

Márcio Cláudio Cardoso da Silva

**ESTUDOS SOBRE SISTEMAS DE DESTILAÇÃO
SOLAR DIRETA PARA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA**

Tese submetida ao Programa
de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental da
Universidade Federal de
Santa Catarina para obtenção
do Título de Doutor em
Engenharia Ambiental.

Orientador:

Prof.Dr. Maurício Luiz Sens

Coorientador:

Prof.Dr. Daniel José da Silva

Coorientador:

Prof.Dr. Narciso A.R. Arroyo

Florianópolis
2014

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Silva, Marcio Claudio Cardoso da
Estudos sobre Sistemas de Destilação Solar Direta para
Potabilização de Água / Marcio Claudio Cardoso da Silva ;
orientador, Mauricio Luiz Sens ; coorientador, Daniel José
da Silva. - Florianópolis, SC, 2014.
343 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental.

Inclui referências

1. Engenharia Ambiental. 2. Tratamento e Potabilização
de Água. 3. Destilação Solar Direta. 4. Análise Térmica. 5.
Estresse Hídrico e Tecnologia Social. I. Sens, Maurício
Luiz. II. Silva, Daniel José da. III. Universidade
Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Ambiental. IV. Título.

TERMO DE APROVAÇÃO

"Estudos sobre Sistemas de Destilação Solar Direta para Potabilização de Água".

Márcio Claudío Cardoso da Silva

A Tese foi julgada e aprovada pela banca examinadora no Programa de Pós Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

DOUTOR EM ENGENHARIA AMBIENTAL

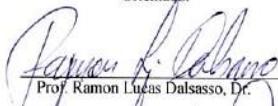
Aprovado por:



Prof. Maurício Luiz Sens, Dr.
Orientador



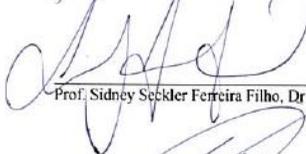
Prof. Paulo Belli Filho, Dr.



Prof. Ramon Lués Dalsasso, Dr.



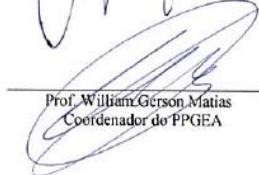
Prof. Renata Iza Mondardo, Dr^a.



Prof. Sidney Seckler Ferreira Filho, Dr



Prof. Wiltón Silva Lopes, Dr.



Prof. William Gerson Matias
Coordenador do PPGA



Prof. Cleber Onofre de Andrade Neto, Dr.

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL
FEVEREIRO/2014

CAMPUS UNIVERSITÁRIO – TRINDADE
CEP 88010-970 – FLORIANÓPOLIS – SC – CAIXA POSTAL 476
(48) 3721-9821 Fax: (48) 3234-6459
www.ppga.ufsc.br

Aos meus pais, Mário e Ilma, que, em tempos difíceis, conduziram suas vidas pelo caminho do bem, possibilitando assim meus estudos e contribuindo na formação dos meus valores éticos, civilizatórios e espirituais, estabelecidos em nossa família pelos meus avós e nossos ancestrais.

AGRADECIMENTOS

Neste processo de Tese de Doutorado em Eng. Ambiental, reflito a oportunidade que mudou meu olhar, escutando mais as pessoas e percebendo que nossa ética cada vez mais é essencial para mudar num sentido amplo a estética do mundo. Entendo que ao trabalhar a ética nas pessoas devemos perceber as relações entre elas como um processo não material o que permitirá construir novos conceitos e avançar para uma nova realidade.

Quero agradecer minha família, começando pelos meus pais, Mário e Ilma porque reconheço seus esforços durante suas vidas e reafirmo que me *orgulho de provir de pessoas com espíritos e índoles tão belas e raras nos dias atuais*. Ao Danilo e minha irmã Maria Cláudia, que começam a trilhar um novo caminho com a pequena Juliana, minha primeira sobrinha. Em especial à Maria Fernanda, a pessoa que escolhi e que me aceitou para viver a vida com toda a sua plenitude e que já colhemos frutos com o pequeno Miguel, espírito que habita com alegria todos os dias nossos corações. Estendo a sua família, avós, irmãos, primos, tios e tias, sobrinhos, pai (*in memorian*) e sua mãe Sidnéya, especialista não só nas línguas vernáculas, que me ajudou neste fechamento de ciclo, mas também na arte do cuidado com os seus, demonstrando que a vida tem que ser levada com leveza o que a torna tão especial.

À família materna, minha vó “Ana” (*in memorian*) por ser seu primeiro neto e também o preferido, eu acho, e continuo espelhando em meu avô Severino (*in memorian*) por sua ternura e se estivesse por aqui iria entonar “ôh, Márcio velho” e todos meus ancestrais “Gaspar e Caetano” Aos meus tios e tias, Zênio e Dina, João e Lourdinha, Lila e Dago, Antônio e Zane, Teresa e Jorge, Anécia e Alberto (*in memorian*), Luis e Jussara (*in memorian*) e todos meus primos e primas, seus pares e filhos (bebês) que fazem parte desta família que faz toda diferença neste mundo e me dá sentido em seguir em frente.

Por parte paterna na lembrança de minha outra avó, Maria Antônia “Vó Branca”, que com meu outro avô, “Vô Chico” e seus ancestrais “Cardoso e Silva” que mesmo em tempos difíceis e com dificuldades conquistaram a arte de ler e escrever, trazendo aos seus descendentes e conseqüentemente até minha pessoa.

Ao Daniel, onde recebi não só a orientação metodológica e intelectual, mas os diálogos necessários para tornar esse trabalho em uma realidade necessária para nossos dias.

Aos meus amigos(as) Roseane Palavizini, Ricardo Callado “Galo Cinza”, Rita Silvana, Alexandre Ghilard, Thaianna Cardoso, Valéria Burigo, Chen Lin Sung “Tsan”, Izabel Andrade, Aline Menezes, Lea Éster, Margo De Martino e Marta, Celso, Lavínia, Luciane (Lu) e Instituto

Autopoiésis Brasilis. Em especial a Udson Dias (*in memoriam*) que aprendi valores espirituais e Ruy Braga (*in memoriam*) pela estética para compreendermos um pouco melhor nosso mundo. Todos trazem em seus espíritos a ética e amizade necessária para fazer diferença em nosso mundo.

Agradeço também aos meus eternos amigos, Alexandre, Célio, Geraldo e Ig, Vitor Gomes, Eduardo, Marcelo Fiúza, Felipe, Tages, Eliete, Manoel e Matheus, já que não importa o lugar do mundo que estejam, estão ligados com suas respectivas famílias a minha história.

A tia Vera e sua bela família que fazem parte de minhas conquistas e que compartilho com gratidão.

Aos colegas e amigos da Pós-Graduação em nome de Cris Leis, Edivan Cherubini, Wanderli, Jorge, Claudia Lavinia e tantos outros(as), aos membros do LAPOÁ, laboratório que me acolheu nestes anos e aos GThídricos espalhados pelo mundo, das atividades em Urubici, governança de bens comuns, Rio +20, nos comitês de bacias hidrográficas, na gestão social das águas, dos amigos do Haiti e no continente Antártico, em que todos se revelaram pelo prazer de trabalhar sobre um tema tão próximo de minha pessoa, as águas e, que podemos seguir novos caminhos, acreditando em novas possibilidades. A todos que sentaram ao meu lado e que hoje fazem parte deste processo, a minha construção como pessoa e *compartilharam os momentos de angústia e alegrias, mostrando que o caminho é sempre árduo porem maravilhoso quando atravessado.*

Aos amigos e professores(as) do ENS - Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental e do PPGEA - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, na figura do meu orientador, Professor Maurício L. Sens, agradecimento pela convivência acadêmica e aos meus co-orientadores Daniel J. Silva e Narciso A.R. Arroyo, a Professora Silvia Nassar e o Professor Saulo Guts que foram solícitos e fundamentais para minha formação e conquista deste título, dando o impulso necessário para esta pesquisa. Aos responsáveis pelo ENS, Anildo e do PPGEA, Lucas que com competência e paciência resolveram nossos problemas nestes anos de estudos nesse Doutorado. Ao Sérgio Vignes pelos diálogos para idealizar a bandeja flutuante.

A banca com professores renomados por terem aceito meu convite.

A Capes que propiciou uma bolsa de estudos por 4 anos e a UFSC - Universidade Federal de Santa Catarina por ser um referencial a minha pessoa de instituição pública e gratuita neste momento da história, a qual tenho uma eterna dívida como cidadão ao meu país.

