, na porcentagem, à época, de 5%. Na atualidade esse número é de 10% desde 1º de março

de 2018, conforme a Lei 13.263/16 e aprovada pelo Conselho Nacional de Política Energética (CNPE) (BRASIL, 2019).

O PNPB objetiva a implementação sustentável do uso de biodiesel, desde a captação dos insumos até a síntese o combustível, promovendo inclusão social através de diversificação do uso da matéria-prima com a agricultura familiar (MDA, 2019).

As empresas produtoras de biodiesel podem deter o Selo Combustível Social, que confere a quem o possuir o acesso a incentivos fiscais e condições diferenciadas de financiamentos. Porém, para adquirir esses benefícios o produtor está encarregado de algumas obrigações, como fazer a aquisição formalizada de uma porcentagem mínima de matéria-prima dos produtores de agricultura familiar ou cooperativas, além de capacitar e dar assistência técnica aos agricultores contratados (FERREIRA *et al.*, 2015).

1.3.1.2 Brasil e o Acordo de Paris

Nesta última década, entre anos de 2016 e 2017, na 21ª Conferência das Partes (COP21) da UNFCCC (United Nations Framework Convention on Climate Change), foi assinado por aproximadamente 195 países participantes o Acordo de Paris, tendo como objetivo principal a consolidação de uma resposta global à ameaça e impactos decorrentes da mudança climática, principalmente no sentido de reduzir as emissões de gases do efeito estufa de forma sustentável, com o compromisso de regular o aumento da temperatura no globo. Para tal fim, cada país participante deverá apresentar sua contribuição em relação à redução de emissões dos gases de efeito estufa, mediante o cenário econômico-social local (MDA, 2019).

Mais recentemente, foi concluído, após a aprovação pelo Congresso Nacional Brasileiro, o processo de validação do Acordo de Paris, com o comprometimento de reduzir as emissões de gases de efeito estufa em 37% abaixo dos níveis de 2005 até 2025 e 43% até 2030. Para alcançar esse objetivo, o Brasil se comprometeu principalmente a aumentar a participação sustentável de bioenergia, como biodiesel, na sua matriz energética para aproximadamente 18% e alcançar uma participação estimada de 45% de energias renováveis na composição da matriz energética até 2030 (MDA, 2019).

1.4 Biodiesel no Brasil

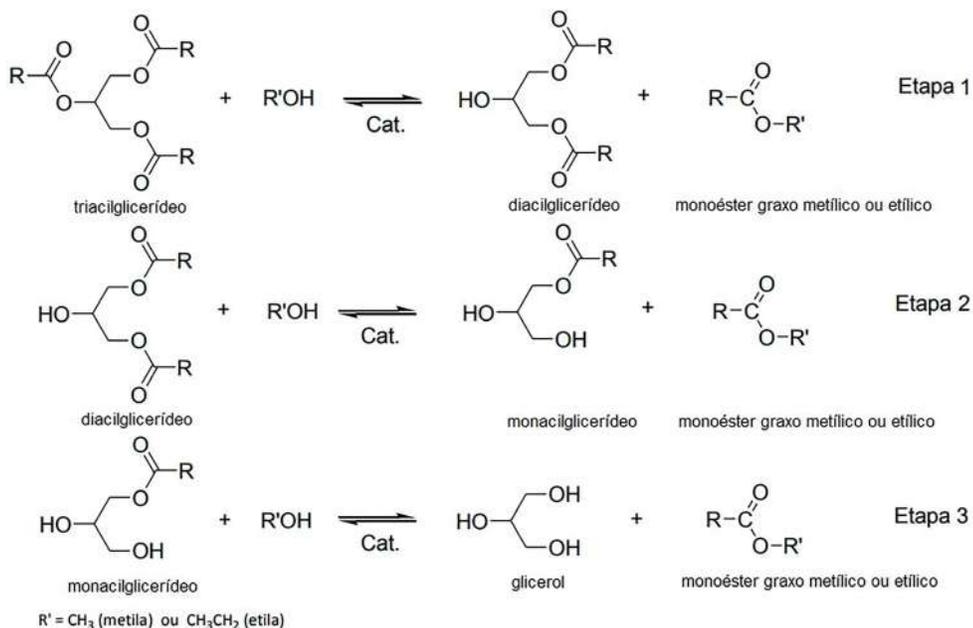
A Agência Nacional de Petróleo (ANP) define o biodiesel, através da Resolução nº 45 de 25 de agosto de 2014, como sendo “um combustível derivado de biomassa renovável para uso em motores a combustão interna com ignição por compressão, que possa substituir parcial ou totalmente o óleo diesel de origem fóssil”. É uma fonte alternativa de energia, que possui propriedades físico-químicas similares ao diesel de petróleo, tendo como vantagens ser atóxico, renovável, menos poluente, reduzindo a quantidade de gases tóxicos emanados no meio ambiente, economicamente atrativo e competitivo, favorecendo a inclusão social através da criação de renda nas áreas urbanas através de cooperativas de catadores de óleo de fritura usado ou nas áreas rurais com o plantio de oleaginosas através da agricultura familiar. É um biocombustível que pode ser utilizado em motores de combustão ciclo Diesel parcial ou integralmente, sem necessidades de adaptações ao motor (REHAN et al., 2018; LI et al., 2018).

O biodiesel é oriundo de álquil éster de ácidos graxos, podendo ser sintetizado através da reação endotérmica de transesterificação de triglicerídeos, encontrados em óleos vegetais virgens ou já

utilizados, ou mesmo em gordura animal, com um álcool, formando monoéster (biodiesel) e como subproduto o glicerol, em presença de um catalisador. A transesterificação ocorre em três etapas sucessivas e reversíveis, onde diacilglicerídeos e monoacilglicerídeos surgem como intermediários e monoésteres são formados, como demonstrado na **Figura 12** (MENEGETTI *et al.*, 2013).

Figura 12: Etapas reacionais envolvidas na transesterificação de triacilglicerídeos

Fonte: MENEGETTI *et al.*, 2013



1.5 Matéria-prima para a produção de biodiesel

1.5.1 Oleaginosas

A produção de vegetais no Brasil é parte essencial da economia do país, gerando emprego e renda em diversos setores, seja no meio rural ou urbano. Seus derivados consolidaram o país como um dos maiores produtores e exportadores do mundo e possuem grande importância nos setores alimentício, cosmético, energia, entre outros. Dentre as principais culturas cultivadas no país estão as oleaginosas, vegetais contendo altos índices de óleos e gordura, formados basicamente de triglicerídeos derivados de ácidos graxos. O óleo de soja, por exemplo, teve uma participação de 3.072.446 m³ na produção de biodiesel (OLIVEIRA & COELHO, 2017; THOAI, 2017, BEN 2018).

1.5.1.1 Óleo de Fritura Usado (OFU)

Em geral, para a cocção de alguns alimentos, são utilizados óleos vegetais comestíveis, como soja, canola, palma, entre outros. Outrora, depois da cocção, o óleo de fritura usado era descartado na natureza. Porém, estudos vêm sendo desenvolvidos sobre viabilidade desse tipo de óleo em relação à sua utilização como matéria-prima para produção de biodiesel (SAHAR *et al.*, 2018).

O interesse gerado na utilização desse tipo de óleo é pelo fato de que até 80% do custo de produção do biodiesel é devido à utilização de óleos virgens (plantio, cultivo e extração) e a reutilização do OFU permitiria reduzir drasticamente esse valor. Paralelamente há uma maior preservação do meio-ambiente, visto que o descarte adequado evitaria o entupimento de tubulações de esgoto e conseqüentemente contribuiria na redução do uso de agentes

químicos para a manutenção dos mesmos, além de contribuir na redução de enchentes urbanas, favorecendo a drenagem de águas, e manutenção da vida, pois, o óleo mal descartado impermeabiliza e impossibilita a drenagem e o acesso a oxigênio por seres vivos (JIANG & ZHANG, 2016).

O OFU é agente de inclusão social e fonte de renda para famílias carentes, tendo valor comercial, e de grande interesse na indústria, sendo uma das matérias-primas mais importantes para a produção de biodiesel no Brasil.

No trabalho de ALI et al. (2017), OFU foi utilizado para produção de biodiesel com rendimento de 84% utilizando *Pseudomonas aeruginosa* FW_SH-1 como catalisador, metanol a uma razão molar de 3:1 em relação ao OGR, a uma temperatura de 44,2°C, rotação de 170 rpm, durante um tempo de 24 horas.

GUPTA & RATHOD (2018) em seu trabalho, sintetizaram biodiesel derivado de OGR e metanol com 94.86% de rendimento, utilizando aparelho de micro-ondas para aquecimento da reação a 62°C, com 1,03% (em relação à massa do óleo) do catalisador digliceróxido de cálcio.

1.5.2 Catalisadores Heterogêneos

Catalisadores são substâncias químicas, naturais ou sintetizadas, utilizadas para modificar a velocidade de uma reação química sem participar do produto final. Por desempenharem função fundamental em processos e produção industrial, há uma constante busca para sintetizar novos catalisadores ou mesmo aprimorar os que já existem com intuito de atender diversas demandas, dentre elas a redução de custos dos processos e os impactos ambientais na formação dos produtos (PETROV *et al*, 2012).

Na produção de biodiesel, o catalisador se faz imprescindível, tanto na aceleração do processo reacionário como na diminuição dos custos de produção.

1.5.2.1 Catalisadores Heterogêneos a base de CaO derivados de Casca de Ovo

O CaO é um composto químico largamente utilizado pela indústria para tratamento de solos ácidos, na metalurgia extrativista, argamassa na construção civil, em tintas para pintura, entre outros. É um sólido branco, cáustico e alcalino a temperatura ambiente, geralmente derivado de materiais que contém carbonato de cálcio (CaCO₃) como a casca de ovo de galinha, sendo extraído através de decomposição térmica a temperatura em torno de 900°C (WERLE *et al.*, 2014; HOPPE FILHO *et al.*, 2017).

No Brasil o ovo de galinha é um dos alimentos mais consumidos, sendo importante fonte de vitaminas, proteínas e minerais. Seu principal subproduto é casca de ovo, onde em 2017 foram produzidas mais de 2 milhões de toneladas (IBGE, 2017).

Segundo MICICOVÁ *et al.* (2016), a casca de ovo é um compósito biocerâmico, natural, formado por material orgânico e mineral. É constituído por camadas, sendo a mais exterior de natureza calcária. É composta quimicamente por 94% de carbonato de cálcio, possuindo ainda em pequenas proporções, fosfato de cálcio e carbonato de magnésio.

Atualmente, a casca de ovo é utilizada como fonte de cálcio para outras aplicações como correção de pH de solo (RODRIGUES & ÁVILA, 2017), absorção de gás carbônico disperso no meio ambiente (SACIA *et al.*, 2013), complemento alimentar devido ao alto teor de cálcio (NAVES *et al.*, 2007) e como catalisador para produção de biodiesel (TAN, 2015).

KOUZU (2008), descreve que o mecanismo de transesterificação através do CaO se dá quando os sítios básicos presentes no catalisador retiram o próton do álcool formando um ânion metóxido. Este por sua vez reage com o grupo carbonila presente no triacilglicerol formando um composto alcoxicarbonila. Em seguida a alcoxicarbonila é decomposta nas moléculas de éster e diglicerídeo e podendo iniciar um novo ciclo catalítico com a formação de monoglicerídeos que serão convertidos em éster (biodiesel) e glicerina.

JOSHI *et al.* (2015) produziram biodiesel de óleo de pinhão-manso e karanja com rendimento máximo de 69.65% e 65.8%, respectivamente, utilizando dolomita e CaO derivado de casca de ovos de galinha, sob temperatura de 65°C, com tempo de reação de 2h e 5% de massa de catalisador em relação a massa total de óleo.

Recentemente TEO *et al.* (2017), produziram biodiesel de óleo de pinhão-manso utilizando CaO derivado de casca de ovo de galinha, onde a melhor condição experimental foi obtida quando o tempo de reação foi de 2h, com razão molar metanol/óleo de 6:1, temperatura de 90°C, obtendo 98% de conversão.

1.5.2.2 Catalisadores Heterogêneos a base de CaO derivados de Casca de Coco

O Brasil detém aproximadamente 30% da produção mundial de coco derivado do coqueiro (*Cocos nucifera* Linn), sendo responsável por uma produção em torno de 2 milhões de toneladas deste insumo, 4º maior produção do mundo. No país, o coco é largamente utilizado como matéria-prima em uso culinário e na indústria com a produção de óleos, leite, sabão e mercado de água. Todavia, somente o endocarpo carnosos e água de coco possuem interesse comercial, sendo que a casca (mesocarpo) é pouco explorada e comumente descartada, tanto em áreas urbanas como rurais. O

descarte indevido das cascas gera refugo e serve de alimento para pragas nocivas ao homem como mosquitos, baratas, ratos moscas, que podem causar doenças como dengue, leptospirose, febre tifoide e dengue (PIMENTA *et al.*, 2015).

A casca de coco é formada por lignina, celulose e hemi-celulose, compostos que dão constituição fibrosa a casca, conferindo importantes propriedades como biodegradabilidade, dureza, atoxidade e durabilidade (ARSYAD, 2015).

Alternativas tecnológicas sobre reaproveitamento das cascas de coco, devido à suas propriedades, vêm sendo estudadas e propostas. Dentre estas alternativas estão a fabricação de artesanato, a produção de substratos para plantio (KRAUSE *et al.*, 2017), mantas para proteção do solo (BRAGA *et al.*, 2017), bioetanol (CABRAL *et al.*, 2016) e biodiesel (THUSHARI *et al.*, 2019).

A casca de coco pode ser convertida energeticamente através de processos térmicos, submetendo-a a ação do calor em ambiente fechado, com pequena quantidade ou exclusão total de ar, onde são liberados gases e vapores de água, até transformá-la em compostos mais simples como carvão vegetal, podendo ser utilizado como suporte para catalisadores, por ser um material resistente a temperaturas, atrito e possuir grande área superficial, o que promove contato com os reagentes (GRATUITO *et al.*, 2008; SANTOS & HATAKEYAMA, 2012; HIDAYU & MUDA, 2016).

Em 2014, os pesquisadores VADERY *et al.* (2014) utilizaram cinzas de casca de coco como catalisador para produção de biodiesel de óleo de pinhão-manso com rendimento máximo durante 3h de reação, uso de 5% de catalisador (em relação a massa do óleo) e razão molar de 15:1 (metanol/óleo).

É importante salientar que, devido ao crescimento da população, agregado ao desenvolvimento de novas tecnologias, a produção agroindustrial tem tido um crescimento expressivo, assim como sua participação no Produto Interno Bruto. Paralelamente, há também um aumento no volume da geração de resíduos agroindustriais, gerados a partir do processamento de, por exemplo, alimentos, madeira, celulose e couro, que podem causar problemas ambientais como contaminação de fontes potáveis, proliferação de doenças zoonóticas e emissão de gases tóxicos (TOLLER, 2016).

Os órgãos reguladores ambientais, juntamente com os governos, em geral, impõem e aplicam leis no intuito de atenuar os impactos ambientais causados por esses resíduos. Nesse contexto, novas tecnologias vêm sendo desenvolvidas e empregadas no intuito de minorar essa problemática, e dentre elas estão aquelas que se utilizam de resíduos agroindustriais para produzir energia elétrica ou mesmo criar produtos, resultando em melhorias que vão desde a inclusão social até a atenuação dos impactos ambientais (MORAES *et al.*, 2017).

Dentre os resíduos agroindustriais gerados no Brasil, encontramos o óleo de fritura usado, a casca de ovo e a casca de coco, aqui descritos. A falta de um destino correto para o descarte desses resíduos e seu potencial como matéria-prima, estimula sua utilização com viés mais nobre.

1.5.3 Etanol

O etanol é uma importante matéria-prima para produção de biodiesel por possuir em sua composição aceptores do radical acil, presente no triglicerídeo do óleo vegetal, ter menor massa molar, que facilita a reação com o triglicerídeo, além de possuir alta solubilidade e fácil separação com o subproduto (MUSA, 2016).

No ano de 2017, a produção de etanol alcançou a marca de 28.276,4 mil m³. Do total produzido 41,5% (11.727,3 mil m³) está relacionado ao etanol anidro, sendo mais comum seu uso na mistura com a gasolina tipo A para formar a tipo C (portaria nº 143 da ANP) e na produção de biocombustível (BEN, 2017).

Possui vantagens como tecnologia e processos de produção consolidados, aceitação pelo mercado consumidor, ser produzido por fontes renováveis, reagente consolidado na produção do biodiesel e ecologicamente mais aceito.

Pesquisas vêm sendo desenvolvidas com o uso do etanol como precursor na produção de outros combustíveis como hidrogênio (OLIVEIRA *et al.*, 2017) e butanol (CIMINO *et al.*, 2018), como combustível alternativo para transporte automotivo (SAKTHIVEL *et al.*, 2018), como agente desinfetante viral (KAMPF, 2018), entre outros.

KOCHEPKA *et al.*, 2015, utilizaram em seu trabalho etanol na produção de biodiesel juntamente com óleo de fritura usado como reagente, obtendo, depois de 10 horas de reação, um rendimento de 77.2%.

Também para produção de biodiesel o etanol foi usado como reagente, juntamente com óleo de karanja, no trabalho de Verma & Sharma (2016), onde os autores conseguiram rendimento de 77.4% em duas horas de reação.

1.6 Sistema Fotovoltaico

Para suprir a demanda de energia elétrica mundial de maneira sustentável, tecnologias têm sido desenvolvidas e implementadas na utilização de energia limpa e renovável. Dentre essas

tecnologias, estão os painéis fotovoltaicos, que são materiais constituídos essencialmente por semicondutores, gerando energia elétrica devido ao efeito fotoelétrico, onde fótons com energias maiores que a energia de banda do semicondutor são absorvidos promovendo elétrons da banda de valência para banda de condução (SHANKS *et al.*, 2016).

No Brasil, entre 2014 e 2016, houve um aumento de aproximadamente 14% na produção de energia elétrica derivada de painéis fotovoltaicos instalados, totalizando 53,6 GWh de geração e 56,9 MW de potência instalada respectivamente, com forte tendência a um aumento anual, consolidando esta área com uma das mais importantes no setor de energia brasileiro e paralelamente corroborando com as políticas de preservação do meio ambiente (BEN, 2017).

Além da participação em grandes centrais de produção de energia elétrica, os sistemas fotovoltaicos vêm sendo estudados em diversas outras aplicações como fontes de produção de energia em veículos automotivos (CASTRO *et al.*, 2017), iluminação pública (LIU, 2014), telecomunicação (ALSHARIF & KIM, 2016), satélites (LINCOT, 2016) e auxílio energético no bombeamento residencial de água (SHAO *et al.*, 2018).

1.7 Sistema Termossifão

O uso do termossifão, coletor solar plano fixo que absorve a energia da radiação solar, converte a mesma em calor e transfere parte dessa energia para o fluido em seu interior, que é então armazenada e/ou posteriormente utilizada, vem sendo estudado como alternativa para aquecimento de água, por não gerar gases tóxicos, ter componentes de baixo custo e fácil instalação, reduzindo assim a demanda por energia elétrica em residências

e estabelecimento comerciais e, conseqüentemente, o uso de usinas poluidoras como a termoelétrica e nuclear (ALTOÉ *et al.*, 2012; GARNIER *et al.*, 2018).

Seu funcionamento consiste no surgimento de forças de empuxo no fluido capazes de superar a influência de forças viscosas, devido à combinação de um gradiente de densidade surgido com a presença de um gradiente de temperatura e do excesso da força gravitacional na parte mais densa do fluido, onde há então descolamento do mesmo, propiciando um padrão de circulação. Esse fenômeno é nomeado de convecção natural (INCROPERA *et al.*, 2011).

Os coletores solares planos podem ser divididos em dois grupos: os de circulação forçada, quando a diferença de densidade não é suficiente para deslocar o fluido no sistema, sendo necessário bombeamento, e os de circulação natural, quando há a circulação de água no sistema sem a necessidade de bombeamento, utilizando o princípio da diferença de densidade devido à diferença de temperatura no coletor, ocorrendo assim uma movimentação do fluido por convecção natural (EMAMI, 2012).

O conjunto de componentes do termossifão geralmente inclui, além da placa absorvedora, tubos e conexões e um tanque para armazenamento do fluido. As placas, geralmente, são dispostas com uma inclinação igual à latitude local ou acrescida até 10°, com intuito de aumentar a absorção de radiação solar ao longo do ano, devido às mudanças angulares entre o sol e a terra ao longo do ano (QIN *et al.*, 2015).

NASPOLINI & RÜTHER (2017) em seu trabalho, estudaram o impacto no consumo de energia elétrica em um condomínio com 90 unidades consumidoras com a instalação de um sistema de

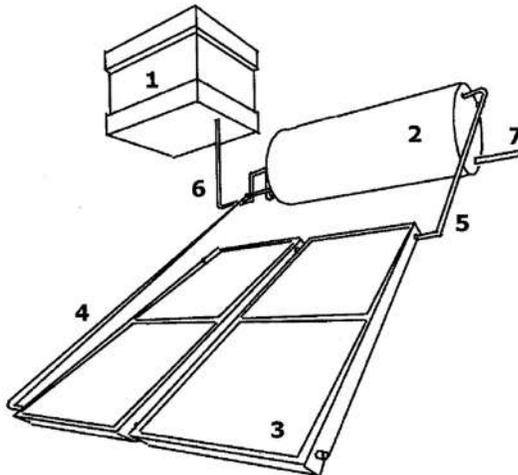
termossifão de $1,4\text{m}^2$ de área para aquecimento de 100L de água. Os resultados demonstram uma redução no consumo anual de 198kWh, evitando custos pagos com energia elétrica.

HOFFMAN & NGO (2018) em seu trabalho, afirmam que o uso do termossifão para aquecimento de água em lugares frios ajudam na higiene pessoal e conseqüentemente prevenção de doenças. Em seu trabalho os autores utilizaram termossifão de $1,02\text{ m}^2$ para aquecimento de 114L de água, obtendo ganhos de temperatura de até $17,7\text{ }^\circ\text{C}$.

A **Figura 13** apresenta os componentes básicos de um uma instalação tipo termossifão.

Figura 13: Modelo de funcionamento de um termossifão.

Fonte: (GUERRA, 2014).



Onde: **1** - Caixa d'água, **2** - Reservatório Térmico, **3** - Coletores Solares, **4** - Alimentação dos Coletores, **5** - Retorno dos Coletores, **6** - Alimentação de Água Fria e **7** - Consumo de água quente.

1.8 Concentrador Solar

Na preparação da casca de coco como catalizador, é necessária a calcinação da mesma, que pode ser feita utilizando a energia solar concentrada advinda de um concentrador solar do tipo Scheffler.

Concentradores solares são equipamentos providos de material reflexivo, absorvendo e transmitindo radiação, permitindo sua transformação para utilização em aquecimento ou em outro tipo de energia útil (VILLAMIL *et al.*, 2013).

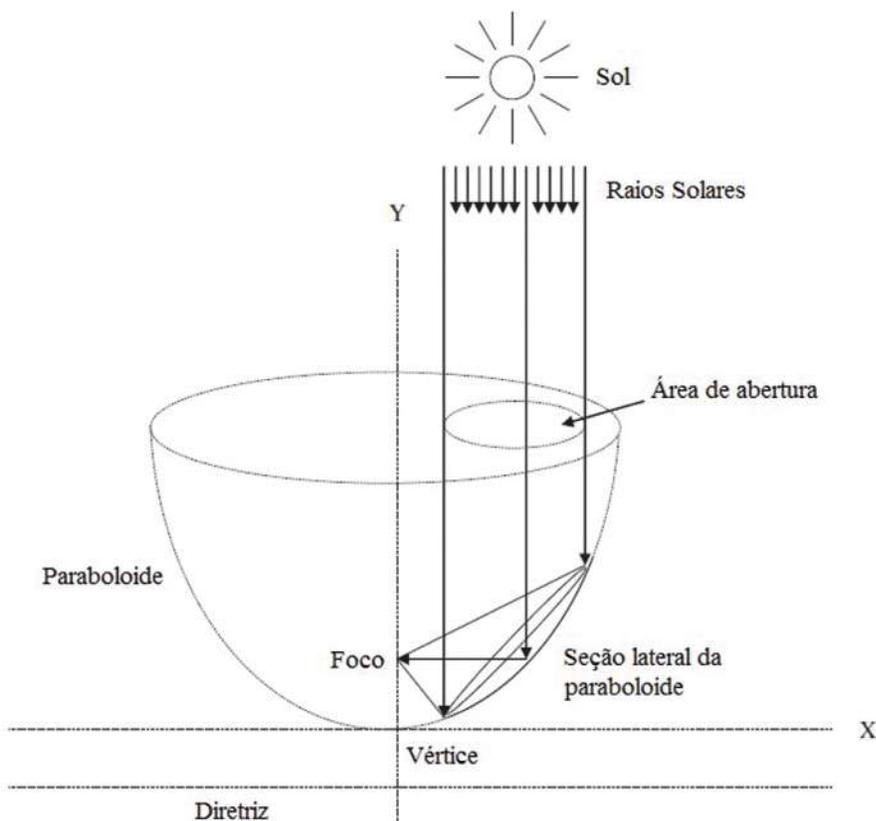
Aplicações dos concentradores solares envolvem esterilização de materiais (DRAVID *et al.*, 2012), uso em lasers (MATOS *et al.*, 2018), decomposição da água para produção de hidrogênio (RAO & DEY, 2017), produção de potássio para fertilização (MÜLLER *et al.*, 2018) e produção de algas (RAEISSADATI *et al.*, 2019).

Dentre os vários tipos de concentradores, o de foco fixo Scheffler, formado por uma estrutura metálica e um agrupamento de espelhos, vem sendo mais utilizado devido à possibilidade de ser acoplado ao mesmo um sistema de rastreamento solar, com a modificação do posicionamento do concentrador à medida que há mudanças angulares ao longo do dia entre o sol e a terra, para aumentar a capacidade de recebimento dos raios solares ao longo do dia, além de ser robusto e ter manutenção de fácil e baixo custo (KUMAR *et al.*, 2019).

O concentrador tipo Scheffler, ao contrário de concentradores parabólicos convencionais, tem sua forma baseada apenas em uma seção lateral de uma paráboloide, como mostra a **Figura 14**. Seu foco está no eixo de rotação do concentrador, onde permanece fixo no receptor, mesmo com alterações angulares entre o sol e a terra ao longo do dia (MUNIR *et al.*, 2010).

Figura 14: Representação da área de abertura e da área de captação da radiação solar do concentrador tipo Scheffler em uma seção lateral de um parabolóide

Fonte: (MUNIR et al., 2010)



Salienta-se que energia solar pode então ser então transformada, nos aspectos aqui apresentados para produção de biodiesel, em energia térmica para calcinação de materiais, aquecimento de água e produção de energia elétrica.

2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA E TECNOLOGIA

O projeto da planta para produção de biodiesel em escala laboratorial, que leva em consideração o uso sustentável da energia solar como força motriz, tem como parâmetro básico a necessidade de um equipamento de fácil utilização e baixo custo, para que possa ser usado como tecnologias de inclusão social e fonte de renda, agregando valor a produtos que seriam descartados no meio ambiente, como cascas de ovo de galinha e coco, e óleo de fritura usado, ajudando concomitantemente na manutenção sustentável do meio ambiente.

Neste projeto aqui descrito foram considerados diversos fatores que estão ligados diretamente com a parte técnica e econômica do processo de produção. A planta foi projetada para trabalhar com óleos já utilizados como um dos reagentes, oriundos de processo de cocção de alimentos, chamados, como visto, óleo de fritura usado. Considera-se o etanol utilizado como o outro reagente no processo, tanto por ser oriundo de fontes renováveis, como por ter grande disponibilidade deste insumo no mercado, visto que o Brasil é um dos maiores produtores mundiais. Nas reações foram utilizadas como catalisador as cascas calcinadas de casca de ovo e casca de coco.

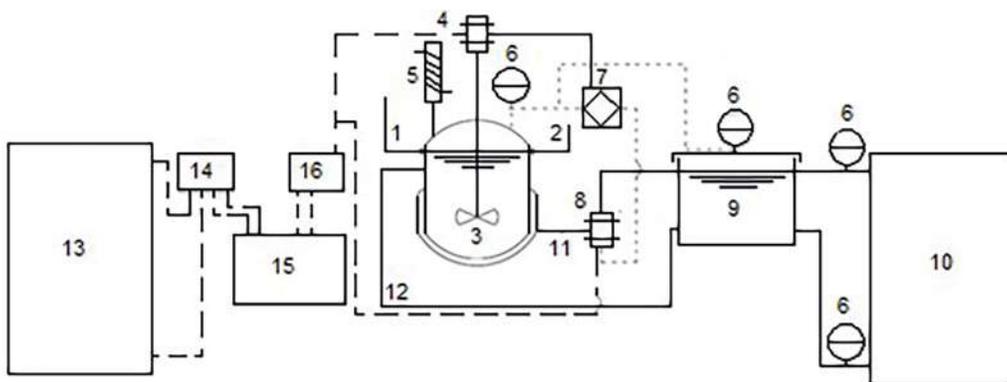
2.1 Montagem da Planta para Síntese de Biocombustível

A planta foi constituída por um reator encamisado de aço inox 304 com volume interno de 0,6 L, com adaptação para condensador, agitador mecânico e sensor de temperatura, um Arduino modelo UNO para monitoramento e controle da temperatura, seis sensores de temperatura tipo DS18B20 a prova de água, uma bomba

volumétrica modelo BF12 (70W), módulo de relé SRC-05VDC-SLC, agitador mecânico Fisatom 713D (130W), coletor solar de PVC com área de aproximadamente 0,72 m², dois painéis fotovoltaicos Kyocera de 235W, controlador de carga marca Phocos 20A, duas baterias Heliar de 110 Ah, conversor de energia Phocos 1500W, fonte de tensão de 5/12V, reservatório de poliestireno de 17 litros, tubos e conexões de PVC.

A **Figura 15** é uma representação esquemática da planta de produção e todos os seus componentes.

Figura 15: Representação esquemática da planta de produção.



Onde: 1 – entrada do óleo vegetal, 2 – entrada de solução álcool e catalisador, 3 – reator, 4 – a gitador mecânico, 5 – condensador, 6 – sensor de temperatura, 7 – Arduino, 8 – bomba volumétrica, 9 – reservatório de água, 10 – termostato, 11 – entrada de água quente no reator, 12 – saída de água fria no reator, 13 – painéis solares, 14 – controlador de carga, 15 – bateria, 16 – conversor de energia.

A montagem do termostato se deu utilizando coletor solar de PVC fixo, instalado em suporte com inclinação aproximada de 20,8° na direção norte, de acordo com a latitude da cidade, acrescida de 10°

para que houvesse melhor captação da radiação solar. Nele foram acoplados tubos e conexões ligados diretamente no reservatório de poliestireno (KALOGIROU, 2004; GUERRA, 2014).

Para o sistema de monitoramento e controle de temperatura da reação, os sensores de temperatura foram instalados na placa Arduino, sendo utilizados posteriormente no reator, na caixa de poliestireno, e na entrada e saída de água do termosifão, seguidos da montagem do módulo relé, que foi conectado tanto na placa Arduino quanto na bomba volumétrica. A bomba volumétrica por sua vez foi conectada ao reservatório de poliestireno.

Com a programação abordando tanto os itens necessários para leitura dos dados dos sensores como os valores desejados de temperatura no processo, a mesma foi escrita no microcontrolador da placa utilizando o software livre de programação IDE.

No reator encamisado de aço inox foram instalados o agitador mecânico, o condensador para retorno do álcool da reação, os tubos da caixa de poliestireno, a bomba volumétrica e um dos sensores de temperatura.

O sistema contendo painéis fotovoltaicos, controlador de carga, conversor e baterias, que forneceu energia para o Arduino, para a bomba volumétrica e para o agitador mecânico já estavam previamente instalados.

Através da **Figura 15** é possível perceber que em **(1)** e **(2)** estão as entradas para os reagentes no reator **(3)** e a reação ocorre sob agitação através de um agitador mecânico **(4)**. Em **(5)** há um condensador para recuperação do álcool evaporado. As temperaturas de entrada e saída do coletor, do reservatório de água e da reação foram medidas pelos sensores de temperatura

(6) e a informação gerenciada através de uma placa Arduino (7) que por sua vez gerenciava o acionamento da bomba (8) mediante as condições de temperatura pré-estabelecidas, não sendo ativada se a temperatura do reservatório estivesse menor do que o valor desejado para a reação. A água no reservatório (9) era aquecida através de trocas de energia utilizando a energia da radiação solar captada em (10) e esta por sua vez, quando a bomba era ativa, entrava aquecida no reator por (11) e saía resfriada por (12).

A captação da radiação solar e sua transformação em corrente contínua ocorria através do uso de painéis fotovoltaicos (13), sendo gerenciada por um controlador de carga (14) e armazenada em baterias (15) para ser transformada em corrente alternada através de um conversor de energia (16).

2.2 Preparo e Síntese do Biocombustível

Na utilização dos materiais aqui descritos, que podem ser sintetizados em catalisadores, faz-se necessário previamente o seu preparo que consiste, quando utilizadas cascas de ovos, em lavagem com água destilada retirada de toda a parte orgânica aderida à casca. Após a lavagem, as cascas são secas em estufa a 60°C durante 24h e em seguida trituradas com o auxílio de um almofariz e pistilo de ágata, peneiradas com peneira 25 mesh e 50 mesh para redução da granulometria e então calcinadas em mufla a 900°C por um período de 2 horas, resultando em um pó fino de coloração branca (NAVAJAS et al, 2013; PANDIT & FULEKAR, 2017) e, quando utilizadas cascas de coco, moagem através de um triturador para redução do tamanho do sólido, peneiração com peneira de 25 mesh, lavagem com água destilada, secagem em estufa a 60°C durante 24h e calcinação utilizando um forno, reator e concentrador solar durante um tempo de 3 horas (VADERY *et al.*,

2014). Na **Figura 16** é possível observar o concentrador solar e o forno utilizados na calcinação das amostras da casca de coco.

Figura 16: Concentrador solar e forno utilizados na calcinação das amostras da casca de coco.



O óleo de fritura usado no processo laboratorial passa por um tratamento que consiste inicialmente em filtragem através de peneira de nylon para retirada de partículas sólidas maiores e em seguida filtragem em papel filtro de baixa granulometria para retirada de partículas sólidas menores. As amostras de OGR utilizadas no processo devem ser secas a temperatura sugerida de 105°C, durante um tempo 2 horas, em estufa para retirada de água em excesso (GUPTA & RATHOD, 2018).

O processo de transesterificação do óleo de fritura usado inicia-se com o pré-aquecimento, para que as reações ocorram as temperaturas desejadas, trabalhadas entre 40°C e 50°C, e em seguida adicionado etanol anidro 99.5% PA VETEC, perfazendo uma razão molar sugerida de 1:6 (óleo/álcool) ou mais, contendo 3% ou 5% de massa de catalisador em relação a massa total

de óleo. A faixa de temperatura foi escolhida devido às prévias medições da temperatura da água aquecida no reservatório através do sistema de termossifão solar. As medições de temperatura da reação iniciaram-se apenas quando a temperatura do óleo estava dentro das condições experimentais pré-estabelecidas. Todos os experimentos aconteceram sob agitação de 350 rpm durante 3 horas. No final de cada experimento o catalisador era separado do EEOGR em duas etapas: filtragem através de papel filtro e centrifugação em uma centrífuga da Centrilab Mod. 80-2B, a uma rotação de 4000 rpm, utilizando tubos de ensaios de 10mL. As amostras sintetizadas foram depositadas em béqueres e secas a 105 °C em estufa para retirada de resquícios de umidade e em seguida caracterizadas (BILGIN *et al.*, 2015).

3. APLICAÇÃO SOCIAL

Percebe-se o grande volume de resíduos agroindustriais descartados de maneira inadequada no meio ambiente, como a casca de ovo de galinha, casca de coco e óleo de fritura usado, que podem vir a ser utilizados como matéria-prima na composição de produtos com valor agregado no mercado.

A casca de ovo e casca de coco já descartadas podem ser transformadas em catalisadores, agentes imprescindíveis na síntese de biodiesel.

O óleo de fritura usado vem tomando uma grande participação no mercado devido a diminuir sensivelmente os custos de produção de biodiesel com matéria-prima.

Com a utilização dos materiais e tecnologia aqui descritos, os custos para a síntese de biocombustível é reduzido, propiciando inclusão social para famílias de baixa e a manutenção sustentável do meio-ambiente.

REFERÊNCIAS

ALI, A. S.; ZANZINGER, Z.; DEBOSE, D.; STEPHENS, B. Open source building sensors (OSBSS): a low-cost Arduino-base platform for long-term indoor enviromental data collection. *Building and Environment*, v. 100, pp. 114-126, 2016.

ALSHARIF, M.; KIM, J. Optimal Solar Power System for Remote Telecommunication Base Stations: A Case Study Based on the Characteristics of South Korea's Solar Radiation Exposure. *Sustainability*, v. 8, 2016.

ALTOÉ, L.; OLIVEIRA FILHO, D.; CARLO, J. C. Energy analysis of solar thermal systems for different demands of hot water in a single family dwelling. *Ambiente Construído*, v. 12, n. 3, p. 75-87, 2012.

ARSYAD, M. The morphology of coconut fiber surface under chemical treatment. *Revista Matéria*, v. 2, n. 1, p. 169-177, 2015.

AYETOR, G. K., SUNNU, A., PARBEY, J. Effect of biodiesel production parameters on viscosity and yield of methyl esters: *Jatropha curcas*, *Elaeis guineensis* and *Cocos nucifera*. *Alexandria Engineering Journal*, v. 54, 1285–1290, 2016.

BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL, BEN, 2017. Disponível em: <<http://epe.gov.br/pt/publicacoes-dados-abertos/publicacoes/balanco-energetico-nacional-2018>>. Acesso em: 03 Jun 2019.

BP STATISTICAL REVIEW OF WORLD ENERGY, BPSRWE, 2017. Disponível em: <<https://www.bp.com/content/dam/bp/en/corporate/pdf/energy-economics/statistical-review-2017/bp-statistical-review-of-world-energy-2017-full-report.pdf>>.

BRAGA, M. B.; MAROUELLI, W. A.; RESENDE, G. M.; MOURA, M. S. B.; COSTA, N. D.; CALGARO, M.; CORREIA, J. S. Coberturas do solo e uso de manta agrotêxtil (TNT) no cultivo do meloeiro. *Hortic. Bras.*, vol. 35 n12, P. 147-153, 2017.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de Agosto de 1981. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 31 ago. 1981. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 13 Jan. 2019.

BRASIL. Lei nº 13.263, de 23 de Março de 2016. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil. Brasília, DF, 23 mar. 2016. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/Leis/L6938.htm>. Acesso em: 13 Jan. 2019.

CABRAL, M. M. S.; ABUD, A. K. S.; SILVA, C. E. F.; ALMEIDA, R. M. R. G. Bioethanol production from coconut husk fiber. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 46, n. 10, pp. 1872-1877, 2016.

CASTRO, T. S.; SOUZA, T. M.; SILVEIRA, J. L. Feasibility of Electric Vehicle: Electricity by Grid x Photovoltaic Energy. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 69, pp. 1077-1084, 2017.

CIMINO, S.; LISI, L.; ROMANUCCI, S. Catalysts for conversion of ethanol to butanol: Effect of acid-base and redox properties. *Catalysis Today*, v. 304, pp. 58-63, 2018.

DRAVID, M.N; CHANDAK, A.; PHUTE, S. U.; KHADSE, R. K.; ADCHIRTRE, H. R.; KULKARNI, S. D. The use of solar energy for powering a portable autoclave. *Journal of Hospital Infection*, vol. 80, pp. 345-347, 2012.

EMAMI, M. R. S. Mathematical Modeling of Thermosyphon Heat

Exchanger for Energy Saving, *The Journal of Mathematics and Computer Science*, v. 5, p. 271-279, 2012.

FERREIRA, M. D. P.; DANIEL, L. P.; LIMA, J. E. O Programa Brasileiro de Biodiesel e o Risco Associado ao Preço da Mamona em Irecê, *Bahia. RESR*, v. 53, n. 4, p. 667-682, 2015.

FIGUEIRA, J. L. G. Casca do coco: aproveitamento industrial. COCO DA BAÍÁ: Uma alternativa agroindustrial e de reflorestamento para o noroeste do Paraná. Curitiba, *Caniatti Rodrigues*, p. 73–77, 2005.

GARNIER, C.; MUNEER, T.; CURRIE, J. Numerical and empirical evaluation of a novel building integrated collector storage solar water heater. *Renewable Energy*, v. 126, pp. 281-295, 2018.

GOLVEIA, N. Resíduos sólidos urbanos: impactos socioambientais e perspectiva de manejo sustentável com inclusão social. *Ciência & Saúde Coletiva*, v. 17, n.6, p.1503-1510, 2012.

GRATUITO, M. K .B; PANYATHANMAPORN, T.; CHUMNANKLANG, R. A.; SIRINUNTAWITTAYA, N.; DUTTA, A. Production of activated carbon from coconut shell: Optimization using response surface methodology. *Bioresource Technology*, v. 99, n. 11, p. 4887-4895, 2008.

GUERRA, M. I. S.; VARELLA, F. K. O. M. Análise do desempenho térmico de um sistema de aquecimento solar de baixo custo na cidade de Mossoró (RN). *Holos*, vol. 4, pp. 241-268, 2014.

GUPTA, A.; RATHOD, V. K. Calcium diglyceroxide catalyzed biodiesel production from waste cooking oil in the presence of microwave: Optimization and kinetic studies. *Renewable Energy*, vol. 121, pp. 757-767, 2018.

HASSANI, H.; SILVA, E. S.; AL KAABI, A. M. The role of innovation and technology in sustaining the petroleum and petrochemical industry. *Technological Forecasting & Social Change*, v. 119, p. 1-17, 2017.

HIDAYU, A. R.; MUDA, N. Preparation and characterization of impregnated activated carbon from palm kernel shell and coconut shell for CO₂ capture. *Procedia Engineering*, v. 148, 106–113, 2016.

HOFFMAN, L. A.; NGO, T. T. Affordable solar thermal water heating solution for rural Dominican Republic. *Renewable Energy*, v. 115, p.p. 1220-1230, 2018.

HOPPE FILHO, J.; GOBBI, A.; PEREIRA, E.; QUARCIONI, V. A.; MEDEIROS, M H. F. Atividade pozolânica de adições minerais para cimento Portland (Parte I): Índice de atividade pozolânica (IAP) com cal, difração de raios-X (DRX), termogravimetria (TG/DTG) e Chapelle modificado. *Revista Matéria*, v 22, n 3. 2017.

INCROPERA, F. P.; BERGMAN, T. L.; LAVINE, A. S.; DEWITT, D. P. Fundamentos de Transferência de Calor e de Massa. 7 ed, Rio de Janeiro: LTC, 2011.

JIANG, Y.; ZHANG, Y. Supply chain optimization of biodiesel produced from waste cooking oil. *Transportation Research Procedia*, v. 12, 938–949, 2016.

JOSHI, G.; RAWAT, D. S.; LAMB, B. Y., BISHT, K. K.; KUMAR, P.; KUMAR, N.; KUMAR, S. Transesterification of Jatropha and Karanja oils by using waste egg shell derived calcium based mixed metal oxides. *Energy Conversion and Management*, v. 96, 258–267, 2015.

KAMPF, G. Efficacy of ethanol against viruses in hand disinfection. *The Journal of Hospital Infection*, v. 98, pp. 331-338, 2018.

KRAUSE, M. R.; MONACO, P. A. V. L.; HADDADE, I. R.; MENEGHELLI, L. A. M.; SOUZA, T. D. Aproveitamento de resíduos agrícolas na composição de substratos para produção de mudas de tomateiro. *Hortic. Bras.* v.35 n 2, P. 305-310, 2017.

KOCHEPKA, D. M.; DILL, L. P.; COUTO, G. H.; KRIEGER, N.; RAMOS, L. P. Production of Fatty Acid Ethyl Esters from Waste Cooking Oil Using Novozym 435 in a Solvent-Free System. *Energy Fuels*, v. 29, n. 12, pp. 8074–8081, 2015.

KOUZU, M.; KASUNO, T.; TAJIKA, M.; SUGIMOTO, Y.; YAMANAKA, S.; HIDAKA, J. Calcium oxide as a solid base catalyst for transesterification of soybean oil and its application to biodiesel production. *Fuel*, vol. 87, pp. 2798-2806, 2008.

KUMAR, N. Impact of Clean Development Mechanism on Eco-friendly *Energy Recovery Technology*. *Procedia Technology*, v. 21, p 54-58, 2015.

KUMAR, S. T.; YADAV, V.; SAHOO, U.; SINGH, S. K. Experimental investigation of 16 square meter Scheffler concentrator system and its performance assessments for various regions of India. *Thermal Science and Engineering Progress*, v. 10, pp. 103-111, 2019.

LI, H.; YANG, W.; ZHOU, D.; YU, W. Numerical study of the effects of biodiesel unsaturation on combustion and emission characteristics in diesel engine. *Applied Thermal Engineering*, vol. 137, pp. 310-318, 2018.

LINCOT, D. The new paradigm of photovoltaics: From powering satellites to powering humanity. *Comptes Rendus Physique*, v. 18, n. 7, pp. 381-390, 2016.

LIU, G. Sustainable feasibility of solar photovoltaic powered street lighting systems. *International Journal of Electrical Power & Energy Systems*, v. 56, pp. 168-174, 2014.

MATOS, R. LIANG, D.; ALMEIDA, J.; TIBÚRCIO, B. D., VISTAS, C.R. High-efficiency solar laser pumping by a modified ring-array concentrator. *Optics Communications*, vol. 420, pp. 6-13, 2018.

MICICOVÁ, Z.; PAJTASOVA, M.; DOMCEKOVA, S.; ONDRUSOVA, D.; RANIK, L.; LIPTAKOVA, T. Inorganic materials and their use in polymeric materials, *Procedia Engineering*, v. 136, p. 239–244, 2016.

MINISTÉRIO DO DESENVOLVIMENTO AGRÁRIO, MDA. Disponível em: < <http://www.mda.gov.br/sitemda/secretaria/saf-biodiesel/o-que-%C3%A9-o-programa-nacional-de-produ%C3%A7%C3%A3o-e-uso-do-biodiesel-pnpb>>. Acesso em: 15 Jan. 2019.

MORAES, S. L.; MASSOLA, C. P.; SACCOCCIO, E. M.; SILVA, D. P.; GUIMARÃES, Y. B. T. Cenário brasileiro da geração e uso de biomassa adensada. *Revista IPT | Tecnologia e Inovação*, v.1, n.4, abr., 2017.

MÜLLER, F.; PATEL, H.; BLUMENTHAL, D.; POZIVIL, P.; DAS, P. WIECKERT, C.; MAITI, P.; MAITI, S.; STEINFELD, A. Co-production of syngas and potassium-based fertilizer by solar-driven thermochemical conversion of crop residues. *Fuel Processing Technology*, vol. 171, pp. 89-99, 2018.

MUNIR, A.; HENSEL, O.; SCHEFFLER, W. Design principle and calculations of a Scheffler fixed focus concentrator for medium temperature applications. *Solar Energy*, v. 84, pp. 1490-1502, 2010.

MUSA, I. A. The effects of alcohol to oil molar ratios and the type of alcohol on biodiesel production using transesterification process. *Egyptian Journal of Petroleum*, v. 25, p. 21–31, 2016.

NASPOLINI, H. F.; RÜTHER, R. Impacts of Domestic Solar Water Heating (DSWH) systems on the cost of a hot shower in low-income dwellings in Brazil. *Renewable Energy*, v. 111, pp. 124-130, 2017.

NAVES, M. M. V.; FERNANDES, D. C. Food fortification with egg shell powder as a calcium source. *Ciênc. Tecnol. Aliment.*, v. 27, p. 99-103, 2007.

NUNES, L. J. R.; MATIAS, J. C. O.; CATALÃO, J. P. S. Energy recovery from cork industrial waste: Production and characterisation of cork pellets. *Applied Energy*, v. 127, p. 135-140, 2014.

OLIVEIRA, A. C. M.; SANTOS, M. S., BRANDÃO, L. M. S., RESENDE, I. T. F.; LEO, I. M.; MORILLO, E. S.; YERGA, J. L. G., EGUES, S. M., FIGUEIREDO, R. T. The effect of cellulose loading on the photoactivity of cellulose-TiO₂ hybrids for hydrogen production under simulated sunlight. *International Journal of Hydrogen Energy*, v. 42, pp. 28747-28754, 2017.

OLIVEIRA, F. C.; COELHO, S. T. History, evolution, and environmental impact of biodiesel in Brazil: A review. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 75, pp. 168-179, 2017.

PETROV, L. A.; ALHAMED, Y.; AL-ZAHRANI, A.; DAOUS, M. Role of

Chemical Kinetics in the Heterogeneous Catalysis Studies. *Chinese Journal of Catalysis*, v. 32, n. 7, 2012.