E finalmente agradeço ao meu Deus, pai celestial de força e luz, aquele que sempre está sobre todas as coisas. A espiritualidade amiga, Hermes, equipes de Ramatís e todos os seres que trabalham para o futuro da humanidade.

“Limpiaba el agua del río como la estrella de
la mañana, limpiaba el cariño mio al
manantial de tu fuente clara”
(Camarón de la Isla, 1981)

RESUMO

Esta tese estudou o processo da destilação solar direta em protótipos de tecnologias de potabilização, na perspectiva de avanços na produção de água potável para consumo humano em comunidades rurais, isoladas ou em situações de estresse hídrico. O objetivo geral é investigar sistemas de destilação solar direta a partir da construção de protótipos, propondo avanços a tecnologia do potabilizador solar, visando à simplicidade, viabilidade e eficiência na produção de água de qualidade para situações de estresse hídrico. Os objetivos específicos são: a) Aumentar a eficiência na produção de água com o uso do Potabilizador Solar; b) Avançar na compreensão da transferência de calor e de massa em Potabilizadores Solares com o uso do reservatório de água bruta com bandeja flutuante; c) Propor um Potabilizador Solar que atenda os requisitos de simplicidade e viabilidade. A Metodologia constitui-se em dois momentos. O primeiro com a revisão bibliográfica, economia das experiências e a operação dos potabilizadores solares - Pilotos 1,2 e 3. O segundo momento com construção dos Pilotos 4 e 5 a partir das condicionantes, aplicação em escala real, análise térmica na transferência de calor e de massa, análise fatorial (análise estatística multivariada) de variáveis climáticas e análise econômica, finalizando com a proposição de elementos para um modelo de potabilizador solar. Os resultados apontam para um aproveitamento de radiação solar global em comparativo com o fluxo de calor do sistema, o que inclui os dados das variáveis umidade relativa do ar e a velocidade do vento; modelagem simplificada de análise térmica e; a proposição de elementos para estudos de novos materiais para um novo modelo de potabilizador solar. Conclui-se que o potabilizador solar é uma tecnologia sociável, atendendo ser simples, viável e efetiva para regiões de estresse hídrico.

Palavras-Chave: *destilação solar direta, transferência de calor, análise térmica, potabilização de água e estresse hídrico.*

ABSTRACT

This thesis studied the process of direct solar distillation prototypes purifiers technologies in view of advances in the production of drinking water for human consumption in rural, isolated or in situations of water stress communities. The overall objective is to investigate the direct solar distillation systems from the construction of prototypes, proposing advances the technology of solar potabilizador, aiming at simplicity, practicality and efficiency in the production of quality water to water stress situations . Specific objectives are: a) Increase efficiency in water production with the use of Solar Potabilizador; b) Advance the understanding of heat transfer and mass in solar Potabilizadores using the raw water reservoir with floating tray; c) Suggest a Solar Potabilizador that meets the requirements of simplicity and practicality. The methodology is in two parts. The first with the literature review, experience economy and operation of solar potabilizadores - Drivers 1,2 and 3. The second phase of construction with Riders 4:05 from constraints , application in real scale thermal analysis in heat transfer and mass , factor analysis (multivariate analysis) of climate variables and economic analysis, concluding with the proposition elements for a model solar potabilizador. The results point to a recovery in global solar radiation in comparison with the flow of heat from the system, which includes the data of variable relative humidity and wind speed ; Simple thermal analysis and modeling; the proposition elements for studies of new materials for a new model of solar potabilizador. We conclude that the solar potabilizador is a sociable technology, serving be simple , feasible and effective for regions of water stress .

Keywords: *direct solar distillation, heat transfer, thermal analysis, solar water treatment, water stress.*

LISTA FIGURAS

FIGURA 1 - GLOBAL WATER STRESS – INTERACTIVE.....	49
FIGURA 2 - DESTILADOR SOLAR – LAS SALINAS / CHILE	81
FIGURA 3 - DESTILADOR ILHA DE PATMOS – GRÉCIA.	82
FIGURA 4 - PROCESSO DE CONDENSAÇÃO NO DESTILADOR SOLAR.....	86
FIGURA 5 - ESQUEMA DETALHADO DO POTABILIZADOR SOLAR	87
FIGURA 6 - DESTILADOR DE UMA VERTENTE OU UMA FACE	92
FIGURA 7 - DESTILADOR SOLAR DE DUAS FACES	92
FIGURA 8 - DESTILADOR SOLAR DE DUAS FACES	93
FIGURA 9 - DESTILADOR SOLAR DE DUAS FACES	93
FIGURA 10 - DESTILADOR SOLAR TIPO INVERNADEIRO COM DUAS FACES.....	94
FIGURA 11 - DESTILADOR SOLAR TIPO INVERNADEIRO DE ABÓBODA	94
FIGURA 12 - DESTILADOR SOLAR TIPO INVERNADEIRO.....	95
FIGURA 13 - DESTILADOR SOLAR EM ESCADA	95
FIGURA 14 - ESQUEMA DO DESTILADOR SOLAR CONVENCIONAL EM CORTE ..	105
FIGURA 15 - MODELOS <i>DESTILADORES SOLARES</i>	109
FIGURA 16 - ESQUEMA DESTILADOR SOLAR	114
FIGURA 17 - DESTILADOR SOLAR.....	114
FIGURA 18 - SOLAR BALL.....	118
FIGURA 19 - SOLAQUA - POTABILIZADOR DE ÁGUA A ENERGIA SOLAR	118
FIGURA 20 - SEAKETTLE – BOTE E DESSANILIZADOR	119
FIGURA 21 - WATER CONE – DESSANILIZADOR DE ÁGUA.....	119
FIGURA 22 - WATER CONE – DESSANILIZADOR DE ÁGUA.....	119
FIGURA 23 - RADIAÇÃO SOLAR NA ATMOSFERA TERRESTRE	121
FIGURA 24 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO ESPECTRO DA RADIAÇÃO...	127
FIGURA 25 – O ESPECTRO ELETROMAGNÉTICO.....	127
FIGURA 26 - MÉDIAS DAS VELOCIDADES DOS VENTOS – FLORIANÓPOLIS (1998- 2008).....	144
FIGURA 27 - PILOTOS 01, 02 E 03 POTABILIZADORES	158
FIGURA 28 - PILOTOS 4 E 5 - POTABILIZADORES.....	158
FIGURA 29 - PILOTO 01 - PIRÂMIDE AZUL OU	159
FIGURA 30 - PILOTO 02 - POTABILIZADOR SEXTAVADO.....	160
FIGURA 31 - PILOTO 03 - POTABILIZADOR DE VIDRO	160
FIGURA 32 - ESTRUTURA METODOLÓGICA.....	162
FIGURA 33 - DESTILADOR SOLAR DE ÁGUA.....	164

FIGURA 34 - POTABILIZADOR DE PIRÂMIDE INVERTIDA	164
FIGURA 35 - DESTILADOR SOLAR DE VIDRO	170
FIGURA 36 - DESTILADOR SOLAR - PIRÂMIDE VIDRO	170
FIGURA 37 - CONSTRUÇÃO DOS PILOTOS 4 E 5 (FOTO 1).....	188
FIGURA 38 - CONSTRUÇÃO DOS PILOTOS 4 E 5 (FOTO 2).....	188
FIGURA 39 - PILOTO 4 – BANDEJA FLUTUANTE.....	190
FIGURA 40 – PILOTO 5 – BANDEJA FIXA	190
FIGURA 41 – ESQUEMA DO PILOTO 4	191
FIGURA 42 - ESQUEMA DO PILOTO 4	192
FIGURA 43 - ESQUEMA DO PILOTO 5	193
FIGURA 44 – ESQUEMA DO PILOTO 5	194
FIGURA 45 - LOCALIZAÇÃO DOS SENSORES TERMOPARES.....	196
FIGURA 46 - MECANISMOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR EM UM DESTILADOR	197
FIGURA 47 - ESQUEMA IMAGEM EXPLODIDA - PILOTO 4.....	207
FIGURA 48 - ESQUEMA IMAGEM EXPLODIDA - PILOTO 5.....	209
FIGURA 49 - CONVERSOR D501 E DATALOGGER (MASTERLOGGER A202) .	215
FIGURA 50 - PAINEL DE CONTROLE DAS TEMPERATURAS – APLICATIVO PARA COMPUTADOR.....	216
FIGURA 51 - CABEÇALHO DO RELATÓRIO COM MÉDIAS, MÁXIMAS E MÍNIMAS DO PERÍODO	218
FIGURA 52 - GRÁFICO NO APLICATIVO.....	218
FIGURA 53 - GRÁFICO DO RELATÓRIO DO PERÍODO	219
FIGURA 54 - CABEÇALHO DO RELATÓRIO, GRÁFICO E RESUMOS (DADOS 10 EM 10 MINUTOS)	219