PIMENTA, A. S.; SANTOS, R. C.; CARNEIRO, A. C. O.; CASTRO, R. V. O. Utilização de resíduos de coco (*Cocos nucifera*) carbonizado para a produção de briquetes. *Ciênc. Florest.*, v 25, n 1, 2015.

QIN, X.; SHEN, Y.; SHAO, S. The Application Study in Solar Energy Technology for Highway Service Area: A Case Study of West Lushan Highway Low-Carbon Service Area in China. *International Journal of Photoenergy*, v. 2015, pp. 1-8, 2015.

RAEISSADATI, M.; MOHEIMANI, N. R.; PARLEVIET, D. Luminescent solar concentrator panels for increasing the efficiency of mass microalgal production. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 101, PP. 47-59, 2019.

RAO, C. N. R.; DEY, S. Solar thermochemical splitting of water to generate hydrogen. *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, v. 114, n. 51, pp 1-9, 2017.

RATHMANN, R. Impactos da adoção de metas de redução de emissão de gases de efeito estufa sobre a competitividade de setores industriais energointensivos do Brasil. Tese de Doutorado, UFRJ, 412f. 2012.

REHAN, M.; GARDY, J.; DEMIRBAS, A.; RASHID, U.; BUDZIANOWSKI, W. M.; PANT, D.; NIZAMI, A. S. Waste to biodiesel: A preliminary assessment for Saudi Arabia. *Bioresource Technology*, pp, 17-25, 2018.

RODRIGUES, A. S.; ÁVILA, S. G. Caracterização Físico-Química da

Casca de Ovo de Galinha e Utilização como Fonte para Produção Compostos de Cálcio. *Revista Virtual da Química*, v. 9, pp. 596-607, 2017.

SACIA, E. R.; RAMKUMAR, S.; PHALAK, N.; FAN, L. S. Synthesis and Regeneration of Sustainable CaO Sorbents from Chicken Eggshells for Enhanced Carbon Dioxide Capture. *ACS Sustainable Chem. Eng.*, 2013, vol. 1, pp. 903–909, 2013.

SAHAR, S. S.; IQBAL, J.; ULLH,, I.; BHATTI, H. N.; NOUREN, S.; REHMAN, H.; NISAR, J. IQBAL, M. Biodiesel production from waste cooking oil: An efficient technique to convert waste into biodiesel, *Sustainable Cities and Society*, v. 41, pp. 220-226, 2018.

SAKTHIVEL, P.; SUBRAMANIAN, K. A.; MATHAI, R. Indian scenario of ethanol fuel and its utilization in automotive transportation sector. *Resources, Conservation and Recycling*, v. 132, pp. 102-120, 2018.

SANTOS, S. F. O. M.; HATAKEYAMA, K. Processo sustentável de produção de carvão vegetal quanto aos aspectos: ambiental, econômico, social e cultural. *Produção*, v. 22, n. 2, p. 309-321, 2012.

SHANKS, K.; SENTHILARASU, S.; MALLICK, T. K. Optics for concentrating photovoltaics: Trends, limits and opportunities for materials and design. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 60, p. 394–407, 2016.

SHAO, W.; LIU, J.; ZHU, M.; WENG, B.; WANG, N.; HUANG, H.; YU, Y.; YAN, D.; JIANG, S. Evaluation of a photovoltaic water-supply scheme for the surface water system in Xiamen, China, *Applied Energy*, v. 230, pp. 357-373, 2018.

TAN, Y. H.; ABDULLAH, M. O.; HIPOLITO, C. N.; YAP, Y. H. T. Waste ostrich- and chicken-eggshells as heterogeneous base catalyst for biodiesel production from used cooking oil: Catalyst characterization and biodiesel yield performance. *Applied Energy*, v. 160, pp. 58–70, 2015.

TEO, S. H.; ISLAM, A.; MASOUMI, H. R. F.; TAUFIQ-YAP, Y. H. Effective synthesis of biodiesel from *Jatropha curcas* oil using betaine assisted nanoparticle heterogeneous catalyst from eggshell of *Gallus domesticus*. *Renewable Energy*, vol. 111, pp. 892-905, 2017.

THOAI, D. N.; KUMAR, A.; PRASERTSIT, K.; TONGURAI, C. Evaluation of Biodiesel Production Process by the determining of the Total Glycerol Content in Biodiesel. *Energy Procedia*, vol. 138, pp. 544-551, 2017.

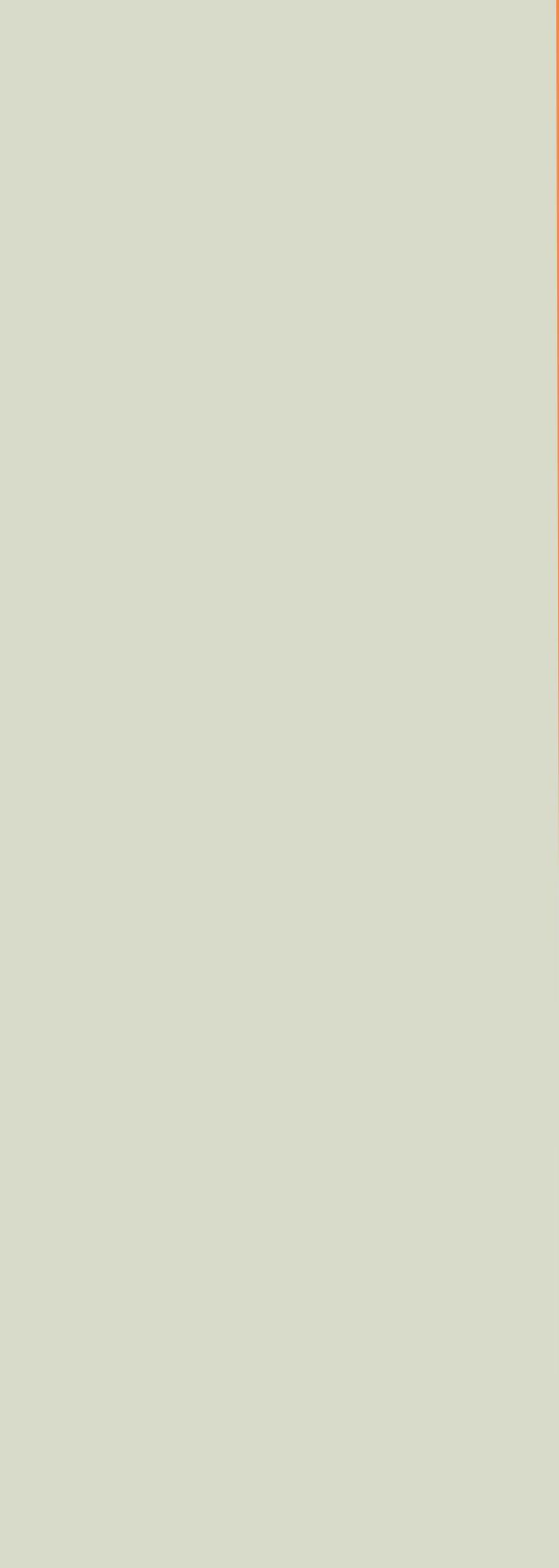
THUSHARI, I.; BABEL, S.; SAMART, C. Biodiesel production in an autoclave reactor using waste palm oil and coconut coir husk derived catalyst. *Renewable Energy*, v. 134, pp. 125-134, 2019.

TOLLER, M. A Transformação de Resíduos Agroindustriais Através de Biodigestores: Uma Gestão Sócio-Ambiental. *Revista Brasileira de Energias Renováveis*, v.5, pp. 42-50, 2016.

VADERY, V.; NARAYANAN, B. N.; RAMKRISHNAN, R. M.; CHERIKKALLINMEL, S. K.; SUGUNAN, S.; NARAYANAN, D. P.; ASIDHARAN, S. Room temperature production of *jatropha* biodiesel over coconut husk ash. *Energy*, 2014.

VERMA, A.; SINGH, V. K. Experimental Investigations on Thermal Properties of Coconut Shell Particles in DAP Solution for Use in Green Composite Applications. *Journal of Material Science & Engineering*, v. 5, pp. 1-5., 2016.

WERLE, A. P.; LOH, K.; JOHN, V. M. Pintura à base de cal como alternativa de revestimento frio. *Ambiente Construído*, Porto Alegre, v 14, n 3, p 149-157, 2014.





CAPÍTULO 3

FOGÃO SOLAR

1. INTRODUÇÃO

A utilização de energia solar para cozinhar pode reduzir potencialmente os riscos associados à saúde através da queima de lenha e querosene nas residências e, conseqüentemente, reduzir o desmatamento (CUCE, 2013). No entanto, apesar de muita pesquisa, desenvolvimento e subsídios, a aceitação de fogões solares (FS) ainda não tem sido amplamente utilizada (YETTOU, 2014). Fatores econômicos, sociais, culturais, ambientais, políticos e técnicos contribuem para a baixa aceitação (EDMONDS, 2018).

Um dado animador é que o uso da energia solar no Brasil vem crescendo rapidamente. De acordo com o Boletim Energético Nacional (BEN) ano 2018, a oferta interna de energia solar cresceu 875,6% comparando os anos de 2016 e 2017.

Ainda observando o BEN 2018, pode-se verificar que a lenha representa 6,5% do consumo final de energia no Brasil e que houve um acréscimo no seu uso de 0,2% em relação ao ano anterior. O uso da lenha nas matrizes energéticas dos outros países é diretamente relacionado ao grau de desenvolvimento e estão ligadas com questões econômicas e de disponibilidade.

A utilização da lenha como fonte de energia nas residências está associada a três fatores negativos. O primeiro e principal fator está relacionado com os danos que esse combustível causa na saúde dos usuários, pois o uso da lenha em fogões/fornos de baixa eficiência emite fumaça que são lançadas no interior das residências. Outro fator relevante é devido ao dano causado na vegetação nativa

com a extração, muitas vezes indevidas, das madeiras, causando impactos negativos para o meio ambiente. Por fim, mas não menos importante, o uso da lenha corresponde a uma parcela significativa de emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE (SILVA, 2017).

Considerando que uma família de quatro pessoas precisa de, aproximadamente, 1,0 m² de lenha apenas para preparar as refeições diárias, pode-se imaginar que o uso desses fogões convencionais a lenha é uma das maiores preocupações de saúde mundial (GODOY, 2008).

De acordo com a Organização Mundial de Saúde (OMS), a poluição no interior das residências, proveniente da queima da lenha, figura entre os 10 fatores de riscos mais importantes para a saúde mundial (REHFUESS, 2006).

Portanto, a utilização da lenha como combustível para os fogões convencionais a nos domicílios está contribuindo não só para a saúde dos usuários, como também para a degradação e poluição do meio ambiente, conforme as citações supracitadas.

Essas informações deixam claro que a utilização da lenha para a obtenção de calor nas cozinhas residências devem ser evitada e uma das alternativas para a substituição é a utilização dos fogões solar.

A irradiação solar que incide na superfície terrestre atinge valores próximos a 1.000 W.m⁻² ao meio dia solar em condições de céu claro. Valores de até 1.400 W.m⁻² podem ser observados em intervalos curtos de duração (PEREIRA, 2017). De acordo com Ruther et al. (2017), no Brasil já foi registrado valores de irradiação que apresentou picos de 1.822 W.m⁻².

O potencial nacional de energia solar é grande. A região que

apresenta os maiores valores de irradiação solar é o Nordeste, com a maior média dentre todo o território brasileiro. Deste modo, pode-se afirmar que o Brasil está apto para utilizar essa fonte de energia. Todavia, o país ainda apresenta dificuldades no uso da energia solar. Políticas de divulgação de fogões solares para uso em cozinhas podem aumentar o uso que ajudaria a preservar o meio ambiente, com a substituição total ou parcial do uso da lenha na cocção dos alimentos (SILVA, 2017).

1.1 A história dos fogões solares

A história dos fogões solares (FS) remonta ao século XVIII. Os primeiros documentos comprovam que um físico alemão chamado Tschirnhausen, que viveu entre 1651-1708, realizou experiência com fogão solar. Seu experimento consistiu em utilizar uma lente grande para concentrar os raios solares e aquecer água em um recipiente de argila (HALACY & HALACY, 1992).

Em 1767, o físico franco-suíço Horace de Saussure cozinhou alimentos através da energia solar. Ele construiu um fogão solar em miniatura do tipo caixa que constava de duas caixas de madeira de pinho, uma dentro da outra, isoladas com lã e tinha três camadas de vidro relatando o cozimento de frutas (SAXENA, 2011). O astrônomo inglês Sir John Herschel cozinhou alimentos em uma caixa isolada similar à de Saussure em uma expedição à África do Sul em 1830. Um matemático francês, Augustin Mouchot, integrou a ideia do concentrador solar com espelho em 1860 e construiu um forno solar com uma panela que absorvia os raios solares. Em 1876, W. Adams desenvolveu um forno octogonal equipado com 8 espelhos e relatou que o forno cozinhou rações para 7 soldados em 2 horas (TURNER, 2001). Um ano depois, Mouchot projetou fogões solares para soldados franceses na Argélia e escreveu o

primeiro livro sobre energia solar e suas aplicações industriais.

Na década de 1930, a França enviou muitos fogões solares para suas colônias na África. Por outro lado, a Índia começou a investigar a energia solar como uma opção para evitar o desmatamento. Em 1940, a Dra. Maria Telkes nos EUA analisou vários tipos de fogões solares, incluindo alguns materiais de armazenamento de calor, e também publicou um livro chamado *Solar Ovens* em 1968 (KNUDSON, 2004). O primeiro fogão solar tipo caixa comercial foi produzido por um pioneiro indiano chamado Sri M.K. Ghosh em 1945 (HODA, 1978). Na década de 1950, pesquisadores indianos criaram e construíram fornos solares comerciais e refletores solares (SAXENA, 2011).

Barbara Kerr, nos EUA, construiu vários tipos de fogões solares tipo concentradores e caixa, usando materiais de reciclagem e folhas de alumínio. Em 1979, a pasteurização da água foi realizada usando fogões solares do tipo caixa pelo Dr. Metcalf e seu aluno Marshall Longvin. Nos anos 80, especialmente os governos da Índia e da China expandiram a promoção nacional de fogões solares do tipo caixa. Heather Gurley Larson escreveu o primeiro livro de culinária solar dos EUA, *Solar Cooking Naturally*, em 1983 (SAXENA, 2011).

Em 1987 foi apresentado um método para analisar o desempenho térmico de fogões solares (Mullick, 1987). Já nos anos 2000 foi proposto um padrão internacional para testes de fogões solares (FUNK, 2000).

Especialmente nos últimos anos, esforços intensivos foram feitos para melhorar a capacidade de cozimento dos fogões solares. Numerosos estudos analíticos, numéricos e experimentais sobre novos projetos de fogões solares foram realizados por muitos pesquisadores. Hoje, a tecnologia de cozimento solar é muito

promissora com seu potencial para diminuir as fontes convencionais.

2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA E TECNOLOGIA

2.1 Os tipos de fogões solares

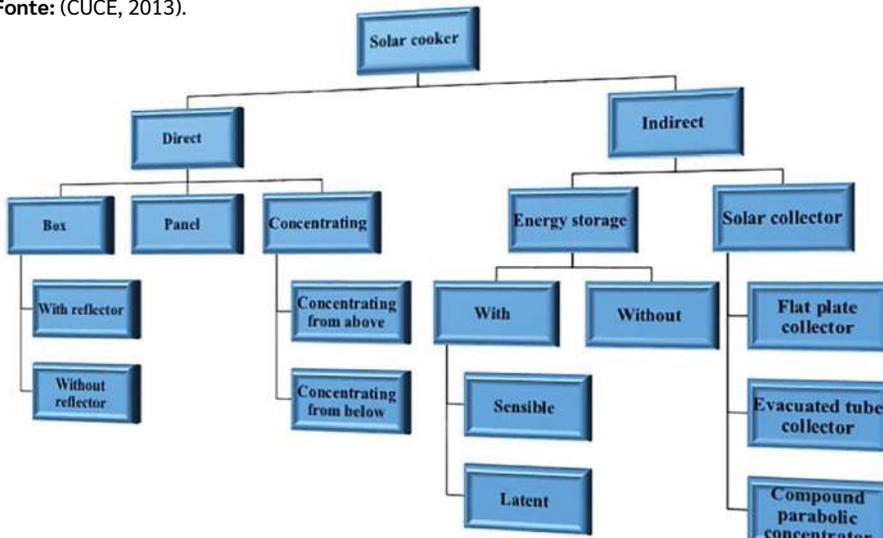
Aplicações com fogão solar (FS) são viáveis, de fácil construção e de baixo custo. Pode ser definido como uma maneira de aproveitar a energia do Sol para cozinhar. É um equipamento que absorve a radiação solar, transfere em calor, retém esse calor e o transmite para a comida (OTTE, 2014). Pode ser utilizado para aquecer ou cozinhar alimentos ou bebidas. Além disso, pode ser utilizado para alcançar processos vitais como pasteurização e esterilização (HEREZ, 2018).

Diversos tipos de fogões solares podem ser encontrados na literatura. Além disso, novos fogões solares são projetados com melhorias continuamente, o que requer atualização na classificação. No entanto, afirma-se que os fogões solares são divididos em dois tipos diretos e indiretos de acordo com o mecanismo de transferência de calor para a panela (ARAMESH, 2019).

O processo de cozimento no tipo direto ocorre utilizando a incidência dos raios solares diretamente no fogão solar, por outro lado o tipo indireto o calor é transferido para a panela usando um fluido de transferência de calor. A **Figura 17** representa um diagrama que mostra os principais tipos de fogão solar (HEREZ, 2018).

Figura 17: Classificação dos fogões solares (HEREZ, 2018) – modificado.

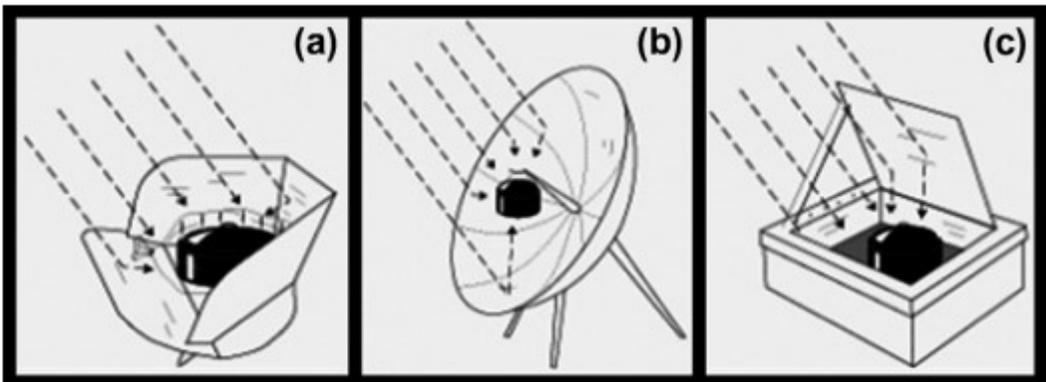
Fonte: (CUCE, 2013).



Os fogões solares geralmente são separados em três categorias: fogão solar painel, fogão solar parabólico e fogão solar caixa, conforme apresentado na **Figura 18**.

Figura 18: Tipos de fogão solares: (a) fogão solar painel; (b) fogão solar parabólico; e (c) fogão solar caixa.

Fonte: (CUCE, 2013).



O fogão solar tipo painel é o mais popular devido a simplicidade na construção, além de utilizar materiais de baixo custo. Ele opera

refletindo os raios solares em um saco plástico transparente que contém o alimento ou ainda os raios solares são refletidos em uma panela que está contida em uma marinex transparente. No entanto, este tipo de fogão solar depende luz solar concentrada a partir de cima, ou seja, em condições nubladas o poder de cozimento torna-se ineficiente (CUCE, 2013).

Por outro lado, o fogão solar caixa consiste em uma cobertura de vidro transparente, montada com uma caixa menor dentro de uma maior, isoladas termicamente, com uma superfície reflexiva no interior da caixa maior. Este tipo de fogão solar cozinha mais lento, porém é eficiente sob condições climáticas desfavoráveis (CUBERO-LEIVA, 2018).

Por fim, os fogões solares parabólicos são os mais poderosos entre os três tipos e atinge maiores temperaturas. O refletor solar parabólico concentra os raios solares na panela, permitindo um rápido cozimento do alimento com temperaturas mais altas. Esse tipo de fogão solar apresenta a desvantagem da necessidade de ajustes periódicos do foco durante o cozimento (ONOKWAI, 2019).

3. APLICAÇÃO SOCIAL

JOSHI *et al.* (2015) desenvolveu um fogão solar fotovoltaico e térmico, **Figura 19**, denominado como fogão solar híbrido do tipo caixa de pequena escala pesando 6,5 kg. Utilizaram 5 painéis solares de 15 W cada. O tempo de cozimento foi reduzido comparado a um tipo caixa, pois a energia gerada pelas placas fotovoltaicas era armazenada em uma bateria e aproveitada através de resistências para gerar calor junco com a energia solar térmica. A eficiência do fogão solar foi de 38% e o custo estimado em R\$480.

GOMES *et al.* (2016) construíram um fogão solar tipo caixa

Figura 19: Fogão solar híbrido térmico fotovoltaico: (a) fora de uso; e (b) em operação.

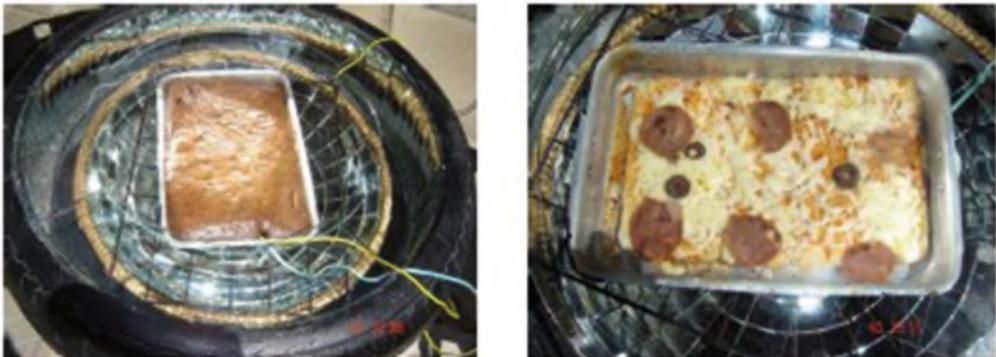
Fonte: GOMES et al. (2016)



utilizando sucata de pneu, **Figura 20**, o valor estimado foi de R\$80. O isolamento térmico foi feito com compósito a base de cimento Portland, gesso e isopor (EPS) triturado na parte interna do pneu. Os autores realizaram uma comparação do fogão solar com o fogão convencional a gás para assar bolo, carne e pizza. Os tempos de preparo no FS foram maiores, porém, quando se considera o custo benefício de sua utilização o fogão solar apresenta vantagem em relação ao fogão a gás GLP.

Figura 20: Fogão solar tipo caixa construído com sucata de pneu.

Fonte: Internet



A utilização de sucatas ou equipamentos em desuso pode ser uma boa ideia para a construção de fogões solares. Silva (2017) construiu

um fogão solar tipo caixa utilizando como base uma geladeira, apresentado na **Figura 21**. A característica principal desse FS foi a capacidade de assar diversos alimentos simultaneamente a um baixo custo (R\$162,50), pois utilizou elementos recicláveis. A eficiência do fogão solar foi determinada pelo tempo e quantidade de alimento cozinhado. Comparado a um fogão convencional, o solar foi capaz de assar cinco bolos diferentes em 70 minutos, já o forno a gás assou dois bolos em 50 minutos. O autor destacou ainda que o fogão solar minimiza os graves problemas dos fogões solares a lenha como fonte de calor para cocção de alimentos.

Figura 21: Forno solar construído com geladeira em desuso: (a) assando bolo; e (b) fora de uso.

Fonte: ZAFAR et al. (2018)



A **Figura 22** apresenta um novo fogão solar tipo caixa com vidro duplo com uma placa absorvente em forma de L com um refletor interno e dois refletores externos. Projetado por ZAFAR et al. (2018). O fogão solar atingiu temperatura interna superior a 130 °C e apresentou um custo de fabricação de R\$500.

TOONEN (2009) destacou que grande parte das famílias na África Subsaariana utiliza a lenha como fonte de energia primária e afirmou que a disponibilidade de madeira está diminuindo e o desmatamento é um grande problema ecológico na região. Como solução foi proposto o uso da energia solar, como fonte gratuita e

limpa. O autor destaca o CookKit, **Figura 23**, que é um fogão solar tipo painel de papelão, coberto com papel alumínio e de baixo custo. Porém, nem sempre o CookKit é utilizado de maneira correta para o cozimento dos alimentos, então foi proposto de sessões de formação e assistência doméstico para o uso desse FS.

Figura 22: Fogão solar tipo caixa com duplo vidro utilizando. (a) o refletor superior; (b) os refletores superior e frontal; e (c) os refletores superior, frontal e inferior.

Fonte: TOONEN (2009)

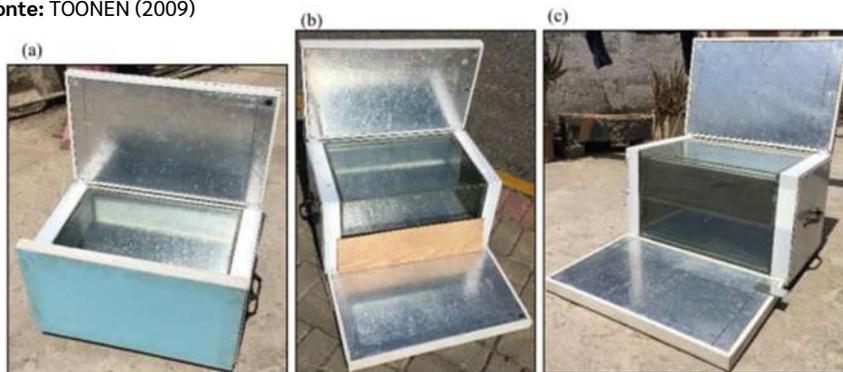


Figura 23: Fogão solar tipo painel Cookit

Fonte: <https://homeplaceearth.wordpress.com/2011/06/28/solar-cooking/>

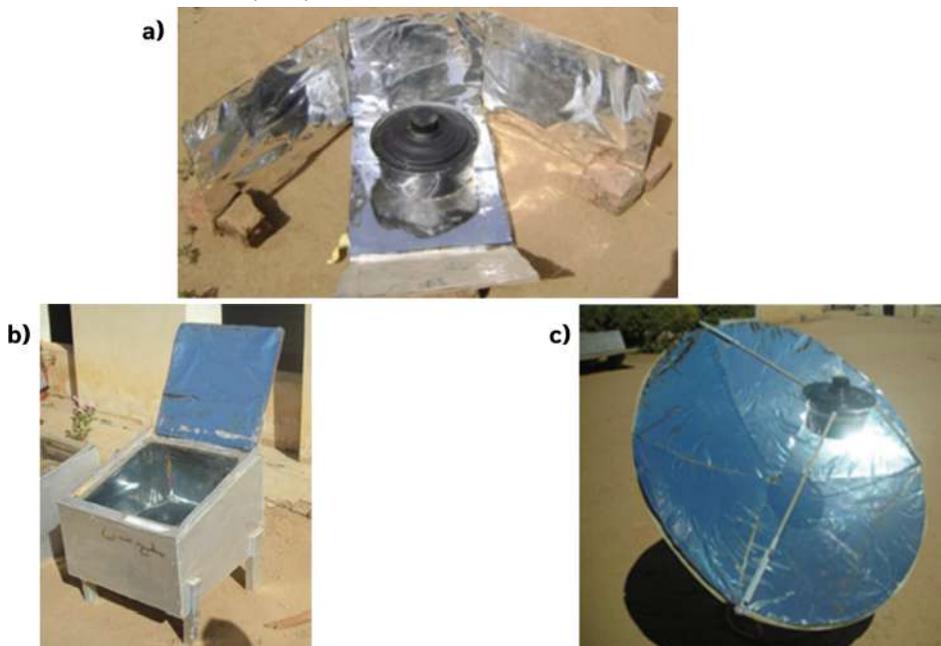


AKOY & AHMED (2015) projetaram e construíram três tipos diferentes de FS: painel **Figura 24a**, caixa **Figura 24b** e parabólico **Figura 24c** utilizando materiais de baixo custo e disponíveis (descarte) e também elaboraram um questionário com 50

entrevistados para avaliar a possibilidade do uso dos fogões solares na região do Sudão. Eles concluíram que o fogão solar parabólico atingiu a maior temperatura, seguido do tipo caixa e, por fim, painel. a eficiência para o fogão parabólico, tipo caixa e tipo painel foi de 31,53%, 77,4% e 67,4%, respectivamente. Finalmente os resultados do questionário indicaram que 74% acreditam que os fogões solares eram economicamente viáveis e poderiam proteger meio Ambiente.

Figura 24: Fogões solar a) Fogão Solar tipo painel b) Fogão Solar tipo caixa c) Fogão Solar tipo parabólico

Fonte: OUANNENE et al. (2009)



OUANNENE et al. (2009) projetaram um fogão solar tipo parabólico composto cujo diâmetro é de 180 cm e profundidade de 26 cm e material esmaltado reflexivo retangular com espessura de 1 mm. A **Figura 25** mostra o nosso fogão solar construído. Os autores destacam que a panela deve ser feita de material que facilite a condução de calor, preferencialmente pintada de preto. Verificou-se que o tempo

para aquecimento dos dois litros de água de 40° C a 80° C foi de 12 min. A temperatura máxima usando óleo foi de 130 °C.

Figura 25: Fogão Solar parabólico

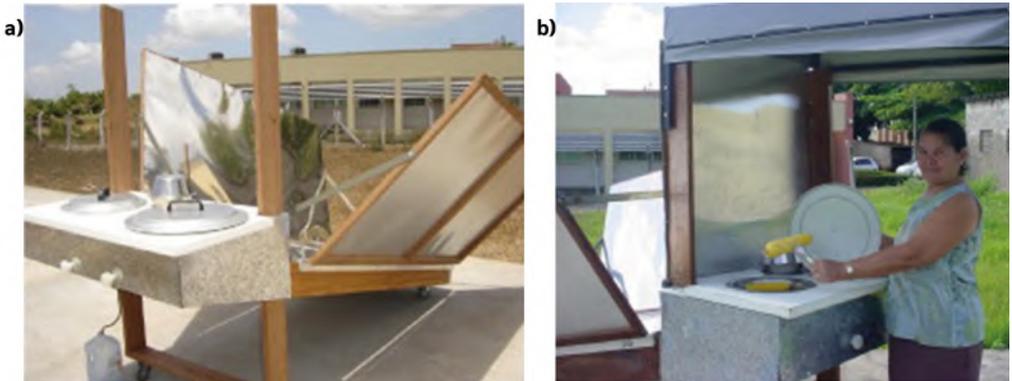
Fonte: construído por OUANNENE et al. (2009)



Schwarzer & Silva (2008) projetaram um fogão solar coletor de placas planas, **Figura 26a**, usando óleo vegetal como fluido de transferência de calor. O óleo é aquecido no coletor com refletores e move-se naturalmente para a unidade de cozimento. Foram inseridas válvulas manuais para controle o fluxo do óleo que circula para as painéis ou tanques absorvedores. As principais vantagens desse tipo de FS são que eles podem ser incorporados em ambientes internos, **Figura 26b**, o uso de tanque de armazenamento térmico possibilitando cozinhar à noite e as altas temperaturas que o fluido térmico alcança em curto tempo, possibilita cozinhar rápido, bem como fritar e assar alimentos.

Figura 26: Fogões solar a) Fogão solar coletor de placas planas b) Utilização de fogão solar em ambientes internos.

Fonte: Internet



3.1 Conclusões

O uso da energia solar, por ser uma energia limpa e renovável, vem sendo ampliado cada vez mais, como também a busca de novas tecnologias para o seu aproveitamento, tal pesquisa pôde evidenciar a exploração de uma nova fonte de energia para a produção de alimentos, com um produto saudável, de baixo custo e com a utilização de matérias-primas acessíveis.

O fogão solar tipo concentrador de foco fixo apresentou a maior temperatura na panela, ainda sem o alimento (182 °C), após inserir os alimentos houve uma diminuição da temperatura que não comprometeu a cocção. O fogão tipo concentrador solar foi utilizado para fritar os alimentos. Já o fogão tipo caixa atingiu temperatura máxima de 78°C em 90 min e também obteve sucesso na cocção da carne moída com legumes e do arroz integral em aproximadamente 210 min. Por fim, o fogão tipo funil registrou temperaturas acima de 110 °C e cozinhou carne moída com legumes em 135 min.

A comparação entre os três tipos de fogões mostra que nas

melhores condições de operação, os fogões solares tipo caixa têm menor temperatura em comparação com os fogões tipo painel. O fogão solar tipo parabólico atinge temperaturas mais elevadas e, conseqüentemente, tempos de cozimento mais baixos do que qualquer outro fogão testado em dias ensolarados sem nuvens e céu limpo. Recomenda-se que o concentrador solar seja o tipo de fogão mais adequado em áreas com longas durações de forte radiação solar sem cobertura de nuvens e, principalmente, baixa interferência do vento.

Portanto, os resultados obtidos a partir desta revisão bibliográfica mostram que, em várias condições de insolação e vento, diferentes tipos de fogões solares são superiores aos outros, apresentando vantagens e desvantagens em cada caso particular.

Os fogões solares mostram-se como protótipos ideais de captação da energia solar, mesmo em meses de pouca incidência solar, sendo capaz de atingir altas temperaturas em pouco tempo e, assim, realizar o cozimento dos alimentos. Ademais, a capacidade térmica do fogão solar tipo parabólico pode ser utilizada para fins diversos dentro do ramo energético. Além disso, o uso de fogões solares ao invés do fogão convencional é importante para a conscientização socioambiental da população sobre a utilização de energias limpas e que não atingem negativamente o meio ambiente.

As tecnologias de cozimento solar podem desempenhar um papel fundamental para reduzir ou substituir o consumo de energia de outras fontes em um futuro próximo.

Adicionalmente, a cozinha solar é a melhor opção que oferece um uso promissor para a energia solar. Além de suas diversas vantagens (por exemplo, economia de combustível e energia

elétrica, redução de CO₂, conservação de lenha e etc.), a divulgação em grande escala de fogões solares ainda é limitada. Para superar essa limitação e apreender mais benefícios desses sistemas, mais tentativas de pesquisa devem ser realizadas no futuro em todo o mundo, para aumentar sua eficiência e melhorar seu desempenho atual (OSHI *et al.*, 2015).

REFERÊNCIAS

CUCE, Erdem; CUCE, Pinar Mert. A comprehensive review on solar cookers. *Applied Energy*, v. 102, p. 1399-1421, 2013.

YETTOU, F. et al. Solar cooker realizations in actual use: An overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 37, p. 288-306, 2014.

EDMONDS, Ian. Low cost realisation of a high temperature solar cooker. *Renewable Energy*, v. 121, p. 94-101, 2018.

Empresa de Pesquisa Energética (Brasil). Balanço Energético Nacional 2018: Ano base 2017. **Empresa de Pesquisa Energética**. – Rio de Janeiro : EPE, 2018.

SILVA, Wesley Gomes da. **Estudo de viabilidade térmica de um forno solar fabricado a partir de uma geladeira em desuso**. 2017. Dissertação de Mestrado. Brasil.

GODOY, Irma de. Fogão a lenha: um passatempo agradável, uma rotina perigosa. *Jornal Brasileiro de Pneumologia*, p. 637-638, 2008.

REHFUESS, Eva et al. Fuel for life: household energy and health. **World Health Organization – WHO**. 2006.

PEREIRA, Enio Bueno et al. **Atlas brasileiro de energia solar**. -- 2.ed. -- São José dos Campos : INPE, 2017.

RÜTHER, R., NASCIMENTO, L. R., CAMPOS, R. A. Extreme overirradiance events in Brazil: consequences on PV power plant output performance, *Solar Energy*, 2017.

HALACY, Beth; HALACY, Daniel Stephen. **Cooking with the sun.** Morning Sun Press, 1992.

SAXENA, Abhishek et al. A thermodynamic review on solar box type cookers. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 15, n. 6, p. 3301-3318, 2011.

TURNER, Lance. Making the Most of Sunshine—A Handbook of Solar Energy for the Common Man. 2001.

HODA, M. M. Solar cookers. In: **Sun: Mankind's Future Source of Energy.** Pergamon, 1978. p. 2065-2070.

KNUDSON, B. State of the art of solar cooking: a global survey of practices and promotion programs. **SCI, Sacramento**, 2004.

MULLICK, S. C.; KANDPAL, T. C.; SAXENA, A. K. Thermal test procedure for box-type solar cookers. *Solar energy*, v. 39, n. 4, p. 353-360, 1987.

FUNK, Paul A. Evaluating the international standard procedure for testing solar cookers and reporting performance. *Solar Energy*, v. 68, n. 1, p. 1-7, 2000.

TOUMA, Mr Jad. Solar Cooking: Any place on our menu?. **Exchange**, 2016.

OTTE, Pia Piroshka. Warming up to solar cooking—a comparative study on motivations and the adoption of institutional solar cookers in developing countries. *Energy Procedia*, v. 57, p. 1632-1641, 2014.

HEREZ, Amal; RAMADAN, Mohamad; KHALED, Mahmoud. Review

on solar cooker systems: economic and environmental study for different Lebanese scenarios. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, v. 81, p. 421-432, 2018.

ARAMESH, Mohamad et al. A review of recent advances in solar cooking technology. *Renewable energy*, 2019.

CUBERO-LEIVA, Rafael et al. Simulation of a solar funnel cooker using MATLAB. 2018.

ONOKWAI, Anthony O. et al. Design, modelling, energy and exergy analysis of a parabolic cooker. *Renewable Energy*, 2019.

JOSHI, Smita B.; JANI, A. R. Design, development and testing of a small scale hybrid solar cooker. *Solar Energy*, v. 122, p. 148-155, 2015.

GOMES, J. W.; SOUZA, LGM de; SOUZA, LGVM de. Fabricação e teste de desempenho de um forno solar tipo caixa utilizando materiais reciclados. *Educação, Tecnologia e Cultura-ETC*, v. 14, 2016.

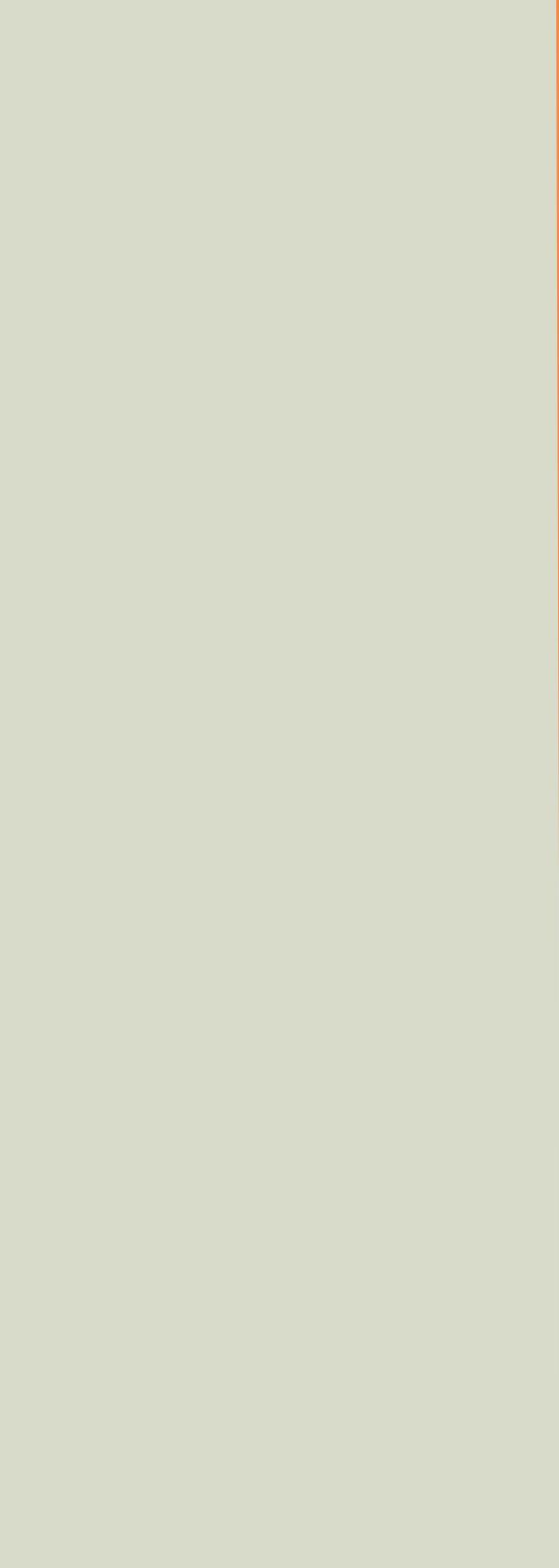
ZAFAR, Hafiz Abdullah et al. Introducing a novel design in the realm of box type solar cookers: An experimental study. *Journal of Renewable and Sustainable Energy*, v. 10, n. 4, p. 043707, 2018.

TOONEN, Hilde M. Adapting to an innovation: Solar cooking in the urban households of Ouagadougou (Burkina Faso). *Physics and chemistry of the earth, Parts A/B/C*, v. 34, n. 1-2, p. 65-71, 2009.

AKOY, Elamin OM; AHMED, Abdalla IA. Design, Construction and Performance Evaluation of Solar Cookers. *Journal of Agricultural Science and Engineering*, 2015.

OUANNENE, M.; CHAOUACHI, B.; GABSI, S. Design and Realisation of a Parabolic Solar Cooker. In: *ICHMT DIGITAL LIBRARY ONLINE*. Begel House Inc., 2009.

SCHWARZER, Klemens; DA SILVA, Maria Eugenia Vieira. Characterisation and design methods of solar cookers. *Solar energy*, v. 82, n. 2, p. 157-163, 2008.





CAPÍTULO 4

CASA DE FARINHA HÍBRIDA SOLAR GÁS

1. INTRODUÇÃO

Considerando que a população mundial já ultrapassou sete bilhões de pessoas e a busca pelos produtos que compõem a cesta básica continua crescendo, o plantio da mandioca (*Manihot esculenta*) tem contribuído de forma positiva em especial nos países do terceiro mundo. Segundo a *Food and Agriculture Organization* (FAO), em 2015, a produção mundial de mandioca já atingiu 277,0 milhões de toneladas, sendo que o Brasil representa 8,3% da parcela mundial e 71,4% da América do Sul (FAO, 2017).

Um dos principais produtos da mandioca é a farinha, que faz parte da alimentação diária de muitos brasileiros. É um produto de elevado valor calórico, rico em carboidratos e fibras e, quando integral, contém proteína, cálcio, fósforo, sódio e potássio (AGOSTINI, 2006).

As casas de farinhas tradicionais possuem uma estrutura muito rudimentar. É comum possuírem construções abertas, com piso de terra batida ou cimentadas poroso, equipamentos e utensílios de madeira, muitas vezes construídos pelos próprios trabalhadores. As unidades de produção não possuem ventilação nem iluminação adequada, telhados sem forros, sendo corriqueira a contaminação por particulados, insetos e roedores. Várias das operações de processamento são realizadas manualmente, sendo um trabalho fisicamente muito desgastante, sem cuidados especiais quanto à ergonomia, sem segurança e que em geral envolve toda a família inclusive as crianças. A estrutura e os procedimentos adotados nas casas de farinha, em geral, comprometem o rendimento e a

qualidade dos produtos. Práticas básicas de higiene como o uso de aventais, lavatórios para os trabalhadores e limpeza rotineira dos equipamentos e ferramentas não são adotadas, ocorrendo contaminações que comprometendo a segurança para o consumo humano (Instrução Normativa, 2011 e NAGO, 1995).

A produção de farinha de mandioca obedece a algumas etapas consideradas relativamente simples, no entanto, alguns cuidados são necessários em seu processamento, a fim de se evitar contaminações indesejadas, garantindo um produto final de qualidade, evitando riscos aos consumidores.

Por outro lado, as indústrias de alimentos geram impactos ambientais, pois existe a necessidade da geração de energia térmica provenientes da queima de combustíveis, lançando gases poluentes na atmosfera. As casas de farinha também contribuem com esse fator com a queima da lenha, onde grande parte é de origem ilegal (CHISTÉ & COHEN, 2006). A energia solar pode ser uma excelente alternativa, por causar menor impacto ao meio ambiente, pois consiste em uma fonte energética limpa e renovável.

Sistemas que necessitem de fonte de calor podem aproveitar a energia solar através do uso de concentradores solares, cuja finalidade é captar a energia solar incidente na área do concentrador e concentrar no ponto focal, de forma que a temperatura aumente consideravelmente neste local. O material a ser aquecido deve estar situado no foco do concentrador (ROMERO-ALVAREZ & ZARZA, 2007).

Dessa forma, a geração de calor em substituição a lenha pode ser constituída de um concentrador solar do tipo *Scheffler* e queimadores para queima de gás. O calor gerado por estas fontes de energia aquece uma unidade absorvedora. No interior da

unidade absorvedora está contido um fluido térmico que, depois de aquecido é bombeado para o forno para torração da farinha de mandioca. Este transporte de calor é realizado por tubos de cobre adequadamente isolados para minimizar a perda de calor. O forno para torrefação da farinha de mandioca é construído para ser aquecido com fluido térmico possuindo na sua parte inferior uma serpentina de cobre isolada, para manter o calor na parte inferior do tacho onde será colocada a mandioca a ser processada.

Apesar do foco principal do trabalho ser a produção de farinha, destaca-se também que o sistema é versátil, podendo ser aplicado para secagem de grãos ou outros alimentos, para a fabricação de gessos, dentre outras aplicações que necessitem de calor.

Com isso, o trabalho propõe a redução da emissão dos gases de efeito estufa através da utilização do forno híbrido aquecido com energia solar/gás em substituição a lenha em casas de farinha tradicionais. O trabalho pretende desenvolver tecnologia social para produção de farinha de mandioca para a agricultura familiar, comunidades indígenas e sociedade em geral da produção de farinha por meio de energia limpa. A utilização de energia solar para cozinhar pode reduzir potencialmente os riscos associados à saúde através da queima de lenha e querosene nas residências e, conseqüentemente, reduzir o desmatamento (CUCE, 2013). No entanto, apesar de muita pesquisa, desenvolvimento e subsídios, a aceitação de fogões solares (FS) ainda não tem sido amplamente utilizada (YETTOU, 2014). Fatores econômicos, sociais, culturais, ambientais, políticos e técnicos contribuem para a baixa aceitação (EDMONDS, 2018).

1.1 A Evolução das Casas de Farinha

Como definir uma casa de farinha? Os desinformados podem dizer que é um simples local que se produz a farinha de mandioca e esse modo de fabricação é conhecido como farinhada, sendo marcado por processos e ferramentas embrionários presente desde o período colonial utilizado pelos indígenas e colonizadores. De acordo com ARAÚJO (2016) a casa de farinha é:

O que podemos chamar de “lugar de memória” no cotidiano dos farinhaeiros e onde a relação entre as coisas e os homens vai se moldando na prática e nas maneiras de usar ferramentas que, ao mesmo tempo em que são marcadas pelo uso humano, também delimitam a ação do homem que tende a se adaptar, “conscientemente ou não” à estrutura do objeto

Segundo da Silva *et al.* (2017), o crescimento e o uso da mandioca para o consumo humano no Brasil estão associados à cultura indígena do país e remonta à sua descoberta. Assim, ao longo do tempo, produtos como a raiz cozida, a mandioca e a tapioca foram incorporados nos hábitos alimentares dos portugueses e dos escravos, tornando-se uma das características identificadoras da cultura alimentar brasileira. A raiz no Nordeste do Brasil é consumida, principalmente, como farinha, e a cadeia produtiva dessa farinha é caracterizada pelo uso de mão-de-obra familiar em centenas de pequenas unidades chamadas casas de farinha de mandioca. A maioria das casas de mandioca segue métodos tradicionais e artesanais e opera em estruturas simples que frequentemente não possuem condições adequadas para o processamento seguro e adequado de alimentos e outros produtos. Portanto, pode-se afirmar que a tradição da produção de farinha de mandioca e o comércio foram preservados.

A farinha de mandioca está presente na mesa da população brasileira, principalmente na região Nordeste, fazendo parte da dieta, representando muitas vezes, a principal fonte de carboidrato da família. O processo de fabricação de farinha, através das raízes de mandioca, ainda é bastante tradicional na região nordeste, sendo realizada em pequenas propriedades rurais, conhecidas como casas de farinha. A tecnologia aplicada nesse processo é básica, resumindo-se na mão de obra familiar e algumas máquinas para automatização do processo. (Cardoso *et al.*, 2001; Lancaster *et al.*, 1982; de Barros Júnior *et al.*, 2016; de Freitas *et al.*, 2011)

Segundo GUEDES (2015) o consumo da mandioca, seja in natura ou processada, iniciou-se antes do século XVI com a colonização do Brasil agradando o paladar dos europeus e dos africanos, mantendo-se na mesa dos habitantes naquela época. Atualmente, o cultivo, processamento e a forma de preparo da farinha de mandioca não sofreram grandes mudanças. Em algumas casas de farinha visitadas no estado de Sergipe, ainda acontece a produção de maneira artesanal e com mão de obra familiar.