LISTA DE GRÁFICOS

GRÁFICO 1 - DISTRIBUIÇÃO ESPECTRAL DA RADIAÇÃO SOLAR	129
GRÁFICO 2 - POTENCIAL ENERGÉTICO RADIAÇÃO SOLAR EM FUNÇÃO DOS MESES E LATITUDE	130
GRÁFICO 3 - TEMPERATURA MÉDIA MENSAL EM 38 ANOS (1961-1998) ...	143
GRÁFICO 4 - PRECIPITAÇÃO MÉDIA MENSAL (1946-1953 E 1989-2009) ..	143
GRÁFICO 5 - VARIAÇÃO DA PRESSÃO DE VAPOR DE SATURAÇÃO COM A TEMPERATURA	205
GRÁFICO 6 - RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL – ANUAL	230
GRÁFICO 7 - RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL PARA 6 MESES.....	231
GRÁFICO 8 – ANÁLISE FATORIAL – FATOR 1 E 2 – PILOTO 1	234
GRÁFICO 9 – ANÁLISE FATORIAL – FATOR 1 E 2 - PILOTO 2	235
GRÁFICO 10 – ANÁLISE FATORIAL – FATOR 1 E 2 - PILOTO 4	236
GRÁFICO 11 – ANÁLISE FATORIAL – FATOR 1 E 2 - PILOTO 5	238
GRÁFICO 12 – ANÁLISE FATORIAL – FATOR 1 E 2 - PILOTO 1	239
GRÁFICO 13 – ANÁLISE FATORIAL – FATOR 1 E 2 - PILOTO 2	241
GRÁFICO 14 – ANÁLISE FATORIAL – FATOR 1 E 2 - PILOTO 4	242
GRÁFICO 15 – ANÁLISE FATORIAL – FATOR 1 E 2 - PILOTO 5	244
GRÁFICO 16 – MÉDIA DE RADIAÇÃO E MÉDIA FLUXO DE CALOR - 6 MESES .	247
GRÁFICO 17 – PORCENTAGEM ENTRE MÉDIA DE RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL E MÉDIA DE FLUXO DE CALOR TOTAL	248
GRÁFICO 18 – COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR – PARTE SUPERIOR POTABILIZADOR.....	251
GRÁFICO 19 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR – PARTE INFERIOR POTABILIZADOR.....	252
GRÁFICO 20 – COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR TOTAIS DO SISTEMA	253
GRÁFICO 21 - FLUXO DE CALOR – PARTE SUPERIOR POTABILIZADOR	254
GRÁFICO 22 - FLUXO DE CALOR – PARTE INFERIOR POTABILIZADOR	255
GRÁFICO 23 - FLUXO DE CALOR TOTAIS.....	256
GRÁFICO 24 – COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR TOTAL E FLUXO DE CALOR TOTAL	257
GRÁFICO 25 - VELOCIDADE DO VENTO E PRODUÇÃO REAL PILOTO 4 E 5.....	258
GRÁFICO 26 - PRECIPITAÇÃO MENSAL	259

GRÁFICO 27 - TEMPERATURAS AMBIENTE MÍNIMA, MÁXIMA E MÉDIA MENSAL	260
GRÁFICO 28 - PRODUÇÃO REAL DESTILADO PILOTO 4 E 5 E MASSA DE VAPOR TEÓRICO.....	261
GRÁFICO 29 - PRODUÇÃO REAL DESTILADO MÉDIO - PILOTO 4 E 5 E MASSA DE VAPOR TEÓRICO (A).....	262
GRÁFICO 30 - PRODUÇÃO REAL MÉDIO - PILOTO 4 E 5 E MASSA DE VAPOR TEÓRICO MÉDIO (B).....	263
GRÁFICO 31 - TEMPERATURAS DA ÁGUA BRUTA RBF E COBERTURA SUPERIOR	264
GRÁFICO 32 - TEMPERATURAS DA ÁGUA BRUTA RBF E COBERTURA INFERIOR	264
GRÁFICO 33 - COEFICIENTES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR – PARTE SUPERIOR POTABILIZADOR.....	265
GRÁFICO 34 - COEFICIENTES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR – PARTE INFERIOR POTABILIZADOR.....	266
GRÁFICO 35 - COEFICIENTES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR TOTAL.....	266
GRÁFICO 36 - FLUXO DE CALOR – PARTE SUPERIOR POTABILIZADOR.....	267
GRÁFICO 37 - FLUXO DE CALOR – PARTE INFERIOR POTABILIZADOR.....	268
GRÁFICO 38 - FLUXO DE CALOR TOTAL.....	269
GRÁFICO 39 – COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E FLUXO DE CALOR	269
GRÁFICO 40 - MASSA DE VAPOR TEÓRICO E PRODUÇÃO MÉDIA REAL DESTILADO.....	270
GRÁFICO 41 – COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR – PARTE SUPERIOR POTABILIZADOR.....	271
GRÁFICO 42 - COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR – PARTE INFERIOR POTABILIZADOR.....	272
GRÁFICO 43 - COEFICIENTES DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR TOTAL.....	272
GRÁFICO 44 - FLUXO DE CALOR – PARTE SUPERIOR POTABILIZADOR.....	273
GRÁFICO 45 - FLUXO DE CALOR – PARTE INFERIOR POTABILIZADOR.....	274
GRÁFICO 46 - FLUXO DE CALOR TOTAL.....	274
GRÁFICO 47 – COEFICIENTE DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR E FLUXO DE CALOR	275
GRÁFICO 48 - MASSA DE VAPOR MÉDIA TEÓRICO E PRODUÇÃO MÉDIA REAL DESTILADO.....	276

GRÁFICO 49 - MÉDIAS TEMPERATURA AMBIENTE, DA COBERTURA SUPERIOR VIDRO E ÁGUA BRUTA DO RESERVATÓRIO	277
GRÁFICO 50 - DIFERENÇA TEMPERATURA COBERTURA DE VIDRO SUPERIOR E ÁGUA BRUTA DO RESERVATÓRIO	277
GRÁFICO 51 - DIFERENÇA TEMPERATURA COBERTURA DE VIDRO INFERIOR E ÁGUA BRUTA DO RESERVATÓRIO	278
GRÁFICO 52 - PARTICIPAÇÃO DOS INSUMOS PILOTO 4 SOBRE O CUSTO TOTAL %	292
GRÁFICO 53 - VALOR GERADO PILOTO 4 EM R\$ - 1 ANO	294
GRÁFICO 54 - LINHA DE TENDÊNCIA DO VALOR GERADO - PILOTO 4	296
GRÁFICO 55 - PARTICIPAÇÃO DOS INSUMOS PILOTO 5 SOBRE O CUSTO TOTAL %	300
GRÁFICO 56 - VALOR GERADO PILOTO 5 EM R\$	302
GRÁFICO 57 - LINHA DE TENDÊNCIA DO VALOR - PILOTO 5	304

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - PATAMARES ESPECÍFICOS DE ESTRESSE HÍDRICO	48
QUADRO 2- RESUMO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – ESTRESSE HÍDRICO	70
QUADRO 3 - RESUMO DA REVISÃO BIBLIOGRÁFICA – DESTILAÇÃO SOLAR ...	146
QUADRO 4 - CONDICIONANTES - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.	175
QUADRO 5 - CONDICIONANTES PESQUISAS LAPOÁ.....	183
QUADRO 6 - CONDICIONANTES PESQUISAS LAPOÁ.....	184
QUADRO 7 - CONDICIONANTES PESQUISAS LAPOÁ.....	184
QUADRO 8 - PRODUÇÃO DAS PIRÂMIDES TESTADAS NO ENS - MARÇO A JULHO/2011	185
QUADRO 9 - PRODUÇÃO DE ÁGUA DOS PILOTOS 01 E 02 ENTRE MARÇO/ 2011 A JULHO/2011	185
QUADRO 10 - PARÂMETROS CONSTRUTIVOS DOS PILOTOS 4 E 5	213
QUADRO 11 – EQUIPAMENTOS E INSTRUMENTAÇÃO UTILIZADOS	214
QUADRO 12 - RESUMO DOS ESCORES FATORIAIS E INTENSIDADE CONFORME TIPOS DE DIAS	245

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - DADOS NUMÉRICOS DA PESQUISA DA RELEVÂNCIA NO IDIOMA INGLÊS	38
TABELA 2 - DADOS NUMÉRICOS DA PESQUISA DA RELEVÂNCIA NO IDIOMA PORTUGUÊS	39
TABELA 3 - DADOS NUMÉRICOS DA PESQUISA DA RELEVÂNCIA NO IDIOMA FRANCÊS	40
TABELA 4 - DADOS NUMÉRICOS DA PESQUISA DA RELEVÂNCIA NO IDIOMA ESPANHOL E TOTAL	41
TABELA 5 - RESULTADOS QUANTITATIVOS DA PESQUISA – PERIÓDICO CAPES ..	42
TABELA 6 - CLASSIFICAÇÃO DA DISPONIBILIDADE DE ÁGUA	49
TABELA 7 - POTENCIAL HÍDRICO MUNDIAL POR REGIÃO	50
TABELA 8 - QUANTIDADE DISPONÍVEL ANUAL	50
TABELA 9 – COMPARATIVO ENTRE OS CONTINENTES E O BRASIL	55
TABELA 10 - PAÍSES COM MAIS ÁGUA PER CAPITA	61
TABELA 11 - PAÍSES COM MENOS ÁGUA PER CAPITA	61
TABELA 12 - REGIÕES E SEUS MUNICÍPIOS	62
TABELA 13 - DISPONIBILIDADE HÍDRICA NO ÚLTIMO SÉCULO NO BRASIL	68
TABELA 14 - PLANTAS DESTILAÇÃO ATÉ 1990	98
TABELA 15 - PROPRIEDADES GERAIS DO VIDRO	99
TABELA 16 – PROPRIEDADES ÓPTICAS DO VIDRO	100
TABELA 17 - INFORMAÇÕES SOBRE DESTILADORES SOLARES	103
TABELA 18 - EFEITOS DA INTENSIDADE SOLAR	107
TABELA 19 – PLANTAS POTABILIZADORAS COM ENERGIA SOLAR	116
TABELA 20 - COMPRIMENTO DE ONDA APROXIMADO DAS CORES NO ESPECTRO VISÍVEL – LUZ VISÍVEL (EM NM)	128
TABELA 21 - GRANDEZAS DO SI DE UTILIZADOS NOS ESTUDOS DE TRANSFERÊNCIA DE CALOR	138
TABELA 22 - MATERIAIS, QUANTIDADES E CUSTOS DO PILOTO 4	211
TABELA 23 – MATERIAIS, QUANTIDADES E CUSTOS DO PILOTO 5	212
TABELA 24 - FREQUÊNCIA DE CASOS E PERCENTUAL	233
TABELA 25 - RADIAÇÃO SOLAR GLOBAL, TAXA E QUANTIDADE DE ENERGIA ..	247
TABELA 26 – TEMPERATURAS MAX, MÍN E MÉD – SENSORES PILOTO 4	249
TABELA 27 – TEMPERATURAS MAX, MÍN E MÉD – SENSORES PILOTO 4	287

TABELA 28 - CUSTOS FIXOS - PARTICIPAÇÃO DOS MATERIAIS SOBRE O CUSTO	
TOTAL – PILOTO 4	290
TABELA 29 - CUSTOS FIXOS - PARTICIPAÇÃO DOS MATERIAIS SOBRE O CUSTO	
TOTAL – PILOTO 5	298

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANA – Agência Nacional de Águas
ANNEL – Agência Nacional de Energia Elétrica
BSB - Brasília
CAPES – Fundação Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoas de Nível Superior
CDC – Coletores Dessanilizadores Compactos
CEDIBH – Centro de Disseminação de Informações para a Gestão de Bacias Hidrográficas
CFC – Concentrador Solar Parabólico
CIES – Centro de Investigação de Energia
CIRAN – Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina
CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico
CNUMAD – Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento
CONAMA – Conselho Nacional do Meio Ambiente
CPC – Condensador Solar Parabólico
CPT – Comissão Pastoral da Terra
CTC – Centro Tecnológico
DTS – Destilação Tubular Solar
Ec – Equatorial Continental
ECO 92 – Conferência das Nações Unidas sobre o Meio Ambiente e Desenvolvimento
ECP - Estrutura Cognitiva da Pesquisa
EPAGRI – Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina
FAO – Organização das Nações Unidas para a Agricultura e Alimentação
FATMA – Fundação do Meio Ambiente
FSESP – Fundação Serviço de Saúde Pública
FUNASA – Fundação Nacional de Saúde
GM – Gabinete do Ministro
IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBICT – Instituto Brasileiro de Informação em Ciência e Tecnologia
IDH – Índice de Desenvolvimento Humano
IDS – Índice de Desenvolvimento Social
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia
ISWD – Sistema Destilação Solar Inclinado
ITA – Instituto Tecnológico da Aeronáutica

ITEP – Instituto Tecnologia do Estado de Pernambuco
IVP – Radiação Infravermelha Próxima
LAPOÁ – Laboratório de Potabilização de Água
LCQAr - Laboratório de Controle da Qualidade do Ar
LEPTEN - Laboratórios de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia
MEC – Ministério da Educação e Desporto
METAR – Meteorological Aerodrome Reports
MMA – Ministério do Meio Ambiente
MS – Ministério da Saúde
OMM - Organização Meteorológica Mundial
OMS – Organização Mundial da Saúde
ONG – Organização Não-Governamental
ONU – Organização das Nações Unidas
ONU-Água – Integração de todas as ações sobre água das diversas organizações das Nações Unidas
PEDS – Planejamento Estratégico do Desenvolvimento Sustentável
PETROBRÁS – Petróleo Brasileiro S/A (Sociedade Anônima)
PNUD – Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento
PNUMA – Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente
PVC -Policloreto de Vinila
RBF - Reservatório de água bruta com bandeja flutuante ou reservatório de bandeja flutuante
RFA – Radiação Fotossinteticamente
SDS – Secretaria de Estado do Desenv. Social, Urbano e Meio Ambiente
SI – Incidência Solar
SNABS - Secretaria Nacional de Ações Básicas de Saúde
SUCAN - Superintendência de Campanhas de Saúde Pública
TSGA – Projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água
UDESC – Universidade do Estado de Santa Catarina
UFSC – Universidade Federal de Santa Catarina
UFPE – Universidade Federal de Pernambuco
UN – Nações Unidas
UNEP - Programa das Nações Unidas para o Meio-Ambiente
UNESCO – Org. das Nações Unidas para a Educação, Ciência e Saúde
USP – Universidade de São Paulo
WRC – Word Radiation Center
WSI – Water Stress Index - Índice de Estresse Hídrico
WWAP –Programa Mundial de Avaliação dos Recursos Hídricos
WWC - Conselho Mundial da Água
WWDR – Relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Mundial da Água
WWF - World Wildlife Fund - Fundo Mundial da Natureza

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	25
1.1.	DEFINIÇÃO DO TEMA.....	26
1.2.	OBJETIVOS.....	27
1.2.1.	<i>Objetivo Geral</i>	27
1.2.2.	<i>Objetivos Específicos</i>	27
1.3.	JUSTIFICATIVA	28
1.4.	RELEVÂNCIA	34
2.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	43
2.1.	ESTRESSE HÍDRICO.....	46
2.1.1.	<i>Histórico</i>	46
2.1.2.	<i>Caracterização do Fenômeno</i>	52
2.1.3.	<i>A Crítica</i>	68
2.1.4.	<i>Síntese</i>	79
2.2.	DESTILAÇÃO SOLAR	80
2.2.1.	<i>Histórico</i>	80
2.2.2.	<i>Caracterização</i>	85
2.2.3.	<i>Caracterização do Fenômeno</i>	96
2.2.3.1.	Espectometria	120
2.2.3.2.	Transferência de Calor	130
2.2.3.2.1.	Convecção	139
2.2.3.2.2.	Evaporação.....	141
2.2.3.2.3.	Condução	141
2.2.3.3.	Fatores Climáticos	142
2.2.4.	<i>A Crítica</i>	145
2.2.5.	<i>Síntese</i>	155
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	157
3.1.	MATERIAIS.....	157
3.2.	MÉTODOS.....	161
3.2.1.	<i>Informações relevantes - Revisão Bibliográfica</i> ...	163
3.2.2.	<i>Economia da Experiência do Laboratório de Potabilização de Água – LAPOÁ</i>	163
3.2.3.	<i>Estudos preliminares dos Pilotos 1, 2 e 3</i>	171