Figura 27: Comparação do processo de fabricação de farinha (a) período colonial e (b) nos dias atuais.

Fonte: de SOUZA (2010)

a)



b)



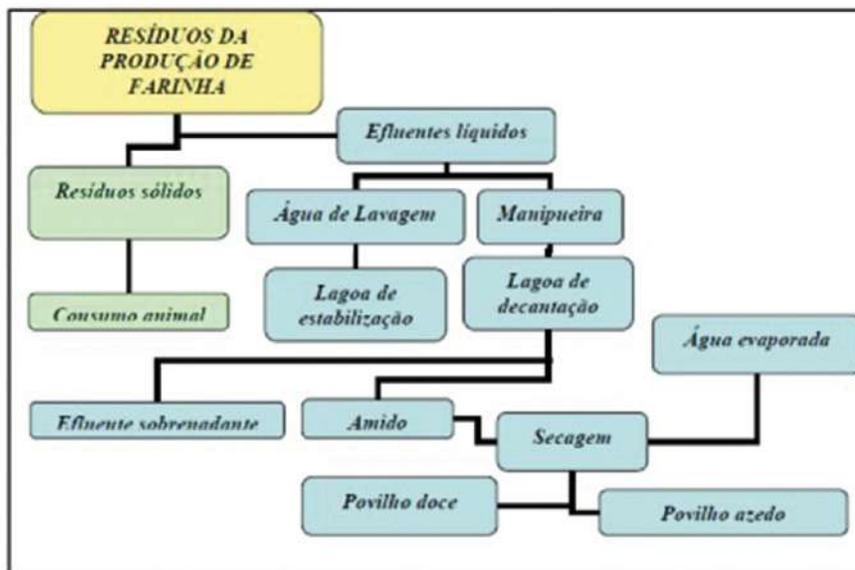
A **Figura 27** mostra a comparação entre o processo de fabricação de farinha de mandioca no período colonial e nos dias atuais. Percebe-se que, apesar da diferença de mais de 500 anos, houve pouca mudança no seu processo de fabricação. A farinha é obtida atualmente da mesma forma que o povo indígena produzia no período da colonização brasileira.

1.2 Os Problemas Ambientais Oriundos das Casas de Farinha

Várias etapas estão envolvidas no processamento de raízes de mandioca para obter os produtos industriais e a farinha de mandioca: descascar e lavar, ralar, prensar, desintegrar, peneirar, secar, moer e peneirar (FERREIRA-LEITÃO, 2010). A **Figura 28** apresenta os resíduos produzidos na casa de farinha.

Figura 28: Fluxograma dos resíduos gerados na casa de farinha

Fonte: COCK (2011)



O processamento da mandioca contribui significativamente para

a poluição ambiental. O principal desperdício no processamento da mandioca é proveniente da casca da mandioca (retirada para a produção de farinha). Na Nigéria, maior produtor de mandioca mundial, aproximadamente 10 milhões de toneladas de mandioca são processadas anualmente. Para isso, as raízes são normalmente descascadas para liberá-las do revestimento exterior. Estas cascas são consideradas resíduos e, geralmente são descartas no meio ambiente. Esses resíduos gerados levam a problemas ambientais, tais como: odores desagradáveis, podem ser venenosos e poluem o ar, que quando inalado pelo homem ou animais podem resultar em doenças ou infecções. Na mesma linha, a vegetação e o solo ao redor das cascas tornam-se improdutivos e devastados devido às reações biológicas e químicas que ocorrem entre as cascas continuamente fermentadas, o solo e a vegetação circundante. Esses problemas podem se agravar com o aumento industrial de produtos da mandioca (COCK, 2011).

Segundo Santana (2014), as cascas podem constituir cerca de 5% do peso total da mandioca variando de acordo com o cultivo, a idade da colheita, o grau de contaminação com solo como também com o tipo de solo.

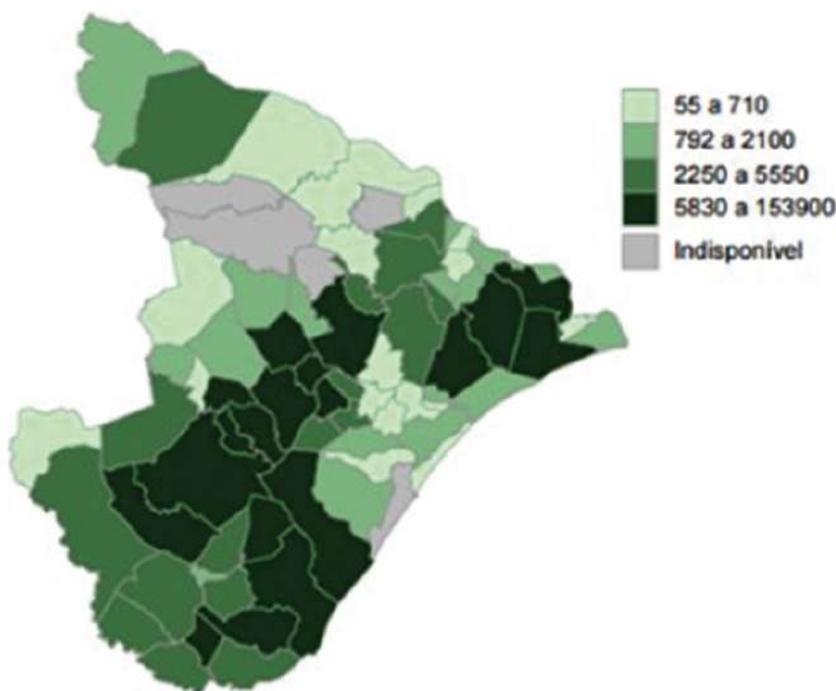
Como citado anteriormente, durante o processo de fabricação de farinha de mandioca ocorrem diversos problemas. Grande parte é encontrada em estabelecimentos sem a mínima infraestrutura e condições inadequadas de higiene sanitária, comprometendo a qualidade final do produto. No estado de Sergipe a produção de mandioca, em 2017, foi de aproximadamente 239 mil toneladas – correspondendo a 1,2% da produção nacional (IBGE, 2017). A **Figura 29** apresenta a produção de mandioca, em toneladas, no estado de Sergipe no ano base de 2015.

Os problemas de poluição causada pelo processamento da

mandioca são mais sociais e econômicos do que tecnológicos. Intervenções, geralmente do governo, são necessárias. A maioria dos governos reconhece a necessidade de controlar o desperdício produzido pelas fábricas de mandioca, mas eles estão conscientes do risco econômico envolvido nessa estratégia. As tecnologias estão disponíveis para grande parte do processamento; contudo, o custo da implementação da tecnologia é, em muitos casos, alto. A instalação de dispositivos de controle de poluição pode ser de 20 a 50% do custo total de investimento de uma fábrica em grande escala. A aplicação total de controles ambientais rigorosos pode ter consequências negativas, forçando os pequenos produtores de farinha a perder a sua competitividade. Lidar com problemas ambientais resultantes do processamento é considerado uma despesa necessária, porém sem retorno direto (UBALUA, 2007).

Figura 29: Produção, em toneladas, de mandioca por município do estado de Sergipe no ano de 2015

Fonte: IBGE (2016)



1.3 Legislações Pertinentes para Melhoria das Casas de Farinha

Os cuidados com a higiene nem sempre são observados nas casas de farinha durante o processo de fabricação do produto, comprometendo assim a qualidade da farinha produzida, diminuindo o valor agregado e, principalmente, colocando em risco a saúde do consumidor. (BEZERRA, 2011).

Visando minimizar esses riscos, alguns manuais e projetos foram desenvolvidos por órgãos governamentais que em sua maioria apresentam recomendações semelhantes e que serão apresentados a seguir.

Antes mesmo de iniciar a produção da farinha, deve-se observar o local onde o produto será processado. A área deve apresentar paredes e pisos lisos e que sejam construídos de modo a facilitar a limpeza diária. As janelas devem conter telas visando evitar a entrada de insetos e outros animais. Os tanques devem ser construídos de modo a permitir o escoamento da manipueira ou outros dejetos para serem transportados para áreas de tratamento. O pé direito deve ser superior a 4 m para facilitar a ventilação. Por fim, recomenda-se o maior aproveitamento possível da luz natural, pois a iluminação é fundamental para a prevenção de acidentes, cansaço e aumentar a produtividade (SEBRAE/AL, 2006).

Referente às instalações elétricas, hidráulicas e sanitárias, as casas de farinha devem obedecer ao disposto na Norma Regulamentadora NR-10, NR-18 e NR-24, respectivamente. Como também, de acordo com a NR-23 é imprescindível à instalação de equipamento para combate a incêndio.

BEZERRA (2011) sugeriu uma planta baixa e equipamentos de uma casa de farinha, mostrado na **Figura 30**.

Figura 30: Planta baixa e equipamento de uma casa de farinha

Fonte: BEZERRA (2011)



Existem algumas normas que devem ser consultadas referentes à produção e a comercialização da farinha de mandioca. Dentre elas, destacam-se:

- Portaria nº 80, de 20 de abril de 1988: Define as características de identidade, qualidade, apresentação e embalagem da Raspa de Mandioca, para fins e comercialização.

- Resolução RDC nº 359, de 23 de dezembro de 2003: Padroniza a apresentação das informações nutricionais que devem constar nas embalagens de farinha e fécula de mandioca.

- Resolução RDC nº 263, de 22 de setembro de 2005: recomenda a adoção de boas práticas de fabricação e rotulagem dos alimentos.

- Instrução Normativa MAPA 52/2011, de 7 de novembro de 2011: Define o padrão oficial de classificação da farinha de mandioca, considerando seus requisitos de identidade e qualidade, a amostragem, o modo de apresentação e a marcação ou rotulagem, nos aspectos referentes à classificação do produto.

BONFIM *et al.* (2013) verificou as condições higiênico-sanitárias das casas de farinha de mandioca em Imperatriz, MA. A pesquisa, em formato de questionários e lista de verificação, foi realizada em 14 estabelecimentos da região. Os dados mostraram deficiência em 100% das casas de farinha em todos os requisitos observados, comprovando a necessidade de medidas corretivas a curto e médio prazo, visando garantir a qualidade do produto e a saúde do consumidor.

1.3.1 Caracterização de Farinha de Mandioca

De acordo com FERREIRA NETO (2003), a produção de farinha corresponde a aproximadamente 70% do destino da mandioca, já a fécula corresponde a 20% e o restante é utilizada como alimento para os animais. Portanto, a farinha é o principal derivado da raiz na alimentação humana e, em algumas regiões, a principal fonte de energia.

O consumo médio da farinha de mandioca no Brasil é de 8 kg, determinado com base na aquisição domiciliar per capita anual por grandes regiões, segundo pesquisa de orçamentos familiares 2002-2003. As regiões do Brasil que mais consomem a farinha de mandioca são as famílias nordestinas que consomem 15,7 kg de farinha de mandioca por ano e as do Norte consumindo 34,2 kg, enquanto que no resto do país o valor não chega a 2 kg (IBGE, 2016).

A fabricação de farinha de mandioca compreende as unidades artesanais, que produzem em média 6 a 10 sacas de farinha por dia, as unidades de médio porte com capacidade de processar 100 sacas por dia e as industriais de grande porte que produzem, em média, 300 sacas por dia. (DIAS & LEONEL, 2006).

Devido à elevada variabilidade e falta de uniformidade das farinhas, o produto não apresenta um valor comercial elevado, apesar de constituir a forma mais ampla de aproveitamento da mandioca. Diversos fatores contribuem para a heterogeneidade tais como: clima, solo, ponto de colheita e, principalmente, pelos diferentes processos de fabricação utilizados pelos pequenos produtores.

Em Sergipe, a farinha é fabricada artesanalmente em casas de farinha que utilizam mão de obra familiar e matéria prima local. Em geral, cada unidade segue um processo de fabricação próprio. As diferenças entre as farinhas produzidas podem ser justificadas por esses diversos processos de fabricação que utilizam carga no forno de secagem e torrefação, temperaturas e prensagem mais ou menos intensas sem uniformidade. Tais variações tornam a padronização da qualidade do produto uma tarefa difícil (SOUZA, 2008).

As principais características físico-químicas da farinha de mandioca são: teor de umidade - determinado de acordo com o método 31.1.02, da AOAC, usando-se estufa a 105 °C por 8 horas e de acordo com a Instrução Normativa N° 52/2011 a farinha de mandioca deverá se apresentar e ser comercializada valor inferior a 13%; Atividade de água - determinada em medidor de atividade de água portátil, modelo *Pawkit*, marca Decagon; Teor de cinzas - determinado de acordo com o método 31.1.04, da AOAC, usa mufla a 540 °C visando calcinar as amostras até peso constante sendo a sua medida expressa em gramas de cinzas por 100 (cem)

gramas do produto (%), segundo a Instrução Normativa N° 52 de 2011 a farinha do grupo seca deva possuir o teor de cinzas menor ou igual a 1,4 % para estarem em conformidade; Teor de lipídios - obtido, de acordo com o método 31.4.02, da AOAC; Teor de proteínas - determinado pela de acordo com o método 31.1.08, da AOAC; Carboidratos - estimados segundo Normas Analíticas do Instituto Adolfo Lutz (1976) e pH que pode ser medido utilizando um equipamento específico para esse fim (pHmetro); Acidez total titulável - determinado de acordo com o método 942.15, da AOAC.

2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA E TECNOLOGIA

O projeto foi realizado com enfoque na produção de “Ecofarinha” pela casa de farinha híbrida solar/gás. A ideia de uma farinha produzida com fontes energéticas limpas implica na redução dos níveis de emissão de gases poluentes tratando diretamente da construção de tecnologias sociais para a eficácia energética e sustentabilidade do seu processo de produção. Destaca-se também que o protótipo é versátil, podendo ser aplicado para secagem de grãos ou outros alimentos, para a fabricação de gessos, dentre outras aplicações que necessitem de calor.

2.1 Descrição do Sistema

A casa de farinha deste trabalho é constituída das seguintes unidades:

- (i)** Concentrador solar do tipo foco fixo (*Scheffler*);
- (ii)** um sistema absorvedor da energia térmica solar, contendo:
- (iii)** um fluido térmico transportador de calor;

(iv) bomba para mover o fluido térmico aquecido até o sistema de torrefação do alimento;

(v) inversor de frequência com a finalidade de controlar a vazão do fluido térmico;

(vi) tubulações termicamente isoladas para a transferência do fluido;

(vii) forno aquecido por fluido térmico para secagem e torrefação da farinha de mandioca;

(viii) estação solar fotovoltaica constituída de duas placas solares fotovoltaicas de 250W cada, uma bateria de 110 Ah e um controlador de carga de 10A;

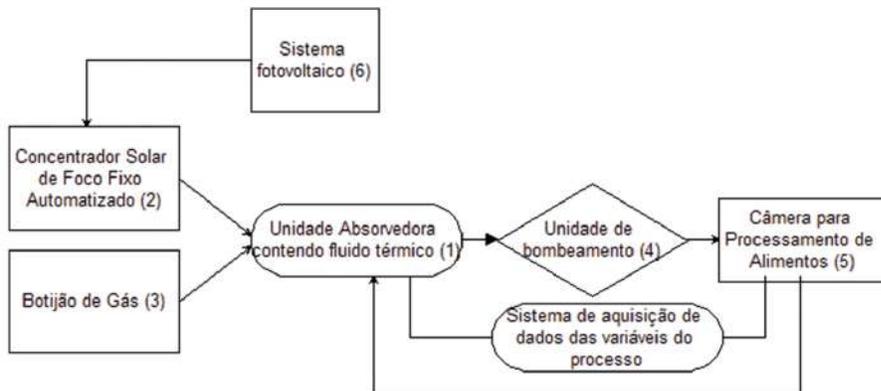
(ix) Botijão de gás, para a queima no absorvedor; e

(x) sistema de monitoramento e controle das variáveis dependentes utilizadas no sistema.

A **Figura 31** apresenta o fluxograma do processo em que o fluido térmico, contido no absorvedor **(1)**, é aquecido por meio dos raios solares que incidem no concentrador **(2)** como também pela queima do gás **(3)** e é bombeado **(4)** para o forno de torrefação **(5)** da farinha. O sistema de automação do concentrador solar é alimentado pelo sistema fotovoltaico **(6)**.

O concentrador solar utilizado baseia-se nos concentradores desenvolvidos por Wolfgang Scheffler, físico austríaco, adaptado para a latitude e longitude de Aracaju/SE. O concentrador possui a função de refletir os raios solares e projetar o foco, com uma área bem menor, no absorvedor. Possui a finalidade de gerar calor,

Figura 31: Fluxograma do processo de fabricação de farinha utilizando o sistema híbrido solar/gás.



mesmo em absorvedores localizados em sombra. O concentrador se movimenta de acordo com o Sol, com a finalidade de manter o foco fixo a uma velocidade angular de 15° por hora.

O concentrador solar possui dois eixos para ajustes do foco, um horizontal e outro vertical. Inicialmente, o sistema de rastreamento foi realizado por pêndulo. Porém, para esse trabalho foi projetado e desenvolvido um sistema de rastreamento microcontrolado. A superfície refletora foi desenvolvida em uma base de aço e foram utilizados 340 espelhos com dimensão de 8×10 cm cada peça, totalizando uma área refletora de $2,7 \text{ m}^2$. A **Figura 32** mostra o concentrador solar tipo Scheffler utilizado neste trabalho.

Figura 32: Concentrador solar de foco fixo.



O foco gerado pelo concentrador solar, como também a chama proveniente de um queimador de gás é recebida pela unidade absorvedora. O absorvedor possui uma janela de vidro de borossilicato com 130 mm para que os raios solares provenientes do concentrador aqueçam uma esfera de aço onde se encontra o fluido térmico. Para controle de temperatura no absorvedor, foram instalados dois sensores tipo J, que possuem as seguintes características: suportam temperaturas entre -40 e 760 °C, sensibilidade de aproximadamente $55\mu\text{V}/^\circ\text{C}$.

A **Figura 33** apresenta o forno absorvedor, que contém os termopares instalados em locais distintos: um na saída do fluido (parte superior); um na entrada do fluido (parte inferior). Na parte frontal do absorvedor é o local onde os raios solares provenientes do absorvedor incidem. Acoplado ao forno absorvedor está a bomba que tem a função de impulsar o fluido térmico para a serpentina aquecedora no forno de torrefação de farinha.

Figura 33: Unidade absorvedora dos raios solares



O forno para torrefação da farinha foi construído de aço inox 316, possui 1 m de diâmetro e parede lateral em forma de cilindro com 27 cm de altura. No fundo do forno para torrefação da farinha foi instalada, em formato de serpentina, uma tubulação de cobre por onde escoo o fluido térmico proveniente da unidade absorvedora.

Para melhorar a área de contato entre a serpentina e o aço da chapa do forno foram instaladas barras para fixação da serpentina no forno e colocou-se pasta térmica.

O revolvimento da farinha é realizado mediante um motor elétrico de $\frac{3}{4}$ cv acoplado a uma estrutura mecânica com engrenagens e pás de aço inox 316, material adequado para a produção higiênica de alimentos. A **Figura 34** mostra o forno para torrefação de farinha e o sistema de revolvimento.

Figura 34: Forno para torrefação da farinha



2.2 Caracterização físico-química da farinha de mandioca

Na **Tabela 1**, encontram-se os valores dos parâmetros de umidade, cinzas, lipídios, proteína bruta, fibra bruta, carboidratos totais, acidez e amido de três amostras de farinha de mandioca produzidas na casa de farinha solar/gás, e os parâmetros estabelecidos pela Instrução Normativa nº 52/2011. As amostras 1, 2 e 3 foram produzidas, respectivamente, utilizando 3.333, 3.333 e 5000 g de massa de mandioca, vazão de transferência do fluido térmico de 4, 1 e 8 L.min⁻¹ e o tempo de secagem e torrefação (t₃) com o tacho pré-aquecido a 120 °C de 74, 154 e 61 minutos.

Tabela 1: Valores do teor Umidade, Cinzas, Lipídios, Proteína Bruta, Fibra Bruta, Carboidratos Totais, Acidez e Amido em três amostras de farinha de mandioca produzida na casa de farinha híbrida solar/gás.

Os resultados das determinações físico-químicas das três amostras de farinha de mandioca estão apresentados na **Tabela 1**. Pode-se observar em relação aos valores de umidade, acidez e cinzas que todas as amostras estão de acordo com a Legislação Brasileira para farinhas de mandioca, que estabelece valores máximos de 13% de umidade, 1,4% de cinzas, 3% de acidez. Já a quantidade de fibra, as amostras 1 e 2 não estão de acordo com a normas que determina valores inferiores a 2,3%.

Tabela 1: Valores com teores

Amostra	1	2	3	Legislação
Umidade (g/100g)	3,14	3,19	3,76	< 13,00
Cinzas (g/100g)	0,86	0,82	1,09	< 1,40
Lipídeos (g/100g)	1,06	0,19	0,11	--
Proteínas (g/100g)	1,33	1,43	1,33	--
Fibra (g/100g)	2,63	3,02	2,24	< 2,30
Carboidratos (g/100g)	93,61	94,37	93,71	--
Acidez (meqNaOH/100g)	0,40	0,60	0,03	< 3,00
Amido (g/100g)	82,03	77,10	80,75	--

3 Conclusões

O forno híbrido solar/gás evidencia a exploração de uma nova forma de utilização desta fonte de energia para a produção de farinha de mandioca, com um produto saudável, de baixo custo e com a utilização de matérias-primas regionais.

Recomenda-se para o processo de fabricação de farinha no forno híbrido solar/gás que pré-aqueça o fluido térmico do absorvedor até temperaturas próximas a 180 °C, após atingir esta temperatura deve-se ligar a bomba de circulação do fluido térmico com a vazão de 9 L.min⁻¹ e aguardar, aproximadamente, 6 min para troca de calor do fluido com o tacho de secagem e torrefação e inserir a massa de mandioca – a quantidade máxima de massa de mandioca utilizada foi de 15 kg com tempo total de secagem e torrefação de 4h 49 min.

A automação do concentrador solar é imprescindível para um correto funcionamento do sistema, pois ajustes manuais são propícios a erros e uma tarefa repetitiva e cansativa. O rastreamento solar, até o momento, não faz uso de sensores e foi realizado por intervalos de tempo de 8 em 8 minutos para acionar o motor que move o concentrador solar.

Destaca-se também que os concentradores e as placas solares apresentam a importante tarefa de conscientização ambiental e sociocultural na utilização de energias limpas e renováveis em substituição à obtenção de energia que agride a natureza.

REFERÊNCIAS

FAO, **Food Outlook: Biannual Report on Global Food Markets**, 2017. Disponível em: <<http://www.fao.org/3/a-l8080e.pdf> >. Acesso em: set.2018.

AGOSTINI, M. R. “Produção e Utilização de Farinha de Mandioca Comum Enriquecida com Adição das Próprias Folhas Desidratadas para Consumo Alimentar” (**Dissertação**), UNESP, 2006.

NAGO, C. M. “La preparation artisanale du gari au Bénin: aspects technologues et physicochimiques”. In: EGBE, T. A.; BRAUMAN, A.; GRIFFON. D.; TRECHE, S. Transformation alimentaire Du manioc. **Paris: Orstom Éditions**, 1995. p.475-493. (Collection Colloques et Séminaires).

INSTRUÇÃO NORMATIVA 52/2011, “Regulamento Técnico da Farinha de Mandioca” **Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento**, 2011.

Chisté, R.C.; Cohen, K.O. “Estudo do Processo de Fabricação da Farinha de Mandioca” **Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária** ISSN 1517-2201, 2006.

Romero-Alvarez , M. Zarza, E. “Concentrating Solar Thermal Power” **Handbook of Energy Efficiency and Renewable Energy**, 2007.

ARAÚJO, F. E. de. **As coisas e os homens: casas de farinha, cultura material e experiências do cotidiano das farinhadas**. Revista de História, ISSN 1984-6150, Edição 22, V. 8, N. 3 (set./ dez. 2016)

da Silva, Í. R. C., Cardoso, R. D. C. V., Góes, J. Â. W., Druzian, J.

I., Júnior, P. O. V., & de Andrade, A. C. B. (2017). Food safety in cassava “flour houses” of Copioba Valley, Bahia, Brazil: Diagnosis and contribution to geographical indication. **Food Control**, 72, 97-104.

Cardoso, E. M. R., Müller, A. A., dos Santos, A. I. M., Homma, A. K. O., & Alves, R. N. B. (2001). Processamento e comercialização de produtos derivados da mandioca no nordeste paraense. **Embrapa Amazônia Oriental-Documentos** (INFOTECA-E).

Lancaster, P. A., Ingram, J. S., Lim, M. Y., & Coursey, D. G. (1982). Traditional cassava-based foods: survey of processing techniques. **Economic Botany**, 36(1), 12-45.

de Barros Júnior, A. P., de Souza, W. M., & de Araújo, M. D. S. B. (2016). PRODUÇÃO DE FARINHA DA MANDIOCA NO AGRESTE PERNAMBUCANO. **REVISTA EQUADOR**, 5(5), 216-238.

de Freitas, C. G., de Farias, C. S., & Vilpoux, O. F. (2011). A produção camponesa de farinha de mandioca na Amazônia sul ocidental. **Boletim Goiano de Geografia**, 31(2), 29-42.

GUEDES, L. B. R. **Na mesa e na terra: A farinha de mandioca e suas permanências do Brasil colonial na Baixada fluminense**. Faculdade de Filosofia e Letras de Duque de Caxias – FEUDUC, 2015.

DE SOUZA, Marcos Andre Torres. **DIVULGAÇÃO DE SOCIEDADES, UTENSÍLIOS CERAMICOS E O PREPARO DA FARINHA DE MANDIOCA NO BRASIL COLONIAL**. Instituto Estadual Do Patrimônio Cultural – INEPAC. 2010.

FERREIRA-LEITÃO, V.; GOTTSCHALK, L. M. F.; FERRARA, M. A.

NEPOMUCENO, A. L.; MOLINARI, H. B. C.; BOM, E. P. S. **Biomass Residues in Brazil: Availability and Potential Uses**. Waste Biomass Valor 1:65–76 DOI 10.1007/s12649-010-9008-8, 2010

COCK, J. H. **Cassava: A Basic Energy Source in the Tropics**. in The Cassava Handbook. A Reference Manual based on the Asian Regional Cassava Training Course, held in Thailand. 2011.

SANTANA, T. P.; SOBRAL, A. J. S.; SOUZA, E. Y. B.; MUNIZ, E. N.; Rangel, J.H.A.; CASTROFILHO, E.S., OLIVEIRA, D.S. **Caracterização Bromatológica de Casca de Mandioca e da Manipueira para Utilização na Alimentação Animal** IV Seminário de Iniciação Científica e Pós-Graduação da Embrapa Tabuleiros Costeiros, Aracaju, 2014.

BEZERRA, V. S. **Planejando uma Casa de Farinha de Mandioca**. Embrapa Amapá 1ª edição, 2011.

SEBRAE/AL, **MANUAL DE REFERÊNCIA PARA CASAS DE FARINHA BOAS PRÁTICAS DE FABRICAÇÃO DIAGNÓSTICO AMBIENTAL SAÚDE E SEGURANÇA NO TRABALHO ERGONOMIA PROJETO ARQUITETÔNICO**, 2006.

BONFIM, D. L. DIAS, V. L. N., KUROZAWA, L. E. **Perfil Higiênico-Sanitário das Unidades de Processamento da Farinha de Mandioca em Municípios da Microrregião de Imperatriz, MA** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.15, n.4, p.413-423, 2013 413 ISSN 1517-8595

FERREIRA NETO, C. J.; Figueirêdo, R. M. de; QUEIROZ, A. J. M.; **Avaliação físico-química de farinhas de mandioca durante o armazenamento** Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.5, n.1, p.25-31, 2003.

DIAS, L. R. e LEONEL, M. **Caracterização físico-química de farinhas de mandioca de diferentes localidades do Brasil.** Ciênc. agrotec., Lavras, v. 30, n. 4, p. 692-700, jul./ago., 2006.

SOUZA, Joana Maria Leite de et al. **Variabilidade físico-química da farinha de mandioca.** Ciênc. Tecnol. Aliment., Campinas, v. 28, n. 4, p. 907-912, Dec. 2008.

INSTITUTO ADOLFO LUTZ (2008) Normas analíticas do Instituto Adolfo Lutz: métodos físico-químicos para análise de alimentos. 4^a ed. São Paulo, **Instituto Adolfo Lutz.** 1020p.





CAPÍTULO 5

ÁGUA

1. INTRODUÇÃO

Nos dias de hoje existem grandes preocupações da sociedade em relação à conservação dos recursos da natureza. Dentre estes, a água é um dos mais preciosos recursos, se tornando indispensável para vida de todos. Cerca de 2/3 da superfície do planeta Terra são dominados pelos oceanos. O volume total de água na Terra é estimado em torno de 1,35 milhões de quilômetros cúbicos, sendo que cerca de 97,5% deste volume é de água salgada, encontrada em mares e oceanos. Já 2,5% são de água doce, porém localizada em regiões de difícil acesso, como aquíferos (águas subterrâneas) e geleiras. Apenas, aproximadamente, 0,007% da água doce encontra-se em locais de fácil acesso para o consumo humano, como lagos, rios e na atmosfera (UNIÁGUA, 2006).

Apesar da água doce ainda ser encontrada em grande quantidade no planeta, em algumas regiões do mundo, suprir a demanda de água já está se tornando um problema em função do acelerado crescimento populacional, principalmente urbano. De acordo com relatórios da Organização das Nações Unidas (ONU, 2006), a atual população mundial é estimada em aproximadamente 6,5 bilhões de pessoas, tendendo a alcançar a marca de 9 bilhões em 2050, sobrecarregando ainda mais os sistemas de abastecimento de água.

A escassez da água, problema que já vem sendo enfrentado em vários locais, é resultado do consumo cada vez maior dos recursos hídricos, do mau uso que se faz dos mesmos, da poluição, do desperdício e, sobretudo, da falta de políticas públicas que estimulem o uso sustentável da água. A essencialidade desse recurso natural é indiscutível, sendo extremamente necessário para a manutenção da vida no planeta.

É em virtude deste panorama que cresce a necessidade de encontrar meios e formas de preservar a água potável, passando necessariamente pela busca de novas tecnologias e pela revisão do uso da água pela população.

A meta da atualidade é a busca por práticas que aprimorem o uso da água, como, programas de conservação baseados em medidas técnicas e em mudanças de comportamento, motivadas por incentivos que vão desde a educação ambiental até a regulamentação de leis e de estrutura tarifária (TOMAZ, 2003).

Segundo Silva *et. al.* (2006), nos últimos anos, a acumulação e uso de águas de chuva vem se mostrando uma importante alternativa para fornecer água de boa qualidade à população, e sua adoção é estimulada pela simplicidade de construção do sistema e pela obtenção de benefícios imediatos.

A água de chuva tem sido uma solução alternativa, na maior parte das vezes individual, de abastecimento em áreas rurais, principalmente em regiões áridas e semiáridas, locais em que as fontes disponíveis, como poços, rios e nascentes, dispõem de volume variável de água, sob efeito da sazonalidade (SILVA, 2012).

Sabe-se que a utilização de cisterna para o armazenamento gratuito da água da chuva, objetiva economizar a água, porém a qualidade da água cai em ambientes urbanos e devido às condições dos telhados. A ideia é utilizá-la para usos domésticos não potáveis, como: lavar chão, carro, regar plantas, entre outros (MENEZES *et.al.*; 2013).

1.1 Definição de água

A água é um recurso natural de valor inestimável. Além de indispensável à produção, é um recurso natural estratégico para o desenvolvimento econômico. É vital para a manutenção dos ciclos biológicos, geológicos e químicos que mantêm em equilíbrio os ecossistemas. É também uma referência cultural e um bem social indispensável à adequada qualidade de vida da população.

Com o desenvolvimento do conhecimento específico, a água passou a ser compreendida como uma substância cujas características se originavam a partir da associação de dois elementos: oxigênio e hidrogênio. As explicações sobre a natureza desta associação acompanharam a evolução do conhecimento científico (VERNO KRUGER, 2008). Nos dias de hoje existem grandes preocupações da sociedade em relação à conservação dos recursos da natureza. Dentre estes, a água é um dos mais preciosos recursos, se tornando indispensável para vida de todos.

1.2 Ciclo da água

Dentre todos os processos essenciais para a manutenção da vida na Terra, o ciclo da água ou o ciclo hidrológico, **Figura 35**, é um dos principais. Este processo consiste no movimento que a água realiza no planeta, que é considerado infinito e circular. Sua importância está no fato de que é através dele que ocorre a variação climática, as condições para o bom desenvolvimento de plantas e animais e o funcionamento correto dos rios, oceanos e lagos.

◆ O ciclo da água começa com a evaporação das águas dos oceanos, lagos e rios (estado líquido), por culpa do calor do sol e pela ação dos ventos. A partir daí, a água vai para o estado gasoso.

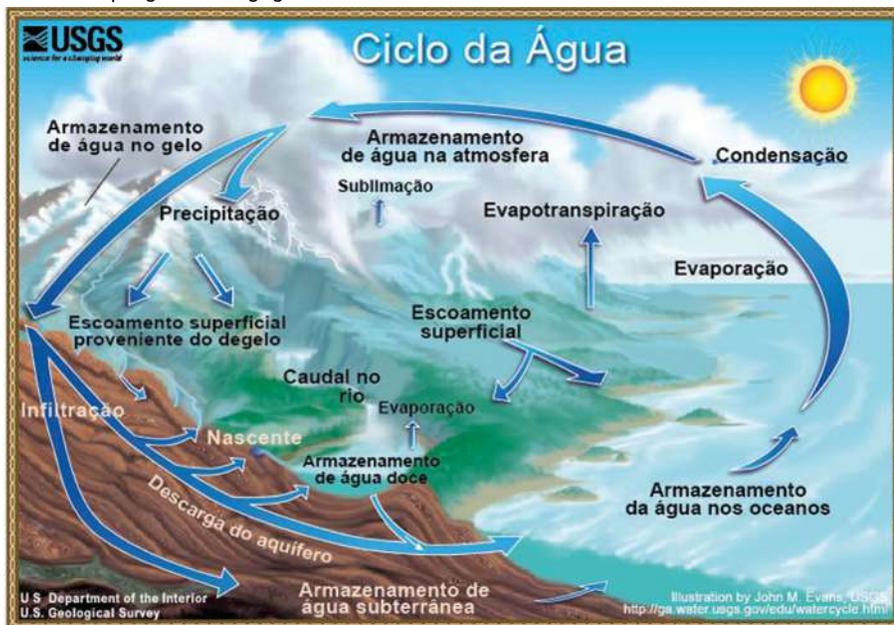
Esse vapor de água é mais leve que o ar, por isso sobe até a atmosfera, transformando-se em nuvens, que são as nuvens com aparência mais “pesada”, mais acinzentada.

Quando as temperaturas mais baixas atingem essas nuvens, o vapor de água contido nelas se condensa, transformando-se em gotículas de água que voltam à superfície em forma de chuva (em locais muito frios, essas gotículas acabam se tornando flocos de neve).

Após cair, a água da chuva fica no solo onde há vegetação, para ser utilizada pelas plantas. A parte que não é utilizada dessa água vai para os rios e lagos. É daí também que são formados os lençóis de água, já que a água da chuva também escorre entre pedras permeáveis. Estes lençóis fluem de volta para os oceanos.

Figura 35: Ciclo da água

Fonte: <http://ga.water.usgs.gov/>



A partir daí, o ciclo recomeça. Às vezes, a água acumulada nas nuvens pode esfriar tanto que chega ao estado sólido, congelada. Esta é a explicação por trás das chuvas de granizo e das nevascas.

Outros elementos também possuem influência sobre o ciclo da água: o homem, os animais e as plantas, que acabam contribuindo para a formação de vapor, devido à expiração proveniente do processo de respiração.

Diante de toda precisão desse processo dinâmico, fica evidente que caso haja um desmembramento ou interrupção, uma incalculável mudança ocorrerá, comprometendo a configuração das paisagens e colocando em risco diversos tipos de vida no planeta (FREITAS, 2014).

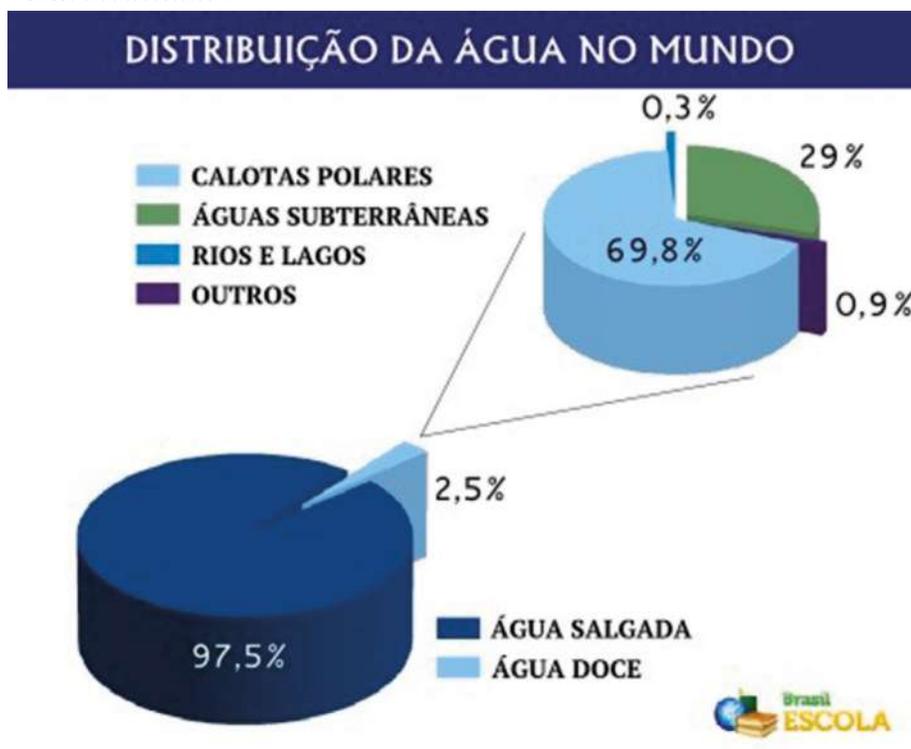
1.3 Distribuição da água no mundo

A maior parte da água existente no mundo é salgada (97,5%) e está concentrada principalmente nos oceanos, mares e lagos, sendo, portanto, imprópria para o consumo.

Os outros 2,5% restantes são formados pela água doce, e boa parte deles é própria para consumo. No entanto, desse total, quase 70% encontram-se em calotas polares, sendo inviáveis para a exploração e utilização. As águas subterrâneas (29% da água doce), por sua vez, são a principal fonte de captação de recursos hídricos no mundo, apresentando-se nos lençóis freáticos e aquíferos, que possuem a capacidade de absorver e filtrar a água. Já os rios e lagos correspondem a apenas 0,3% de toda a água potável disponível no mundo, mas mesmo assim são uma importante fonte de obtenção desse recurso para muitas localidades e precisam ser conservados.

Figura 36: Distribuição de água no mundo

Fonte: brasilescola.com



1.4 Águas no Brasil

O Brasil possui uma disponibilidade hídrica estimada em 35.732 m³/hab/ano, sendo considerado um país “rico em água”. Além disso, em relação ao potencial hídrico mundial, o Brasil conta com 12% da quantidade total de água doce no mundo (TOMAZ, 2001).

Entre os países da América do Sul, o Brasil se destaca por possuir uma vazão média de água de 177.900 km³/ano, o que corresponde a 53% da vazão média total da América do Sul (TOMAZ, 2001).

As principais bacias hidrográficas do Brasil são do Rio Amazonas, do Tocantins, Araguaia, do São Francisco, do Atlântico Norte

Nordeste, do Uruguai, do Atlântico Leste, do Atlântico Sul e Sudeste, dos Rios Paraná e Paraguai.

A maior rede hidrográfica mundial é a da Bacia Amazônica, que abrange uma área de drenagem da ordem de 6.112.000 Km², ocupando cerca de 42% da superfície do território brasileiro, se estendendo além da fronteira da Venezuela à Bolívia.

Apesar de o Brasil apresentar grande disponibilidade de recursos hídricos, estes não estão distribuídos uniformemente, havendo um grande desequilíbrio entre oferta de água e demanda. Verifica-se que as regiões mais populosas são justamente as que possuem menor disponibilidade de água, por outro lado onde há muita água ocorre baixo índice populacional, conforme **Tabela 2**, como exemplo disso pode-se citar a região sudeste do Brasil, que dispõe de um potencial hídrico de apenas 6% do total nacional, porém conta com 43% do total de habitantes do país, enquanto a região norte, que compreende a Bacia Amazônica, apresenta 69% de água disponível, contando com apenas 8% da população brasileira (GHISI, 2006).

Tabela 2: Proporção de área territorial, disponibilidade de água e população para as cinco regiões do Brasil.

Fonte: GHISI, 2006

Região do Brasil	Área Territorial (%)	Disponibilidade De Água (%)	População (%)
Norte	45	69	08
Nordeste	18	03	28
Sudeste	11	06	43
Sul	07	06	15
Centro-Oeste	18	15	07

1.4.1 Águas no nordeste

Na síntese de indicadores da PNAD 2009 (Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílios), o número de domicílios atendidos por rede geral de abastecimento de água no Brasil (49,5 milhões) representou 84,4% do total de domicílios. Foi observada uma tendência de crescimento ao longo dos anos anteriores, exceto na Região Nordeste, que apresentou um crescimento discreto na proporção de domicílios atendidos.

Devido a região nordeste do Brasil ser a mais carente de recursos hídricos de superfície, ela se torna uma região de maior responsabilidade na gestão do seu limitado potencial hídrico.

A causa da escassez de água no Nordeste reside, primeiramente, na baixa pluviosidade e irregularidade das chuvas da região, além de uma estrutura geológica que não permite acumular de maneira satisfatória água no subsolo, o que, de certa forma, interfere inclusive no volume de água dos rios. Contudo, para além de questões geográficas, sabe-se que a escassez de água no semiárido nordestino tem um histórico de promessas políticas não cumpridas e é um problema que necessita de resposta urgente e prioritária. Dentro desse contexto, há papéis diferentes a serem desempenhados pelas prefeituras, Estados, Governo Federal e pelos cidadãos.

1.4.2 Águas em sergipe

O trabalho de captação no estado é feito a partir de 29 mananciais superficiais (rios, lagos ou represas) e de 92 Subterrâneos (formados por poços profundos). Estas fontes de água são usadas para o abastecimento humano. Mas antes de chegar às torneiras da população, esta água bruta do manancial passa por um

complexo processo de operação que começa na captação, passa pelas estações de tratamento, reservatórios e rede de distribuição (DESO, 2015).

O estado possui 5 bacias hidrográficas (bacia hidrográfica do rio Japarutuba, do rio Sergipe, do rio Vaza Barris, do rio Piauí e do rio Real), onde a principal delas é a Bacia Hidrográfica do Rio Sergipe, por incluir em sua área de drenagem a capital do estado, bem como as cidades de porte médio como: São Cristóvão, Laranjeiras, Santo Amaro das Brotas e Nossa Senhora do Socorro. O rio Sergipe nasce no município de Poço Redondo, na lagoa da Areia que fica na serra de Boa Vista, perto da serra Negra, divisa com o Estado da Bahia. Depois percorre uma extensão de, aproximadamente, 120 km, atravessando a região mais desenvolvida do estado, e deságua no Oceano Atlântico próximo à cidade de Aracaju. Dos municípios da região apenas Aracaju e Barra dos Coqueiros localizam-se junto ao mar, os demais ocupam os estuários e tabuleiros do interior (IBGE, 2000).

Na parte leste desta bacia, perto do litoral, o clima é quente e úmido, com índices pluviométricos médios, que giram em torno de 1200 mm/ano. Porém, à medida que se avança para as cabeceiras este valor tende a cair para cerca de 1000 mm/ano, uma vez que a região da serra da Boa Vista já sofre influência do clima semiárido. Segundo dados registrados na Caracterização dos Ativos Ambientais da Zona Costeira o período de estiagem situa-se entre os meses de março a agosto. Independente disso, o aproveitamento das águas subterrâneas é mais disseminado no alto e no médio curso do rio Sergipe, ou seja, no interior do Estado, onde os problemas de escassez de água são mais comuns.

Entre os rios mais importantes para o abastecimento público, o rio São Francisco é o de maior abrangência, com vários pontos

de captações na sua trajetória dentro do território sergipano. Ele atende os quatro maiores sistemas de adutoras: São Francisco, Alto Sertão, Sertaneja e Semiárido.

A água fornecida à população sergipana segue as exigências do Ministério da Saúde. Essa determinação se torna uma garantia com o trabalho de monitoramento do produto. A água passa por análises em laboratório próprio da Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO) e em unidades laboratoriais terceirizadas com certificações ISO/IEC 17025. E, mensalmente, são emitidos relatórios de controle de qualidade para as Coordenadorias de Vigilância Sanitária.

Toda água captada e tratada pela DESO é monitorada desde o manancial até o ramal do imóvel do cliente. A cada mês, a empresa chega a coletar 3.535 amostras e realiza 28.050 ensaios analíticos em todo o território sergipano atendido.

1.4.3 Águas em aracaju

Aracaju, Nossa Senhora Do Socorro, Barra dos Coqueiros, Atalaia Nova, São Cristóvão e Malhada dos Bois passaram a ser a primeira região do Nordeste a ser abastecida pelo Rio São Francisco, o maior, mais importante e o mais seguro suprimento do Estado de Sergipe, chegando a abastecer cerca de 70% da grande Aracaju, com água de boa qualidade para o consumo humano. O Rio Poxim complementa a distribuição da grande Aracaju com cerca de 30% do volume total de água ofertada. Sua vazão é de 580 l/s. A área estudada compreende a região que vai desde a confluência deste estuário com o Rio Sergipe até as imediações dos conjuntos habitacionais Sol Nascente e Santa Lúcia. Tendo às margens o Distrito Industrial de Aracaju (D.I.A.), onde encontra-se indústrias de produtos alimentícios, móveis, plásticos, produtos têxteis, químicos, dentre outras.

Segundo a Companhia de Saneamento de Sergipe (DESO), em Aracaju a distribuição é feita através de quatro Estações de Tratamento de Água (ETA), a ETA João Ednaldo Oviedo Teixeira, ETA Póxim, ETA Cabrita e ETA Ibura.

A ETA João Ednaldo Oviedo Teixeira capta água no rio São Francisco que tem uma extensão de 188 km, produz 6.773.940 m³/h de água e atende a 782.996 habitantes e atende aos municípios de Aracaju, Nossa Senhora Do Socorro, Barra dos Coqueiros, São Cristóvão e Malhada dos Bois.

As ETAs do Póxim e Cabrita captam água nos rios Póxim e Pitanga, tem extensão de 8,5 km e 17 km respectivamente, produzem 3.000 m³/h e 1.000 m³/h de água e atendem o município de Aracaju.

1.4.4 Água da chuva

A crescente urbanização, realidade em grande parte do mundo, gerou uma mudança no ciclo hidrológico das áreas urbanas. O aumento das áreas impermeáveis provocou uma redução da função de infiltração e armazenamento de água de chuva nas camadas subterrâneas da terra. Com isso, a realidade desses centros é a diminuição da recarga dos aquíferos e aumento do escoamento superficial das chuvas, provocando enchentes e trazendo sérios problemas à população.

A utilização da água da chuva além de trazer o benefício da conservação da água e reduzir a dependência excessiva das fontes superficiais de abastecimento, reduz o escoamento superficial e dá chance à restauração do ciclo hidrológico nas áreas urbanas, sendo este extremamente necessário para garantir o desenvolvimento sustentável (ZAIZEN *et al.*, 1999).

O manejo e o aproveitamento da água da chuva não são práticas novas; existem relatos desse tipo de atividade há milhares de anos atrás, antes mesmo da era cristã.

A coleta e o aproveitamento da água da chuva pela sociedade perderam força com a inserção de tecnologias mais modernas de abastecimento, como a construção de grandes barragens, o desenvolvimento de técnicas para o aproveitamento de águas subterrâneas, a irrigação encanada e a implementação dos sistemas de abastecimento.

Entretanto, atualmente a utilização da água da chuva voltou a ser realidade, fazendo parte da gestão moderna de grandes cidades em países desenvolvidos. Vários países europeus e asiáticos utilizam amplamente a água da chuva nas residências, nas indústrias e na agricultura, pois, sabe-se que a mesma possui qualidade compatível com usos importantes, sendo considerada um meio simples e eficaz para atenuar o problema ambiental de escassez de água.

Muitos países desenvolvidos da Europa, principalmente, a Alemanha e outros como o Japão, a China, a Austrália, os Estados Unidos e até mesmo os países da África e a Índia estão seriamente empenhados e comprometidos com o aproveitamento da água da chuva e com o desenvolvimento de pesquisas e tecnologias que facilitem e garantam o uso seguro desta fonte alternativa de água.