3.2.4.	<i>Levantamento variáveis climáticas e numéricas.</i>	171
3.2.5.	<i>Viabilidade de funcionamento Pilotos 1, 2 e 3</i>	174
3.2.6.	<i>Proposições condicionantes para Pilotos 4 e 5</i>	174
3.2.7.	<i>Construção e testes em laboratório Pilotos 4 e 5</i>	186
3.2.8.	<i>Montagem in loco dos Pilotos 4 e 5</i>	189
3.2.9.	<i>Análise Térmica</i>	195
3.2.9.1.	Cálculos Transferência de Calor	197
3.2.9.2.	Balço de Energia	198
3.2.9.3.	Relação de <i>Dunkle</i>	199
3.2.9.4.	Modelo de Cooper e <i>Dunkle</i>	204
3.2.10.	<i>Descrição dos pilotos: materiais, parâmetros e instrumentação utilizados</i>	206
3.2.10.1.	Estrutura Piloto 4	206
3.2.10.2.	Estrutura Piloto 5	208
3.2.11.	<i>Materiais utilizados</i>	210
3.2.12.	<i>Parâmetros construtivos</i>	213
3.2.13.	<i>Descrição da Instrumentação</i>	214
3.2.14.	<i>Operação dos Pilotos In Loco</i>	214
3.2.15.	<i>Tratamento - dados do datalogger</i>	216
3.2.16.	<i>Sistematização dos dados</i>	220
3.2.17.	<i>Análise Estatística</i>	223
3.2.18.	<i>Análise econômica</i>	227
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	229
4.1.	PRIMEIRA QUESTAO DE PESQUISA	232
4.1.1.	<i>Resultados para dias sem chuva</i>	233
4.1.2.	<i>Resultados para dias com chuva</i>	238
4.2.	SEGUNDA QUESTAO DE PESQUISA	249
4.3.	TERCEIRA QUESTAO DE PESQUISA	279
5.	CONCLUSÃO	307
6.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	315
	REFERÊNCIAS	317
	APÊNDICE – (DVD)	343

1. INTRODUÇÃO

A pesquisa empreendida nesta tese vislumbrou a concretude do equipamento “Potabilizador Solar”, uma tecnologia viável, replicável e efetiva para um contexto real e social. Para isso, adentrou-se os diálogos com diversos autores e seus estudos, abrindo novos caminhos no estado da arte deste tema.

A Revisão Bibliográfica enfocou variados temas pertinentes à destilação solar, estresse hídrico e análise térmica na transferência de calor. Isto foi possível devido aos objetivos traçados, resultados esperados e questões de pesquisas, justificando técnica, legal e socialmente os estudos apresentados, tudo enriquecido com trabalhos na pesquisa da relevância do tema proposto. Dialogou-se com diversos autores, seus cálculos, resultados, sugestões, afirmações, abrindo visões do histórico, caracterização, crítica de cada tema levantado nas palavras-chave e finalizando com uma síntese.

Os Materiais e Métodos apresentaram a localização e os equipamentos utilizados e construídos durante a pesquisa, além de propor uma estrutura metodológica com as respectivas etapas de cada método utilizado, subsidiando o item posterior.

Nos resultados e discussão, analisou-se a pertinência da radiação solar global, sua disponibilidade e potencialidade, e ainda a capacidade do equipamento receber esta energia disponível. Depois, análises multivariadas de fatores foram efetivadas, abordando a completude dos dados das variáveis climáticas e os dados de produção de destilado, o que possibilitou definir quais relações são mais significativas para o presente trabalho. Calculou-se, a seguir, o balanço de energia a partir de uma equação simplificada de análise térmica na transferência de calor do equipamento “Potabilizador Solar”, mais especificamente na parte que desdobrava a destilação solar com seus coeficientes e fluxos de massa. Nesta análise, a massa de vapor foi quantificada e comparada com a produção final de destilado, constituindo o balanço de energia do sistema.

Ao fim e ao cabo, a economia da experiência agregando técnicas, materiais e elementos de pesquisas, chegou-se à proposição de elementos para um novo modelo de Potabilizador Solar.

A metodologia utilizada, sua Estrutura Cognitiva da Pesquisa - ECP, é apresentada em sete etapas que tentam abarcar todo o processo de uma pesquisa padrão em Engenharia Ambiental. Em cada etapa, propõe-se um conjunto de relações de pertinências representadas por um fractal e dois conjuntos de sugestões para facilitar sua aplicação. Um primeiro sugere critérios de rigor científico, e outros, critérios de rigor metodológico. Esta metodologia foi aplicada e constituída em Silva (2011).

1.1. DEFINIÇÃO DO TEMA

Na história da humanidade foram construídas muitas tecnologias com soluções criativas para velhos problemas no que tange a uma água de qualidade. Essas mesmas tecnologias não têm alcançado, no entanto, sua principal finalidade, que é atingir o maior número de pessoas para o não comprometimento de suas vidas. Milhares de seres humanos, neste século, têm sucumbido por falta de água de qualidade, apesar da experiência de civilizações que entraram em colapso por não estabelecerem um equilíbrio no uso sustentável dos seus recursos ambientais.

Ao conhecer o Potabilizador Solar, durante o Projeto Tecnologias Sociais para a Gestão da Água – TSGA, entre 2007 e 2009, vislumbrou-se a possibilidade de trabalhar a potabilização de água com ações mais efetivas, com menos erros, numa perspectiva de economia de experiência, agregando avanços à tecnologia, com simplicidade em sua replicabilidade, viável na sua economia, e efetiva na produção de água potável suficiente para comunidades em regiões de estresse hídrico.

O Professor do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da UFSC, Dr. Maurício Luiz Sens, coordenador do Laboratório de Potabilização de Água – LAPOÁ, desde sua criação em 1983, vem atuando em situações emergenciais na

escassez de água. Ele propôs esta tecnologia a partir das pesquisas de Soares (2001), Senen (2001), Soares (2004), Murakami (2005), Reif (2006), Ferrari (2008), Lenzi (2009) e Dias (2012), demonstrando um histórico de comprometimento do referido laboratório com o avanço científico na linha de pesquisa de tratamento de água.

Assim, lança-se o desafio de construir uma tese de doutorado intitulada “**ESTUDOS SOBRE SISTEMAS DE DESTILAÇÃO SOLAR DIRETA PARA POTABILIZAÇÃO DE ÁGUA**”. A finalidade deste estudo é agregar, à tecnologia de potabilização de água, avanços científicos para resolver questões voltadas à melhoria de qualidade da água para consumo humano, em pequenas comunidades rurais ou isoladas, auxiliando as pessoas a construírem uma história digna e sustentável, significativa para elas e para as futuras gerações.

1.2. OBJETIVOS

1.2.1. Objetivo Geral

Investigar sistemas de destilação solar direta a partir da construção de protótipos, propondo avanços à tecnologia do potabilizador solar, visando à simplicidade, viabilidade e eficiência na produção de água de qualidade para situações de estresse hídrico.

1.2.2. Objetivos Específicos

- a) Aumentar a eficiência na produção de água com o uso do Potabilizador Solar;
- b) Avançar na compreensão da transferência de calor e massa em Potabilizadores Solares com o uso do reservatório e bandeja flutuante;
- c) Propor um Potabilizador Solar que atenda os requisitos de simplicidade e viabilidade.

1.3. JUSTIFICATIVA

Esta pesquisa surgiu da possibilidade de se trabalhar a disponibilidade de água potável em regiões extremas, tais como: Antártica, Oceano Atlântico (alto mar) e regiões semi-áridas. Quando se adentrou a realidade documental e de campo, emergiram novas questões e possibilidades interessantes que mudaram esta proposta para questões de viabilidade, economicidade e eficiência da tecnologia.

Justifica-se este trabalho pela necessidade de tornar a tecnologia de potabilização de água socialmente utilizável, em determinadas circunstâncias, evitando doenças de veiculação hídrica e salvando vidas humanas. Para isso, a metodologia de construção desta justificativa está estruturada em três argumentos: o científico, o jurídico e o social.

Para o *argumento científico* adotam-se as informações adquiridas da Tecnologia do Potabilizador Solar, no Projeto Tecnologias Sociais para Gestão da Água –TSGA, e no histórico da produção científica do Laboratório de Potabilização de Água – LAPOÁ. Este laboratório, como referido, tem a coordenação do Professor Maurício Luiz Sens, desde 1983, ano em que as enchentes assolaram o Vale do Itajaí em Santa Catarina. O comprometimento das pesquisas deste laboratório, bastante evidenciadas desde aquela época, motivou este pesquisador a estudos mais avançados, permitindo-lhe trabalhar naquele ambiente - juntamente com outros investigadores - com uma tecnologia que abarcasse situações de estresse hídrico em relação ao consumo de água com qualidade.

Este trabalho tem como perspectiva propor avanços à tecnologia do Potabilizador Solar de Água. Para isso, recorreu-se aos trabalhos iniciais dos alunos de graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental, Senem (2000), Murakami (2005), Reif (2006), Ferrari (2008), Lenzi (2009), e de mestrado em Engenharia Ambiental, Clarissa Soares (2004) como parte precursora nas pesquisas desta tecnologia, realizadas junto ao Laboratório de Potabilização de Água – LAPOÁ.

Os estudos desenvolvidos com os Potabilizadores Solares de Água em forma de pirâmide de quatro faces e uma pirâmide invertida, que agregam as informações dos trabalhos de pesquisadores do LAPOÁ, atendem a demanda de uma produção de água de qualidade potabilizada a partir de água salobra, salgada e contaminada, destacando avanços ao equipamento como: cúpula com inclinação adequada para melhor produção do condensado, altura de lâmina d'água para uma melhor evaporação, fibra de vidro como material inerte, cuidados com a reevaporação isolando o sistema, adequação para comunidades rurais ou isoladas, principalmente em regiões áridas que fazem parte do nordeste brasileiro.

Outro fator importante foi a disponibilização, em rede nacional, de uma reportagem no Jornal Hoje – Rede Globo, veiculada no dia 22 de março de 2011, demonstrando a funcionalidade do Potabilizador Solar. Esta ação motivou a equipe do LAPOÁ, pela quantidade de mensagens recebidas. Os pedidos para a utilização do equipamento foram inúmeros, de todo Brasil, e estavam sempre relacionados a problemas com água salobra e de má qualidade. As pessoas procuravam a tecnologia para replicar em várias cidades, regiões, lugares isolados, como também para suas residências urbanas e rurais. Com os resultados de pesquisa já publicadas, foram encaminhadas informações através de arquivos de dissertações e plantas para instalação a todos os solicitantes.

Percebe-se que há um distanciamento entre a produção científica (as tecnologias) e os problemas locais. O que se procura é diminuir este espaço com técnicas socialmente construídas naquela realidade, oportunizando às pessoas, de forma qualificada, o domínio sobre o equipamento, de tal ordem que se consiga uma fácil manutenção, execução e replicação, tornando-as acessíveis a cada realidade, conseqüentemente, à sociedade.

Esta tese segue a trajetória do grupo de pesquisa do LAPOÁ, que se justifica pelos anos de estudos com o tratamento e potabilização de água. Assim, pretende-se dar continuidade aos trabalhos iniciados, já que, há uma economia

de experiência revelando um histórico de informações suficientes para contribuir para o avanço da ciência.

O *argumento jurídico* começa no histórico do arcabouço legal, com a Constituição Federal de 1988, no Artigo 196, o qual dispõe que:

A saúde é direito de todos e dever do Estado, garantido mediante políticas sociais e econômicas que visem à redução do risco de doença e de outros agravos e ao acesso universal e igualitário às ações e serviços para sua promoção, proteção e recuperação.

Um ambiente ecologicamente equilibrado é um direito do povo, como determina o Artigo 225 da Constituição Federal de 1988:

Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao Poder Público e à coletividade o dever de defendê-lo e preservá-lo para as presentes e futuras gerações.

A partir da Constituição de 1988, adotou-se a tendência contemporânea de preocupação com os interesses difusos e em especial com o meio ambiente. Assim, encontra-se o aporte legal, como a Lei Federal nº 9.433/97, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, sendo uma das mais avançadas do mundo.

A Lei Federal nº 9.433/97 aponta no Capítulo 2, nos objetivos desta política, Art.2º, inciso I, “assegurar à atual e às futuras gerações a necessária disponibilidade de água, em padrões de qualidade adequados aos respectivos usos” e no Capítulo 3, trata das diretrizes gerais de ação para sua implementação, especificamente no Art. 3º, inciso I e II, apresenta que:

A gestão sistemática dos recursos hídricos, sem dissociação dos aspectos de quantidade e qualidade e a adequação da gestão de recursos hídricos às diversidades físicas, bióticas, demográficas, econômicas, sociais e culturais das diversas regiões do País.

Percebe-se, ainda, a importância da Lei Federal 11.445/2007 que trata das diretrizes nacionais de saneamento básico e princípios fundamentais da universalização do acesso aos serviços, pois amplia as estratégias para efetivação, fundamentado no capital social, com a perspectiva de garantir a participação dos representantes da sociedade no planejamento, nas ações e formação de políticas de saneamento.

Encontra-se, ainda, na legislação brasileira, a Portaria Nº 518/2004 do Ministério da Saúde, que estabelece os procedimentos de responsabilidade no controle da água para consumo humano e os padrões de potabilidade. Em dezembro de 2011, foi revogada pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água. Esta Portaria vem passando por revisões periódicas desde 1977, com vistas à sua atualização e a incorporação de novos conhecimentos. Ela se aplica à água destinada ao consumo humano, proveniente de sistema e solução alternativa de abastecimento de água.

Esses documentos são um avanço nas questões dos cuidados institucionais e técnicos de uma água com qualidade para consumo humano. O argumento que alerta sobre a efetividade destas Portarias está à mercê do cenário atual brasileiro, com falta de infraestrutura do saneamento e um aumento da carga poluente nos meios hídricos por intensificação de processos agrícolas, industriais e urbanos. Além destes, à resistência a não emancipação dos comitês de bacias hidrográficas na criação de suas agências reguladoras, somam-se aspectos significativos na construção da gestão social

das águas, que se entende como um dos caminhos viáveis para as soluções emergenciais.

Diante dos resultados, observa-se que esta pesquisa está amparada em forte arcabouço jurídico para sua efetivação.

As informações para o *argumento social*, são providas de relatórios mais diversos e apontam, para uma disparidade na distribuição da disponibilidade hídrica do planeta. Todos os continentes sofrem com o estresse hídrico aliado aos fatores de escassez e falta de água, desertificação e sanilização de aquíferos. Todos sinalizam que esses fenômenos estão inseridos no contexto de mudanças climáticas e aferem uma crise da água sem precedentes na história da humanidade, ensaiando incertezas para o seu futuro.

A sociedade brasileira passa por um período de transição nos assuntos que regem os recursos hídricos. Os fatores econômicos de um modelo de desenvolvimento trouxeram resquícios à sua realidade; neste confronto silencioso, emerge o conceito de desenvolvimento sustentável. A relação entre este modelo e o estilo de desenvolvimento em que se vive, é ponto de partida para dialogar as questões sociais ligadas à água, presentes no país.

O Brasil possui uma das maiores reservas de água do mundo, sendo que a maior parte de seu território não apresenta déficit hídrico. Porém, este recurso não está disponível em quantidade e qualidade para todos os brasileiros. Atender demandas de consumo de uma população cada vez mais concentrada, emergindo um passivo ambiental crescente, é um fator determinante a ser resolvido.

Quando se fala em disponibilidade de água, logo se remete o pensamento ao nordeste brasileiro. Condições atuais indicam dois aspectos importantes. Um relativo à disponibilidade hídrica proveniente de captação em poços (água salobra) e outro, dos períodos de estiagens onde o uso da água aumenta em regiões do semi-árido, principalmente nas cidades. Estes locais são incrementados com outro fator, o baixo desenvolvimento econômico social, o que compromete as condições de vida das populações autóctones.

Um recorte da pesquisa proposta aborda o relatório “Conflitos no Campo: Brasil - 2010” levantado pela Comissão Pastoral da Terra – (CPT). Este documento aponta um crescimento de 93,3 % de 2008 para 2009, sendo um aumento considerável, se comparado com o índice mais alto, anteriormente, de 2002. Os dados indicam que, em 2010, os conflitos da água emergiram de situações como a preservação da água (açudes) e apropriação particular. Nota-se também, a recorrência de forma diversificada pelo Brasil, atingindo todas as regiões, fato este, ligado ao valor econômico da água no seu uso, além dos aspectos biológicos, ambiental e social.

Embora aconteça estresse hídrico em muitas situações pelo Brasil, apontam-se racionamentos de água em grandes centros urbanos como Recife e São Paulo, irrigação em áreas críticas no nordeste e a forte demanda para a agricultura no sul. Mostram-se estes indicadores porque não se pretende adentrar estas realidades, até por se entender que se necessita de equipes multidisciplinares, interdisciplinares e transdisciplinares para melhor compreender os fenômenos complexos destas realidades territoriais.

O que se objetiva, como referido, é construir uma tecnologia simples, viável e efetiva, para áreas com uma disponibilidade hídrica mínima, potabilizando esta água para atender pequenas comunidades rurais, grupos isolados ou famílias, resolvendo as necessidades de consumo mais urgentes.