Com a necessidade e o crescente interesse no aproveitamento da água da chuva como fonte alternativa de suprimento cresce também os questionamentos acerca da sua qualidade, principalmente, nos centros urbanos, onde a poluição atmosférica em muitos casos é visível e percebida pela população.

São muitos os fatores que influenciam na qualidade da água da chuva, dentre eles pode-se citar a localização geográfica (proximidade do oceano), a presença de vegetação, as condições meteorológicas (regime dos ventos), a estação do ano e a presença de carga poluidora.

Em regiões próximas aos oceanos existe uma maior probabilidade de encontrar sódio, potássio, magnésio e cloro na água da chuva, já em regiões com grandes áreas não pavimentadas, ou seja, com grandes áreas de terra, provavelmente, estarão presentes na água da chuva partículas de origem terrestre como a sílica, o alumínio e o ferro.

Algumas atividades naturais também podem gerar poluentes como o material particulado, óxidos de nitrogênio e enxofre, hidrocarbonetos e monóxido de carbono, são elas a decomposição biológica, as praias e dunas, as queimadas, o spray marinho e a erosão eólica do solo e de superfícies.

A chuva cumpre papel de destaque no que diz respeito à dispersão dos poluentes, posto que ao lavar a atmosfera, sedimenta o material particulado e auxilia na dissolução dos gases.

Ela funciona também como agente agregador, capturando os particulados, que agem como núcleos de condensação ou são englobados pelas gotas de nuvens, que ao se colidirem aumentarão, formando gotas sempre maiores, que acabarão por precipitar-se. Nesse momento tem início o processo de remoção dos poluentes por carreamento, um eficiente agente de limpeza da atmosfera também denominado deposição úmida.

Ao promover a limpeza da atmosfera, a chuva traz consigo os contaminantes presentes na mesma, que dependendo da sua

natureza e concentração podem afetar as características naturais da água da chuva, podendo ocasionar inclusive o fenômeno da chuva ácida, que causa efeitos indesejáveis, tais como danos aos rios e lagos, às florestas e vegetação e danos a materiais e estruturas.

Considera-se 5,6 como sendo o valor normal do pH da água de chuva, em função do equilíbrio com a concentração de CO₂ (dióxido de carbono) atmosférico (ANDRADE & SARNO, 1990).

Porém, medidas de precipitação sobre oceanos, em áreas remotas, demonstraram que nestes locais os valores de pH da água da chuva são extremamente ácidos.

Portanto, afirmar de maneira generalizada, que pH menor que 5,6 é indicativo de atividade antropogênica pode levar a um grande erro. Segundo Seinfeld e Pandis (1998), é razoável considerar a ocorrência de chuva ácida quando o pH for inferior a 5,0. O tipo de material que recobre a superfície também pode interferir na qualidade da água da chuva. O ideal é que este revestimento não retenha muita sujeira, não promova o crescimento de bactérias e parasitas e não se decomponha com a chuva.

Segundo Thomas *et al.* (2001), com relação ao aspecto bacteriológico deve-se ter preferência pelos telhados metálicos, seguidos pelos de plástico e por último pelos cerâmicos. Além disso, telhados de fibras naturais, como palha e bambu, devem ser evitados, pois os mesmos costumam dar uma coloração amarelada à água da chuva.

A literatura mostra diferentes resultados de avaliação da qualidade da água de chuva. Enquanto alguns autores concluíram que a água da chuva que cai na superfície dos telhados é poluída

(GOOD, 1993), outros encontraram um baixo potencial de poluição associado à mesma (SHINODA, 1990), confirmando assim que as características da água da chuva variam de acordo com a região.

Portanto, principalmente em áreas urbanas, deve-se direcionar o uso da água da chuva para fins não potáveis, como rega de jardins, descarga de sanitários, lavagem de pisos e roupas, podendo inclusive ser aproveitada pela indústria.

Segundo pesquisas realizadas, a água da chuva caracteriza-se por apresentar baixa concentração de dureza (THOMAS & REES, 1999). Águas duras têm um reduzido potencial de formação de espuma, implicando em um maior consumo de sabão e podendo provocar incrustações, principalmente, nas tubulações de água quente, como de caldeiras e aquecedores. Portanto, pode-se indicar a utilização da água da chuva para lavagem de roupas e em processos industriais, como por exemplo, nas torres de resfriamento.

Caso a água da chuva seja aproveitada para fins potável, recomenda-se que a mesma passe por um processo de desinfecção por cloro ou mesmo por radiação ultravioleta. Em regiões onde a pobreza castiga a população inclusive pela falta de água, o uso potável da água da chuva deve ser encorajado.

1.5 Necessidade do aproveitamento de recursos hídricos

A crise de água não é consequência apenas de fatores climáticos e geográficos, mas principalmente do uso irracional dos recursos hídricos. Entre as causas do problema figuram: o fato de a água não ser tratada como um bem estratégico no País, a falta de integração entre a Política Nacional de Recursos Hídricos (PNRH) e as demais políticas públicas, os graves problemas na área de

saneamento básico e a forma como a água doce é compreendida, visto que muitos a consideram um recurso infinito. Para preservar os corpos hídricos e garantir o acesso a eles, o Brasil terá de promover uma gestão eficiente, que busque a equalização inter-regional e intertemporal da água. Para a definição dos marcos regulatórios principais e da capacidade de suporte de cada bacia, é fundamental o conhecimento das necessidades dos diversos usuários e da capacidade de oferta e de renovação das fontes naturais (FREITAS, 1999).

Figura 37: Armazenamento de água pluvial

Fonte: <http://meioambiente.culturamix.com/>



A racionalização do uso dos recursos hídricos passa pela redução do consumo, a reutilização e a reciclagem. A redução do consumo diz respeito à simples economia de água, por meio da eliminação de vazamentos e da diminuição do gasto em atividades domiciliares, industriais e agrícolas, entre outras. A reutilização pode ser definida

como o uso de água já utilizada para determinada função, mesmo que sua qualidade tenha sido reduzida durante esse uso inicial; o reaproveitamento é feito antes que essa água atinja a rede de esgoto. A reciclagem consiste no reaproveitamento da água que já passou pela rede de esgoto e por uma estação de tratamento (FREITAS, 1999).

Existem várias maneiras de se conservar água, duas delas são: aproveitar águas pluviais e reutilizar águas cinzas, ambas para consumos não potáveis (HESPANHOL, I., 2008).

Neste trabalho de pesquisa, o foco do aproveitamento de água foi voltado para os sistemas emergenciais de captação e armazenamento de águas pluviais.

1.6 Normatização para captação de água da chuva

Abaixo estão descritos os requisitos para o aproveitamento de água de chuva de coberturas em áreas urbanas para fins não potáveis, segundo a Associação Brasileira de Normas Técnicas (NBR 15527:2007).

A NBR 15527:2007, se aplica a usos não potáveis em que as águas de chuva podem ser utilizadas após tratamento adequado como, por exemplo, descargas em bacias sanitárias, irrigação de gramados e plantas ornamentais, lavagem de veículos, limpeza de calçadas e ruas, limpeza de pátios, espelhos d'água e usos industriais.

Calhas e condutores horizontais e verticais devem atender à NBR 10844 e serem observados o período de retorno escolhido, a vazão de projeto e a intensidade pluviométrica, também devem ser instalados dispositivos para remoção de detritos. Estes dispositivos

podem ser, por exemplo, grades e telas atendendo à NBR 12213.

É recomendado que o dispositivo para o descarte da água de escoamento inicial que pode ser instalado seja automático e quando utilizado o mesmo deve ser dimensionado pelo projetista e na falta de dados recomenda-se o descarte de 2 mm da precipitação inicial.

Os reservatórios devem atender à NBR 12217 e ter considerados no projeto: extravasor, dispositivo de esgotamento, cobertura, inspeção, ventilação e segurança. O seu turbilhonamento deve ser minimizado, dificultando a ressuspensão de sólidos e o arraste de materiais flutuantes. A retirada de água do reservatório deve ser feita próxima à superfície e recomenda-se que seja feita a 15 cm da superfície.

Quando o reservatório for alimentado com água de outra fonte de suprimento de água potável, deve possuir dispositivos que impeçam a conexão cruzada.

O volume de água de chuva aproveitável depende do coeficiente de escoamento superficial da cobertura, bem como da eficiência do sistema de descarte do escoamento inicial, sendo calculado pela seguinte equação:

$$V = P \times A \times C \times \eta \text{ fator de captação} \quad (1^\circ \text{ Equação})$$

Onde:

V é o volume anual, mensal ou diário de água de chuva aproveitável;

P é a precipitação média anual, mensal ou diária;

A é a área de coleta;

C é o coeficiente de escoamento superficial da cobertura;

η fator de captação é a eficiência do sistema de captação, levando em conta o dispositivo de descarte de sólidos e desvio de escoamento inicial, caso este último seja utilizado.

O volume dos reservatórios deve ser dimensionado com base em critérios técnicos, econômicos e ambientais, levando em conta as boas práticas da engenharia, devem ser limpos e desinfetados com solução de hipoclorito de sódio, no mínimo uma vez por ano, de acordo com a NBR 5626.

O volume não aproveitável da água de chuva pode ser lançado na rede de galerias de águas pluviais, na via pública ou ser infiltrado total ou parcialmente, desde que não haja perigo de contaminação do lençol freático, a critério da autoridade local competente.

A água de chuva reservada deve ser protegida contra a incidência direta da luz solar e do calor, bem como de animais que possam adentrar o reservatório através da tubulação de extravasão.

As tubulações e demais componentes devem ser claramente diferenciados das tubulações de água potável e o sistema de distribuição de água de chuva deve ser independente do sistema de água potável, não permitindo a conexão cruzada de acordo com a NBR 5626.

Pontos de consumo, como por exemplo, uma torneira de jardim, devem ser de uso restrito e identificados com placa de advertência com a seguinte inscrição “água não potável” e identificação gráfica. Reservatórios de água de distribuição de água potável e de água de chuva devem ser separados.

Os padrões de qualidade devem ser definidos pelo projetista de acordo com a utilização prevista. Para usos mais restritivos, deve ser utilizada a **Tabela 3**.

Tabela 3: Parâmetros de qualidade de água de chuva para usos restritivos não potáveis

Fonte: ABNT

Parâmetro	Análise	Valor
Coliformes totais	Semestral	Ausência em 100 mL
Coliformes termotolerantes	Semestral	Ausência em 100 mL
Cloro residual livre ^a	Mensal	0,5 a 3,0 mg/L
Turbidez	Mensal	< 2,0 uT ^b , para usos menos restritivos < 5,0 uT
Cor aparente (caso não seja utilizado nenhum corante, ou antes da sua utilização)	Mensal	< 15 uH ^c
Deve prever ajuste de pH para proteção das redes de distribuição, caso necessário	mensal	pH de 6,0 a 5,0 no caso de tubulação de aço carbono ou galvanizado
NOTA: Podem ser usados outros processos de desinfecção além do cloro, como a aplicação de raio ultravioleta e aplicação de ozônio.		
^a No caso de serem utilizados compostos de cloro para desinfecção.		
^b uT é a unidade de turbidez.		
^c uH é a unidade Hazen.		

Para desinfecção, a critério do projetista, pode-se utilizar derivado clorado, raios ultravioleta, ozônio e outros. Em aplicações onde é necessário um residual desinfetante, deve ser usado derivado clorado. Quando utilizado o cloro residual livre, deve estar entre 0,5 mg/L e 3,0 mg/L.

Quando necessário o bombeamento, este deve atender à NBR 12214. Devem ser observadas as recomendações das tubulações de sucção e recalque, velocidades mínimas de sucção e seleção

do conjunto motor-bomba. Pode ser instalado, junto à bomba centrífuga, dosador automático de derivado clorado, o qual convém ser enviado a um reservatório intermediário para que haja tempo de contato de no mínimo 30 min.

Deve-se realizar manutenção em todo o sistema de aproveitamento de água de chuva de acordo com a **Tabela 4**.

Tabela 4: Frequência de Manutenção

Fonte: ABNT

Componente	Frequência de manutenção
Dispositivo de descarte de detritos	Inspeção mensal Limpeza trimestral
Dispositivo de descarte do escoamento inicial	Limpeza mensal
Calhas, condutores verticais e horizontais	Semestral
Dispositivos de desinfecção	Mensal
Bombas	Mensal
Reservatório	Limpeza e desinfecção anual

Quando da utilização de produtos potencialmente nocivos à saúde humana na área de captação, o sistema deve ser desconectado, impedindo a entrada desses produtos no reservatório de água de chuva. A reconexão deve ser feita somente após lavagem adequada, quando não haja mais risco de contaminação pelos produtos utilizados.

2. DESCRIÇÃO DA METODOLOGIA E TECNOLOGIA

2.1 Sistema para captação e armazenamento de água da chuva

O sistema de aproveitamento da água da chuva é considerado um sistema descentralizado de suprimento de água, cujo objetivo é de conservar os recursos hídricos, reduzindo o consumo de água potável (KOENIG, 2003). Esses sistemas captam a água da chuva que cai sobre superfícies, direcionando-as a reservatórios de armazenamento para posterior utilização.

Segundo Lee et al. (2000), as técnicas mais comuns para coleta da água da chuva são através da superfície de telhados ou através de superfícies no solo, sendo que o sistema de coleta de chuva através da superfície de telhados é considerado mais simples e, na maioria das vezes, produz uma água de melhor qualidade se comparado aos sistemas que coletam água de superfícies no solo.

Qualquer que seja a técnica, os componentes principais do sistema de aproveitamento da água da chuva são: a área de captação, telas ou filtros para remoção de materiais grosseiros, como folhas e galhos, tubulações para a condução da água e o reservatório de armazenamento. As **Figuras 38 e 39** mostram, esquematicamente, o aproveitamento da água da chuva de telhado e da superfície do solo, respectivamente (UNEP, 2005).

Nesta pesquisa, o foco foi direcionado apenas para a captação da água da chuva através dos telhados. A água captada na cobertura da edificação é direcionada através de calhas e condutores até os locais de armazenamento, passando pelos processos de tratamento e assim utilizados para fins não potáveis.

Figura 38: Sistema de aproveitamento da água da chuva de telhados

Fonte: UNEP, 2005.

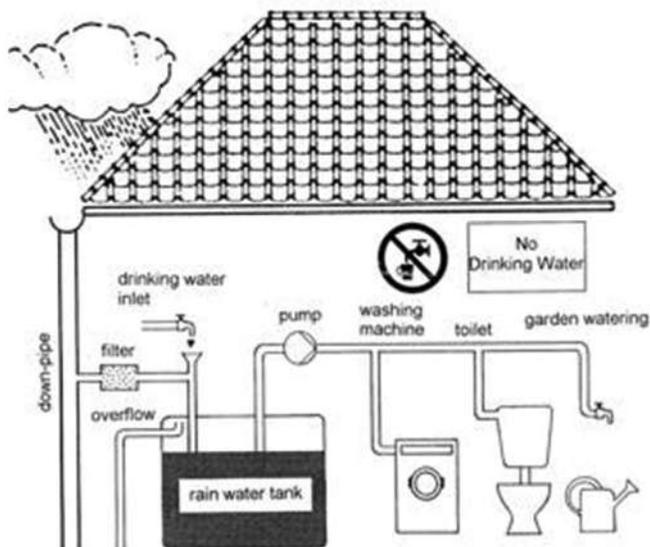
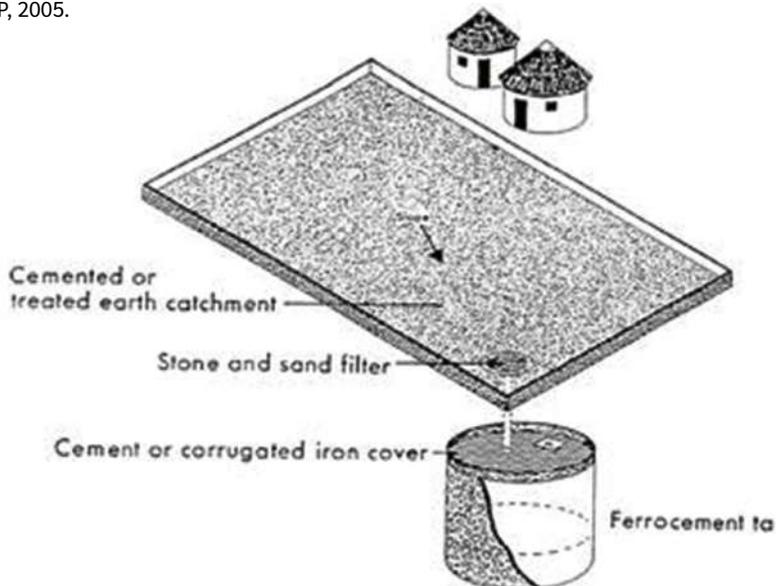


Figura 39: Sistema de aproveitamento da água da chuva de superfícies no solo

Fonte: UNEP, 2005.



2.2 Desenvolvimento de um sistema para captação e armazenamento de água da chuva

2.2.1 Processos necessários para coleta e armazenamento

Para captar água de chuva de melhor qualidade, devemos tomar alguns cuidados essenciais para coletá-la e armazená-la. Cuidados esses que serão descritos nos tópicos a seguir.

2.2.1.1 Filtragem

Filtrar a água antes de armazenar é fundamental para sua qualidade final. A chuva que escorre pelo telhado e pela calha arrasta muita sujeira, com isso primeiro passo é remover essas impurezas da água utilizando um filtro simples, que pode ser produzido a partir de uma adaptação no cano que desce da calha (tubo de queda), onde é colocada uma tela fina com inclinação de 45° e feita uma pequena abertura no tubo, ou pode ser acoplado um filtro pronto no sistema. (ZANELLA, 2015).

No caso dos filtros feitos através da adaptação no tubo de queda, podem ser usadas telas de nylon ou de polipropileno como aquelas utilizadas em coadores de café ou peneiras de chá. Há experiências que usam telas mosquiteiro com abertura bem fina e até mesmo meias de seda. Não é indicado usar tecidos de algodão. Eles retêm sujeira nas fibras e desenvolvem fungos e bactérias, apodrecendo facilmente quando expostos ao tempo (ZANELLA, 2015).

A inclinação da tela e a força da água fazem a sujeira ficar retida ou até a jogam para fora, facilitando a limpeza do filtro. Um pouco da água também é perdido, por isso o filtro deve ser instalado em um local que possa ser molhado (ZANELLA, 2015).

Figura 40: Filtro simples adaptado no tubo de queda.

Fonte: <http://sempresustentável.com>



Figura 41: Filtro simples para ser acoplado à tubulação.

Fonte: <http://ecocasa.com>



2.2.1.2 Descarte

Apesar da filtragem conseguir reter as partículas maiores, a água de chuva ainda traz consigo sujeira bem fina que consegue passar pela tela. Quanto mais tempo sem chuva, mais sujo será o primeiro volume de água. Depois de três dias de estiagem, sua qualidade já fica muito ruim, prejudicando toda a água armazenada. Portanto, é muito importante descartar a água de primeira chuva. É recomendado limpar as calhas regularmente, principalmente durante a estiagem (ZANELLA, 2015).

O reservatório de descarte pode ser de dois tipos:

Figura 42: Reservatório de descarte com bolinha flutuante.

Fonte: ZANELLA, 2015

Reservatório com bolinha flutuante, **Figura 42**, é reservatório pequeno de acordo com volume a ser descartado calculado. Dentro do reservatório, coloca-se uma bolinha flutuante (isopor) com diâmetro suficiente para fechar a entrada de água quando este recipiente encher. A água mais suja enche o reservatório de descarte e só então a água mais limpa vai para o local de armazenamento (ZANELLA, 2015).



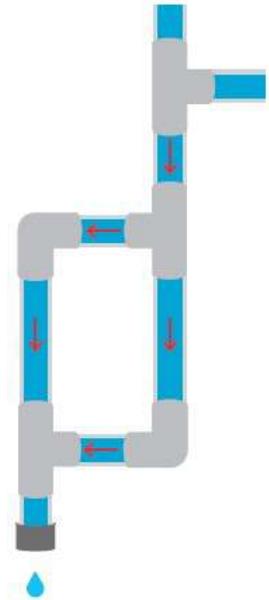
Reservatório com tubos, **Figura 43**, o tubo de descarte deve ser conectado no tubo de queda e pode ser fixado na parede. O tamanho e diâmetro dos tubos dependem da quantidade de água a ser descartada. A água só começa a cair no reservatório quando o volume do tubo estiver totalmente cheio. Devido à sua forma, a

Figura 43: Reservatório de descarte com Tubos.

Fonte: ZANELLA, 2015

água limpa não se mistura com a água suja que ficou acumulada no tubo (ZANELLA, 2015).

Independentemente do tipo de reservatório utilizado no sistema, é importante ressaltar que o reservatório de descarte deve ser esvaziado todos os dias (ZANELLA, 2015).



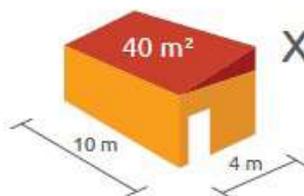
2.2.1.2.1 Dimensionamento de descarte

Em geral, recomenda-se descartar o primeiro 1 milímetro (mm) de chuva. Porém, em grandes cidades, a quantidade de poluentes e poeira no ar é maior, aumentando também o volume de água a ser descartada. Por isso recomenda-se o descarte de 2 mm de chuva. Isso significa que a cada metro quadrado de telhado, terão que ser descartados 2 litros de água (ZANELLA, 2015). Para calcular o volume de água a descartar, é necessário conhecer apenas a área do telhado no qual a água será coletada. A **Figura 44**, exemplifica o cálculo necessário para conhecer o volume descartado de forma simples e clara:

Figura 44: Exemplo de cálculo do volume da água de descarte.

Fonte: ZANELLA, 2015

Telhado de uma água



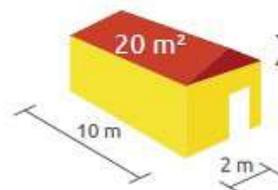
X 2 L de água

=



Descartar 80 litros de água de chuva

Telhado de duas águas captando só de uma água



X 2 L de água

=



Descartar 40 litros de água de chuva

2.2.1.3 Armazenamento

Após os processos de filtragem e descarte da primeira água de chuva, a água estará pronta para ser armazenada e utilizada para fins não potáveis. Alguns cuidados podem ser tomados para melhorar a qualidade da água armazenada, como por exemplo, o uso de 10 mililitros de água sanitária para cada 100 litros de água armazenada, porém, essa prática não garante a desinfecção total da água, ou seja, ela ainda terá microrganismos, continuando assim, imprópria para usos potáveis. O cloro, presente na água sanitária, age sobre a água por apenas 1 ou 2 dias. Se a água for estocada por mais tempo, a higienização deve ser repetida periodicamente. Quanto mais limpa a água captada, mais tempo ela poderá ser armazenada sem perder sua qualidade.

O reservatório para armazenar água de chuva é conhecido como cisterna, mas não é diferente daquele utilizado para guardar água

da rede de abastecimento: caixas d'água, fabricadas conforme as normas técnicas brasileiras são adequadas para armazenar qualquer água, inclusive de chuva. Um reservatório para armazenar água de chuva deve seguir as recomendações descritas abaixo:

◆ Ser estanque, ou seja, não ter vazamentos;

◆ Ser resistente ao peso da água (quando cheio);

◆ Ter uma saída de fundo (torneira) para facilitar seu esvaziamento e limpeza;

◆ Ser feito de material que não solte substâncias na água, alterando a sua qualidade;

◆ Estar sempre bem tampado para impedir a proliferação do mosquito da dengue;

◆ Ter os “ladrões” (furos laterais do reservatório por onde o excesso escorre), cobertos com telas para impedir a entrada de insetos e pequenos animais.

2.3 Vantagens e desvantagens da implantação de um sistema de aproveitamento de água da chuva

Existem vários aspectos positivos no uso de sistemas de aproveitamento de água pluvial, pois estes possibilitam reduzir o consumo de água potável diminuindo os custos de água fornecida pelas companhias de abastecimento, minimizar riscos de enchentes e preservar o meio ambiente reduzindo a escassez de recursos hídricos. Além disso, podemos citar outras vantagens do aproveitamento de água de chuva e algumas desvantagens como:

Vantagens:

◆ Baixo impacto ambiental;

◆ Utilização de estruturas existentes na edificação (telhados e lajes);

◆ Água com qualidade aceitável para vários fins com pouco ou nenhum tratamento;

◆ Complementa o sistema convencional;

◆ Reserva de água para situações de emergência ou interrupção do abastecimento público;

◆ Fácil manutenção;

◆ Baixos custos de operação e manutenção;

◆ Qualidade relativamente boa (principalmente quando a captação é feita em telhado);

◆ As tecnologias disponíveis são flexíveis.