Entende-se que uma tecnologia ambiental que possa ser utilizada com eficiência no processo e tenha uma eficácia de resultados é motivo de reflexão até mesmo para mediar conflitos ligados ao tema água. Considera-se que a tecnologia de potabilização, com uso da energia solar, vem ao encontro de questões que tornem a água consumível ou utilizável no contexto conceitual de sustentabilidade. Isto implica o avanço técnico, através de pesquisas nas universidades brasileiras, e uma participação qualificada da sociedade, visando à construção de políticas públicas que agreguem tecnologias acessíveis, comprometidas com a saúde pública, sob a ótica da qualidade da água, bem como ao atendimento em situações

relacionadas a eventos críticos, como enchentes e secas, recorrentes em nosso país e no mundo.

O papel de pensar, propor e aperfeiçoar tecnologias inovadoras é fundamental, para que se possa compreender os avanços tecnológicos na área ambiental, produzidos no meio acadêmico para a sociedade. Dessa forma, ressalta-se a importância do fator de disponibilidade da água e percebe-se a essencialidade de potabilizá-la, minorando, assim, o sofrimento de grupos ou populações humanas.

Este trabalho, portanto, insere-se no esforço de contribuir para minorar o sofrimento humano com a perspectiva de um estilo sustentável de desenvolvimento.

1.4. RELEVÂNCIA

A relevância tem como objetivo destacar o assunto pesquisado através das palavras-chave, fazendo os cruzamentos adequados para identificação de documentos factíveis para iniciar a revisão bibliográfica. A identificação do estado da arte do tema desta pesquisa é a revelação dos principais autores, grupos de pesquisas, tecnologias, instituições, arcabouço legal, dentre outras, que possam nortear com mais rigor o contexto do tema escolhido e o limite na revisão bibliográfica.

A pesquisa bibliográfica foi realizada em âmbito local, nacional e internacional. As fontes locais incluem as pesquisas na Biblioteca Setorial da Engenharia Sanitária e Ambiental e na Biblioteca Universitária da UFSC. Foram utilizadas as bases da Fundação de Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior, conhecida como Periódico da CAPES. Esta base para pesquisa fornece a possibilidade de diversas bases de dados nacionais e internacionais integradas cooperativamente.

As bases referenciais assinadas pela Capes (2011) foram criadas a partir do ano de 1990, e apontavam um déficit de acesso às bibliotecas e suas informações científicas internacionais. Também trataram de minimizar as diferenças entre as regiões e seu acesso às informações no Brasil. A estrutura parte de um modelo de consórcio de bibliotecas

financiado pelo governo brasileiro com grande abrangência em seu território, fortalecendo os Programas de Pós-Graduação. O Portal da Capes contou, inicialmente, com um acervo de 1.419 periódicos e nove bases referenciais em todas as áreas do conhecimento. Em 2011, o Portal agrega mais de 15 mil periódicos e 126 bases referenciais com diversidade de acervo. Ainda conta com 515 livros eletrônicos. As informações obtidas afirmam que:

O Portal de Periódicos atende às demandas dos setores acadêmico, produtivo e governamental e propicia o aumento da produção científica nacional e o crescimento da inserção científica brasileira no exterior. É, portanto, uma ferramenta fundamental às atribuições da Capes de fomento, avaliação e regulação dos cursos de Pós-Graduação e desenvolvimento da pesquisa científica no Brasil. Tem ainda como missão, “promover o fortalecimento dos programas de pós-graduação no Brasil por meio da democratização do acesso online à informação científica internacional de alto nível” (CAPES, 2011).

Além de atender na promoção do acesso irrestrito aos seus conteúdos nacionais e internacionais para com os alunos, professores, pesquisadores e funcionários no ensino, pesquisa e extensão, o Portal atua na aquisição de títulos, base de dados e outros tipos de documentos, bem como na ampliação do número de novas instituições, mantendo os critérios de excelência acadêmica e pesquisa, conforme a Capes e o Ministério da Educação - MEC.

Para adentrar o estado da arte da pesquisa proposta, as palavras-chave no idioma português foram estruturadas como: **POTABILIZADOR SOLAR DE ÁGUA (A), DESTILAÇÃO SOLAR (B), ESTRESSE HÍDRICO (C)**. No idioma inglês como: **SOLAR WATER TREATMENT(A), SOLAR DISTILLATION (B), WATER STRESS (C)**. No idioma Francês como: **TRAITEMENT SOLAIRE DE L'EAU (A), DISTILLATION SOLAIRE (B), STRESS HYDRIQUE (C)**. No idioma espanhol como: **DESTILADOR SOLAR DEL ÁGUA (A), DESTILACIÓN SOLAR (B), ESTRÉS HÍDRICO (C)**.

As pesquisas foram efetuadas a partir das palavras-chaves nas línguas portuguesa, inglesa, francesa e espanhola. Este fato contribuiu para uma maior abordagem da pesquisa. Outro elemento significativo foram os trabalhos iguais, encontrados em bancos de dados diferentes, repetindo e aumentando a contagem de títulos.

Mediante a análise da metodologia, optou-se pela forma referida, a partir de trabalhos anteriores e sua crítica às deficiências nas pesquisas em banco de dados, conforme Santos, (2009):

Ao fazer uma análise crítica à metodologia em questão percebe-se que os números levantados são relativos, pois o mesmo trabalho pode ser computado em mais de uma base de dados. Como o objetivo é a visão global do uso das palavras e o levantamento de trabalhos significativos para iniciar a revisão bibliográfica, este fato não prejudica a contextualização do tema, pois a quantidade de trabalhos pode ser maior que o existente, mas o inverso não acontece. Dessa forma, quanto menor o número de trabalhos apresentados pela busca, maior a relevância das palavras utilizadas e a importância da pesquisa (SANTOS, 2009).

A pesquisa da relevância pretende levantar um número significativo de títulos que possam dar sustentação ao início da revisão bibliográfica deste trabalho.

Segue a seguir o resultado da pesquisa geral e os cruzamentos (quadro das palavras-chave), estruturados e efetuados entre abril e junho de 2010. (APÊNDICE A – Tabela 1,2,3 e 4)

Tabela 1 - Dados numéricos da pesquisa da relevância no idioma inglês

PORTAL PERIÓDICOS CAPES							
Multidisciplinar							
Base de dados	A	B	C	A + B	A + C	B + C	A + B + C
Academic Search Premier(EBSCO)	5	231	16.749	0	0	1	0
Oxford Journals (Oxford University Press)	1	63	39.017	0	0	19	0
Google Scholar	434	33.100	2.500.000	434	434	33.100	13
SciELO.ORG	0	0	87	0	0	0	0
Science Direct (Elsevier)	97	5.745	499.610	19	17	803	3
SUB-TOTAL	537	39139	3.055.463	453	451	33.923	16
Ciências Ambientais							
Anual Reviews	0	106	2.193	0	42	0	0
Biological & Agricultural Index Plus (Wilson)	0	4	3.628	0	0	0	0
BioOne (BioOne.org)	1	5	10.485	0	56	0	0
Mary Ann Liebert (Atypon)	0	105	2.348	0	44	0	0
Nature (NPG)	570	5	1.184	5.653	9.527	30.519	0
SUB-TOTAL	571	225	19.838	5.653	9.669	30.519	0
Ciências da Saúde / Saúde Coletiva							
JAMA	10679	1791	63.194	1	5	5	5
Web of Science	10	530	57.011	0	0	8	0
Journals@Ovid Full Text (Ovid)	0	58	73.469	0	0	198	0
SpringerLink (MetaPress)	25	830	164.208	1	11	1	0
SUB-TOTAL	10.714	3.209	357.882	2	16	212	5
Engenharia							
<u>Emerald Fulltext (Emerald)</u>	0	7	2.256	0	1	0	0
<u>Science (AAAS)</u>	0	213	7.204	0	37	0	0
<u>Wiley Online Library</u>	9	1436	280.197	0	414	3	0
<u>IEEE Xplore Articles</u>	1	346	54.432	0	71	0	0
SUB-TOTAL	10	2002	344.089	0	523	3	0
TOTAL TABELA	11.832	44.575	3.777.272	6.108	10.659	64.657	21
TOTAL							
3.915.103 títulos							

Fonte: Do Autor (2010)