Desvantagens:

◆ Suprimento é limitado (depende da quantidade de precipitação e da área de telhado);

◆ Não atrativo a políticas públicas;

◆ Custo inicial médio;

◆ Qualidade da água vulnerável;

◆ Possível rejeição cultural.

2.4 Cálculo do volume de água coletado

Para o cálculo do volume de água captado, basta multiplicar a área do telhado pela precipitação pluviométrica média anual:

$$V_{\text{captado}} = \text{Área}_{\text{telhado}} \times \text{Precipitação média}$$

2.5 Cálculo da economia na taxa de água

Para o cálculo da economia da taxa de água multiplica-se o valor do m³ (valor cobrado por m³ do responsável pelo fornecimento de água na cidade, que pode ser observado no quadro 2) pelo volume captado, e então obtêm-se o valor economizado por ano na taxa de água.

$$\text{Economia}_{\text{tx. água}} = \text{Valor m}^3 \times V_{\text{captado}}$$

Para os cálculos da economia na taxa de água será considerada uma residência normal e adotado os valores apresentados na **Figura 45**.

2.6 Cálculo de retorno do investimento

Para o cálculo do retorno do investimento divide-se o valor investido pela economia anual com a implantação do sistema de captação e reaproveitamento da água pluvial.

$$\text{Retorno/Investimento} = \text{Valor Investido} \div \text{Economia Anual}$$

Figura 45: Quadro tarifário de Aracaju

Fonte: DESO, 2015.

ESTRUTURA TARIFÁRIA 2015 PERCENTUAL DE REAJUSTE LINEAR: 9,82% aplicado nas faturas emitidas a partir de 01/03/2015. DOCUMENTOS DE APROVAÇÃO: RCA Nº 03/2014 e RDE Nº 02/2015.			
01 – LIGAÇÕES DE ÁGUA: MEDIDAS			
CATEGORIAS	FAIXAS DE CONSUMO	TARIFAS (R\$)	
	m3	MINÍMA	m3
RESIDENCIAL	até 10 11 a 20 21 a 30 31 a 50 51 a 100 > 100	25,07	5,80 8,53 11,04 16,02 21,31
COMERCIAL	até 10 > 10	57,93	- 10,22
INDUSTRIAL	Até 30 > 30	244,83	- 12,81
PÚBLICA	até 10 >10	110,31	- 16,88

3. APLICAÇÃO SOCIAL

3.1 Aplicação da fotocatalise na desinfecção da água

A desinfecção é a redução de número de microrganismos patogênicos em determinado material que possam trazer qualquer ameaça de doenças. E a cloração da água é até hoje muito utilizada como método de eficiente e econômico de desinfecção da água para consumo humano e de efluentes, desempenhando assim um papel importante no controle de doenças de veiculação hídrica (BLACK, 2002).

O cloro é o desinfetante mais utilizado, além de comprovada eficiência apresenta baixo custo, garante a qualidade da água ao longo da rede de distribuição. No entanto, o cloro ao reagir com matéria orgânica natural existente em fontes de água, gerava subprodutos tóxicos. Os subprodutos orgânicos halogenados (trialometanos – THMs, e ácidos haloacéticos – HAAs) são considerados como possíveis carcinogênicos para o homem e danosos à comunidade aquática.

A partir do descobrimento de formação desses subprodutos levou a comunidade científica à pesquisa de métodos alternativos de desinfecção como o uso do dióxido de cloro, ozônio, peróxido de hidrogênio e radiação UV. E assim, a fotocatalise heterogênea tem demonstrado ser um método alternativo ao uso do cloro com menor possibilidade de geração de subprodutos prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente.

Ireland *et al.* (1993) realizou os primeiros estudos, no entanto Matthews (1986) já apontava o possível uso da fotocatalise heterogênea com TiO_2 na inativação de microrganismos.

Segundo os pesquisadores Huang *et al.* (2000), os eventos que resultam no efeito bactericida da fotocatalise utilizando o TiO_2 são: danos oxidativos na parede celular, danos na membrana citoplasmática, que aumenta a permeabilidade celular e permite a saída do conteúdo intracelular resultando na morte da célula e o ataque direto das partículas livres de TiO_2 aos componentes intracelulares das células de membrana danificada, que acarreta a morte da célula.

Wei *et al.* (1994) apresenta alguns aspectos positivos da fotocatalise heterogênea com TiO_2 como método de desinfecção:

◆ Não há consumo de oxidantes caros, pois o oxidante é o oxigênio atmosférico e o catalisador não perigoso, nem caro;

◆ A luz necessária para ativar o catalisador pode ser a radiação solar, sem uso de fontes artificiais de energia no tratamento;

◆ A tecnologia é simples para aplicação em áreas remotas e na zona rural.

Vários estudos sobre a ação antimicrobiana do processo fotocatalítico com o uso do dióxido de titânio são registrados na literatura em diferentes tratamentos (água superficial, água de abastecimento, esgoto sanitário, ar, superfícies) na presença de diferentes microrganismos. No entanto, a bactéria *Escherichia coli* é o microrganismo mais estudado (MATSUNAGA *et al.*, 1988; IRELAND *et al.*, 1993; CHO *et al.*, 2004).

No entanto, outros microrganismos também são investigados como: **i)** coliformes totais (MELIÁN *et al.*, 2000), **ii)** coliformes fecais (WATTS *et al.*, 1995), *Pseudomonas* sp. (CORDEIRO; LEITE; DEZOTTI, 2004), **iii)** *Salmonella typhimurium* (IBÁÑEZ; LITTER; PZZARRRO, 2003).

Na pesquisa de Ireland **et al.** (1993) prova a aplicação da fotocatalise na desinfecção de água com TiO₂ e avalia a inativação de culturas puras de *Escherichia coli* em amostras de água de torneira previamente descloradas e de coliformes totais em água superficial. Nas amostras com *E. coli*, em que o cloro foi removido por radiação UV, foi verificada inativação de 2×10^9 UFC/ 100 mL para $2,6 \times 10^2$ UFC/ 100mL após minutos de exposição ao processo de fotocatalise e após 9 minutos de exposição foi detectado menos de 1 UFC/ 100 mL.

A fotocatalise heterogênea com TiO₂ no tratamento de efluentes secundários de esgoto sanitário usando a luz solar ou luz artificial foi investigada por Watts *et al.*, (1995) na inativação de bactérias coliformes e vírus (polivírus 1). Os resultados apresentados indicaram que o método é eficiente para eliminação desses microorganismos, porém não objetivo quanto a cloração, devido ao longo tempo de exposição (fotocatalise: acima de 150 minutos e cloração: abaixo de 60 minutos). No entanto, eles apresentam a importância do uso desse tratamento em regiões de longos tempos de retenção de água e com energia solar abundante, como áreas rurais de clima árido.

3.2 Reatores fotocatalíticos

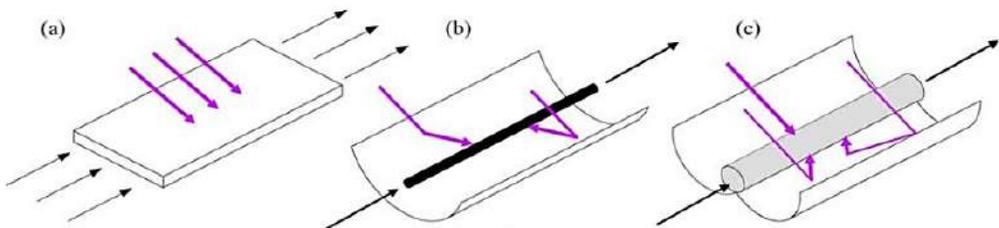
Os principais desafios no desenvolvimento de reatores fotocatalíticos são a distribuição uniforme de luz em todo o reator e garantir elevadas áreas superficiais para o catalisador, por unidade de volume do reator (MUKHERJEE e RAY, 1999). Os primeiros reatores fotocatalíticos foram desenvolvidos nos Laboratórios Nacionais da Sandia (Sandia National Laboratories), Estados Unidos em 1989 (ALPERT *et al.*, 1991). A principal demanda de custos na operação de reatores fotocatalíticos no tratamento dos fluidos é a geração artificial de fótons. Serão apresentadas

algumas configurações de reatores que utilizam a luz solar como fonte de radiação.

Reatores que permitam um melhor aproveitamento da luz solar incidente tem sido desenvolvidos. Entre os tipos de foto reatores utilizados, a superfície coletora é um dos principais parâmetros que os caracterizam. Ela deve ser avaliada para que seja feita a escolha do equipamento, em função de diferentes eficiências da concentração da radiação incidente sobre o efluente a ser tratado. Segundo Malato *et al.* (2009), os reatores solares podem ser do tipo coletor não concentrador (CNC), coletor concentrador parabólico (PTC), e coletor parabólico composto (CPC), conforme figura a seguir.

Figura 46: Coletores (a) Coletor não concentrador, (b) Coletor concentrador parabólico e (c) Coletor parabólico composto.

Fonte: Malato *et al.*, 2009.



3.2.1 Reator cilíndrico parabólico (ptc – parabolic trough collectors)

Um reator que utiliza apenas a radiação direta e concentra a luz em uma linha focal através de espelhos parabólicos. É composto basicamente por concentrador/refletor, tubo absorvedor transparente de vidro (fotorreator), sistema para acompanhamento da posição solar e estrutura suporte como na figura (GÁLVEZ *et al.*, 2001).

Esse tipo de reator apresenta fluxo turbulento que favorece a transferência de massa como vantagem. Não obstante, apresenta desvantagens como elevado custo, apenas a radiação direta é aproveitada, baixa eficiência ótica e quântica (GOSLICH *et al.*, 1997).

Figura 47: Coletor Cilíndrico Parabólico (PTC) instalado na Plataforma Solar de Almería.

Fonte: GÁLVEZ *et al.*, 2001.



3.2.2 Reator Solar sem concentrador de luz

São reatores de fluxo laminar, que não concentram radiação e sim baseiam-se na irradiação de uma lâmina de solução, contendo o composto-alvo, que passa em fluxo sobre uma placa de vidro com um ângulo de inclinação geralmente fixo, que depende da latitude local (GERNJAK *et al.*, 2003). São mais baratos que o reator PTC por apresentar uma estrutura mais simples e baixo custo de construção e manutenção (GÁLVEZ *et al.*, 2001).

As vantagens desses reatores são: **i)** aproveitamento da radiação

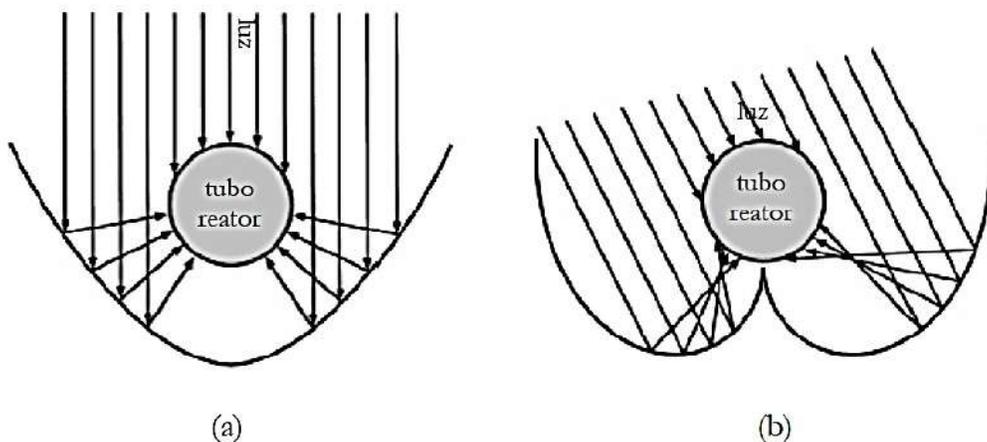
global, **ii)** elevada eficiência ótica, **iii)** construção simples e **iv)** baixo custo. As desvantagens são: **i)** possível limitação de transferência de massa por ser um fluxo laminar, **ii)** necessidade de grande área de catalisador para tratar grandes volumes (GOSLICH *et al.*, 1997).

3.2.3 Reator Cilíndrico Parabólico Composto (CPC)

São reatores resultantes da combinação do PTC ao reator de fluxo laminar. Possuem como coletores estáticos com superfície reflexiva em que praticamente toda a radiação UV que chega à área de abertura do coletor (direta e difusa) é refletida para o reator (NOGUEIRA *et al.*, 2007). Os reatores solares tipo CPC constituem umas das melhores opções para os processos fotocatalíticos com luz solar, pois reúnem as vantagens dos reatores PTC e sem concentração de luz (GÁLVEZ *et al.*, 2001). A figura apresenta instalações PTC e CPC.

Figura 48: Coletores cilíndricos reflexão solar. (a) Coletor Cilíndrico Parabólico (PTC) e (b) Coletor Cilíndrico Parabólico Composto (CPC).

Fonte: Adaptado de ALFANO *et al.*, 2000.



A **Tabela 5** relaciona as principais vantagens e desvantagens desses diferentes modelos de fotorreatores.

Tabela 5: Características dos modelos dos fotorreatores solares.

Fonte: Adaptado de Malato *et al.*, 2009; Malato *et al.*, 2002; Munther, 2001.

Modelo	Vantagens	Desvantagens
Coletor não concentrador (CNC)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Não concentração da radiação – diminui a densidade de fótons e a recombinação das eletrolacunas, possibilitando uma maior eficiência quântica; ◆ Capazes de utilizar a radiação direta e difusa, e não ocasionam o aumento excessivo da temperatura do efluente; ◆ Custos de produção mais baixos – componentes são mais simples, resultando em manutenção mais fácil e de custo reduzido; 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Maior necessidade de área de exposição; ◆ Necessidade de tempos de reação mais elevados; ◆ Regime laminar de funcionamento – resulta em problemas de transferência de massa e de vaporização dos reagentes.
Coletor concentrador parabólico (PTC)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Ângulo de inclinação ajustável – o máximo de aproveitamento da radiação solar; ◆ Área útil necessária inferior ao CNC; ◆ Fluxo turbulento – aumenta a homogeneização de catalisadores dispersos; ◆ A energia térmica recolhida pode ser utilizada e outras aplicações. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Perda da radiação difusa; ◆ Custo elevado de implantação de manutenção; ◆ Problemas de superaquecimento da amostra.
Coletor parabólico composto (CPC)	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Permite a concentração da radiação solar no receptor; ◆ Recolhimento da radiação difusa. 	<ul style="list-style-type: none"> ◆ Nenhuma desvantagem significativa.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, J. B.; SARNO, P. Química ambiental em ação: Uma nova abordagem para tópicos de química relacionados com o ambiente. **Química Nova**, v. 13, n. 3, p. 213-214, 1990.

ALPERT, D. J.; SPRUNG, J. L.; PACHECO, J. E.; PRAIRIE, M. R.; REILLY, H. E.; MILNE, T. A.; NIMLOS, M. R. Sandia National Laboratories' work in solar detoxification of azardous wastes. *Solar Energy Materials*, v.24, p.594-607, 1991.

ALFANO, O. M.; BAHNEMANN, D.; CASSNO, A. E.; DILLERT, R. GOSLICH, R. Photocatalusis in water environments using artificial and solar light. *Catalysis Today*. V.58, n.2-3, p.19-230, 2000.

BLACK, J. G. *Microbiologia: Fundamentos e Perspectivas*. 4ª edição. Rio de Janeiro: Ed. Guanabara Koogan. 2002.

CORDEIRO, A. C. S.; LEITE, S. G. F.; DEZOTTI, M. (2004). Inativação por oxidação fotocatalítica de *Escherichia coli* e *Pseudomonas sp.* **Química Nova**, v.27, n.5, p.689-94.

CHO, M.; CHUNG, H.; CHOI, W.; YOON, J. Linear correlation between inactivation of *E. coli* and OH radical concentration in TiO₂ photocatalytic disinfection. *Water Research*, v.38, p.1069-77, 2004.

COMPANHIA DE SANEAMENTO DE SERGIPE. DESO. Disponível em: <<http://www.deso-se.com.br/v2/index.php/agua/mananciais>>. Acessado em: 01 de Outubro de 2015.

GOOD, J. C. Roof runoff as a diffuse source of metals and aquatic toxicity in stormwater. **Water Science Technology**. v. 28, p. 317-321, 1993.

FREITAS, Marco Aurelio Vasconcelos de & SANTOS, Afonso Henriques Moreira. Importância da Água e da Informação Hidrológica. In: O Estado das Águas no Brasil. Brasília: ANEEL e ANA, 1999.

GÁLVEZ, J. B.; RODRÍGUEZ, S. M.; GASCA, C. A. E.; BANDALA, E. R.; GELOVER, S.; LEAL, T. Purificación de aguas por fotocátalisis heterogénea: estado del arte. In: Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea, Red CYTED VIII-G. Ed. Miguel A. Blesa.. Cap. 3, p.51-76, 2001.

GÁLVEZ, J. B.; RODRÍGUEZ, S. M.; PERAL, J.; SÁNCHEZ, B.; CARDONA, A. I. Diseño de reactores para fotocátalisis: evaluación comparativa de las distintas opciones. In: Eliminación de Contaminantes por Fotocatálisis Heterogénea, Red CYTED VIII-G. Ed. Miguel A. Blesa. Cap. 11, p.243-66, 2001.

GERNJAK, W.; KRUTZLER, T.; GLASER, A.; MALATO, S.; CACERES, J.; BAUER, R.; FERNÁNDEZ-ALBA, A. R. Photo-Fenton treatment of water containing natural phenolic pollutants. Chemosphere, v.50, 2003.

GHISI, E. A Influência da Precipitação Pluviométrica, Área de Captação, Número de Moradores e Demandas de Água Potável e Pluvial no Dimensionamento de Reservatórios para Fins de Aproveitamento de Água Pluvial em Residências Unifamiliares. Monografia apresentada ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos para participação no Concurso Público do Edital N° 026/DDPP/2006. Florianópolis, 2006.

GOSLICH, R.; DILLERT, R.; BAHNEMANN, D. Solar water treatment: principles and reactors. Water Science and Technology, v.35, n.4, p.137-48, 1997.

HESPANHOL, I. Potencial de reuso de água no Brasil: agricultura, indústria, município e recarga de aquíferos. NARDOCCI, A. C; FINK, D. R; GRULL, D; SANTOS, G. J; PADULA, H.F; BLUM, J. R. C; EIGER, S; PAGANINI, W.S; HESPANHOL, I; PHILIPPI, A. J; BREGA, D. F; MANCUSO. P. C. S. **Reuso de Água**. São Paulo. Ed. Manole: 2007. P.37-95.

HUANG, Z.; MANESS, P-C.; BLAKE, D. M.; WOLFRUM, E. J.; SMOLINSKI, S. L. S.; JACOBY, W. A. Bactericidal mode of titanium dioxide photocatalysis. *Journal of Photochemistry and Photobiology A: Chemistry*, v.130, n.2-3, p.163-70, 2000.

IRELAND, J. C.; KLOSTERMANN, P.; RICE, E. W.; CLARK, R. M. Inactivation of *Escherichia coli* by titanium dioxide photocatalytic oxidation. *Applied and Environmental Microbiology*, v.59, n.5, p.1668-70, 1993.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. IBGE. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/ibge/estatistica/populacao/censo2000>>. Acessado em: 01 de Outubro de 2015.

KRUGER, Verno. *Águas*. Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Química, 2008.

LEE, K. T. et al. Probabilistic design of storage capacity for rainwater cisterna systems. *J. agric. Engng Res*, v. 3, n. 77, p. 343-348, 2000.

MALATO, S.; FERNÁNDEZ-IBÁÑEZ, P.; MALDONADO, M. I.; BLANCO, J.; GERNJAK, W. Decontamination and disinfection of water by solar photocatalysis: Recent overview and trends. *Catalysis Today*, v. 147, p. 1-59, 2009.

MATTHEWS, R. W. Photo-oxidation of organic material in aqueous suspensions of titanium dioxide. *Water Research*, v.20, n.5, p.569-78, 1986.

MATSUNAGA, T.; TOMODA, R.; NAKAJIMA, T.; NAKAMURA, N.; KOMINE, T. Continuous sterilization system that uses photoconductor powders. *Applied and Environmental Microbiology*, 1988, p.1330-33, 1988.

MELIÁN, J. A. H.; RODRÍGUEZ, J. M. D.; SUÁREZ, A. V.; RENDÓN, E. T., CAMPO, C. V.; ARANA, J.; PEÑA, J. P. The photocatalytic disinfection of urban waste waters. *Chemosphere*, v.41, p.323-27, 2000.

MENEZES, G.F.F.; SANTOS, D.B.; BATISTA, R.O.; AZEVEDO, D.O.; SANTANA, G.S.; SILVA, A.S.; DUARTE, A.J.A.P. Indicadores de qualidade, manejo e uso da Água pluvial armazenada em cisternas do semiárido baiano. **Rev. Agrarian**. Vol. 6, no 22, 2013. ISSN: 1984-2538. Disponível em: <<http://www.periodicos.ufgd.edu.br/index.php/agrarian/article/view/2237>>. Acesso em: 25/09/2015.

MUKHERJEE, P. S.; RAY, A. K. Major Challenges in the Design of a Large-Scale Photocatalytic Reactor for Water Treatment. *Research News. Chemical Engineering and Technology*, v.22, n.3, p.253-60, 1999.

NOGUEIRA, R. F. P; TROVÓ, A. G.; DA SILVA, M. R. A.; VILLA, R. D. Fundamentos e aplicações ambientais dos processos fenton e foto-fenton. *Quim. Nova*. v.30, n.2. 400-408, 2007.

ONU. Organizacao das Nacoes Unidas. Disponível em: <<http://www.onu-brasil.org.br>>. Acessado em 17 de setembro de 2015.

SEINFELD, J. H; PANDIS, S. N. **Atmospheric chemistry and physics: from air pollution to climate changes**. New York: John Wiley & Sons, 1998.

SHINODA, T. Comparative study on surface runoff by stormwater infiltration facilities. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON URBAN STORM DRAINAGE, 5, 1990, Osaka. **Proceedings** Osaka, p. 783-788, 1990.

SILVA, C.V.; HELLER, L.; CARNEIRO, M. Cisternas para armazenamento de água de chuva e efeito na diarreia infantil: um estudo na área rural do semiárido de Minas Gerais. **Rev. Eng. Sanit. Ambient.** Vol.17, no.4, pag. 393-400. 2012.

SILVA, M.M.P.; OLIVEIRA, L.A.; DINIZ, C.R.; CEBALLOS, B.S.O. Educação Ambiental para o uso sustentável de água de cisternas em comunidades rurais da Paraíba. **Rev. de Biologia e Ciências da Terra**. Vol. 1. 2006. ISSN 1519-5228.

THOMAS, T. et al. Bacteriological quality of water in DRMH. IN: RAINWATER INTERNATIONAL SYSTEMS, 10., 2001, Manheim. **Proceedings...** Germany, 2001.

TOMAZ, Plínio. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo: Navegar Editora, 2003.

THOMAS, T.; REES, D. Affordable roofwater harvesting in the humid tropics. In: CONFERENCIA INTERNACIONAL SOBRE SISTEMAS DE CAPTACAO DE AGUA DE CHUVA, 1999. Petrolina. **Anais eletrônicos**. Disponível em: <http://www.cpatasa.embrapa.br/catalogo/start_inicio.html>. Acesso em: 20 de outubro de 2015.

UNIAGUA. Universidade da água. Água no Planeta. Disponível em: <http://www.uniagua.org.br>. Acessado em: 15 de setembro de 2015.

WATTS, R. J.; KONG, S.; ORR, M. P.; MILLER, G. C.; HENRY, B. E. Photocatalytic inactivation of coliform bacteria and viruses in secondary wastewater effluent. **Water Research**, v.29, n.1, p.95-100, 1995.

WEI, C.; LIN, W-Y.; ZAINAL, Z.; WILLIAMS, N. E.; ZHU, K.; KRUZIC, A. P. Bactericidal Activity of TiO₂ Photocatalyst in Aqueous Media: Toward a Solar-Assisted Water Disinfection System. *Environmental Science and Technology*, v.28, n.5, p.934-8, 1994.

ZAIZEN, M. et al. The collection of rainwater from dome stadiums in Japan. *UrbanWater*, v. 4, n. 1, p. 355-359, 1999.

ZANELLA, Luciano. Manual para captacao emergencial e uso doméstico de água de chuva [livro eletrônico] / Luciano Zanella. -- São Paulo : IPT - Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 2015. -- (Coleção IPT Publicações / coordenadores Luciano Zanella, Guilherme Mariotto, Mariana de Toledo Marchesi).



INSTITUTO FEDERAL
Sergipe

PROPEX
Pró-Reitoria de Pesquisa e Extensão