Tabela 2 - Dados numéricos da pesquisa da relevância no idioma português

PORTAL PERIÓDICOS CAPES							
Multidisciplinar							
Base de dados	A	B	C	A + B	A + C	B + C	A + B + C
Academic Search Premier(EBSCO)	0	0	6	0	0	0	0
Oxford Journals (Oxford University Press)	0	0	3	0	0	0	0
Google Scholar	713	9.920	17.200	640	9.920	1.410	53
SciELO.ORG	0	0	63	0	0	0	0
Science Direct (Elsevier)	0	1	14	0	0	0	0
SUB-TOTAL	713	9.921	17.286	640	9.920	1.410	53
Ciências Ambientais							
Annual Reviews	62	62	33	0	0	0	0
Biological & Agricultural Index Plus (Wilson)	0	0	0	0	0	0	0
BioOne (BioOne.org)	0	0	0	0	0	0	0
Mary Ann Liebert (Atypon)	0	33	53	0	0	0	0
Nature (NPG)	943	0	2	0	0	0	0
SUB-TOTAL	943	95	86	0	0	0	0
Ciências da Saúde / Saúde Coletiva							
JAMA	82.494	1.145	0	0	0	0	0
Web of Science	0	0	0	0	0	0	0
Journals@Ovid Full Text (Ovid)	0	0	0	0	0	0	0
SpringerLink (MetaPress)	0	1	2	0	0	0	0
SUB-TOTAL	82.494	1.146	2	0	0	0	0
Engenharia							
Emerald Fulltext (Emerald)	0	0	0	0	0	0	0
Science (AAAS)	0	0	0	0	0	0	0
Wiley Online Library	0	1	10	0	0	0	0
IEEE Xplore Articles	695	0	0	0	0	0	0
SUB-TOTAL	695	1	10	0	0	0	0
TOTAL TABELA	84.845	11.163	17.384	640	9.929	1.410	53
TOTAL							
125.371 títulos							

Fonte: Do Autor (2010)

Tabela 3 - Dados numéricos da pesquisa da relevância no idioma francês

PORTAL PERIÓDICOS CAPES							
Multidisciplinar							
Base de dados	A	B	C	A + B	A + C	B + C	A + B + C
Academic Search Premier(EBSCO)	0	2	74	0	0	0	0
Oxford Journals (Oxford University Press)	0	3	95	0	0	0	0
Google Scholar	487	5.180	12.300	487	487	5.180	22
SciELO.ORG	0	0	0	0	0	0	0
Science Direct (Elsevier)	7	261	869	0	0	1	0
SUB-TOTAL	494	5.446	13.340	487	487	5.181	22
Ciências Ambientais							
Annual Reviews	0	0	5	0	0	0	0
Biological & Agricultural Index Plus (Wilson)	0		4	0	0	0	0
BioOne (BioOne.org)	0	0	3	0	0	0	0
Mary Ann Liebert (Atypon)		0	1	0	0	0	0
Nature (NPG)	0	3812	74.700	0	0	395	0
SUB-TOTAL	0	3812	74.713	0	0	395	0
Ciências da Saúde / Saúde Coletiva							
JAMA	10	671	20553	0	0	0	0
Web of Science	0	6	3	0	0	0	0
Journals@Ovid Full Text (Ovid)	0	0	5	0	0	0	0
SpringerLink (MetaPress)	0	0	219	0	0	0	0
SUB-TOTAL	10	677	20.780	0	0	0	0
Engenharia							
Emerald Fulltext (Emerald)	0	0	0	0	0	0	0
Science (AAAS)	0	0	0	0	0	0	0
Wiley Online Library	0	53	297	0	0	2	2
IEEE Xplore Articles	0	3	8	0	0	0	0
SUB-TOTAL	0	56	305	0	0	0	2
TOTAL TABELA	504	9.991	109.138	487	487	5.576	24
TOTAL							
126.183 títulos							

Fonte: Do Autor (2010)

Tabela 4 - Dados numéricos da pesquisa da relevância no idioma espanhol e total

PORTAL PERIÓDICOS CAPES							
Multidisciplinar							
Base de dados	A	B	C	A + B	A + C	B + C	A + B + C
Academic Search Premier (EBSCO)	0	0	4	0	0	0	0
Oxford Journals (Oxford University Press)	0	0	5	0	0	0	0
Google Scholar	3.190	5.520	13.100	3.190	3.190	5.520	149
SciELO.ORG	0	0	7	0	0	0	0
Science Direct (Elsevier)	9	21	47	1	0	0	0
SUB-TOTAL	3.199	5.541	13.163	3.191	3.190	5.520	149
Ciências Ambientais							
Annual Reviews	0	0	0	0	0	0	0
Biological & Agricultural Index Plus (Wilson)	0	0	0	0	0	0	0
BioOne (BioOne.org)	0	0	3	0	0	0	0
Mary Ann Liebert (Atypon)	0	0	0	0	0	0	0
Nature (NPG)	943	0	6	0	1	0	0
SUB-TOTAL	943	0	9	0	1	0	0
Ciências da Saúde / Saúde Coletiva							
JAMA	83.494	1.145	0	0	0	0	0
Web of Science	0	0	0	0	0	0	0
Journals@Ovid Full Text Ovid)	0	1	2	0	0	0	0
SpringerLink (MetaPress)	3	0	18	0	0	0	0
SUB-TOTAL	83.497	1.146	20	0	0	0	0
Engenharia							
Emerald Fulltext (Emerald)	0	0	0	0	0	0	0
Science (AAAS)	0	0	0	0	0	0	0
Wiley Online Library	1	0	0	0	0	0	0
IEEE Xplore Articles	6.470	1	8	0	0	0	0
SUB-TOTAL	6.470	1	8	0	0	0	0
TOTAL TABELA	94.109	6.688	13.200	3.191	3.191	5.520	149
TOTAL							
125.899 títulos	TOTAL TÍTULOS ENCONTRADO						247

Fonte: Do Autor (2010)

Conforme a quantidade de registros encontrados, a partir das bases de dados, foram efetuados os cruzamentos de palavras-chave, segundo o resultado geral desta pesquisa.

Os trabalhos presentes no periódico da CAPES apresentaram 4.292.556 títulos (Tabela 5), provenientes de instituições de ensino de todo o país e do mundo. As pesquisas por palavras-chave e seus devidos cruzamentos, conforme os idiomas, obtiveram como resultado os seguintes números de títulos:

Tabela 5 - Resultados quantitativos da pesquisa – periódico Capes

Pesquisas por Idiomas	Número de Títulos	Selecionados por idioma	Títulos que atendem a metodologia do trabalho	Títulos que atendem a pesquisa
Inglês	3.915.103	21	4	0
Português	125.371	53	4	1
Francês	126.183	24	1	1
Espanhol	125.899	149	21	9
TOTAL	4.292.556	247	30	11

Fonte: Do Autor (2011)

Como se pode observar na Tabela 1, a pesquisa no idioma inglês levantou 3.915.103 títulos, dos quais 21 foram selecionados e 4 atendem a metodologia deste trabalho. Não houve títulos que atendessem integralmente esta pesquisa, o que explicita uma proporção (3.915.103 / 21 / 4 / 0); para a pesquisa em português resultou (125.371 / 53 / 4 / 1); em Francês (126.183 / 24 / 1 / 1); em espanhol (125.899 / 149 / 21 / 9). Desta totalidade de 4.292.556 títulos pesquisados, 247 foram selecionados, sendo que, destes, 30 títulos atendem o início desta revisão bibliográfica. Dos 30 títulos, 05 trabalhos eram repetidos e 14 não atendiam a pesquisa empreendida. Inicia-se, portanto, a revisão bibliográfica com 11 títulos, a destacar no histórico da destilação solar e do estresse hídrico.

Na revisão bibliográfica, inseriram-se outros autores a partir de uma investigação das referências bibliográficas dos títulos encontrados, dando robustez ao texto.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os títulos investigados com palavras-chave levantam dados significativos da ampla pesquisa sobre o tema abordado. Assim, inicia-se com 11 títulos o Estado da Arte deste trabalho. A revisão bibliográfica está embasada na Estrutura Cognitiva para o Processo de Pesquisa, estruturada no aspecto legal introdutório e com duas palavras-chave, seguindo uma ordem temática, segundo o histórico, caracterização (tecnologia e o fenômeno), crítica e síntese, conforme Silva (2008) em sua Tese de Doutorado.

Um ambiente ecologicamente equilibrado é um direito do povo, como determina o Artigo 225 da Constituição Federal de 1988. O aspecto legal deste documento permite defendê-lo e preservá-lo, para as presentes e futuras gerações, sendo uma prerrogativa do poder público e da coletividade brasileira.

A partir da constituição de 1988, adotou-se a tendência contemporânea de preocupação com os interesses difusos e em especial com o meio ambiente. Assim, entre a legislação brasileira do Código das Águas, Decreto Federal nº 24.643 de 1934 que regulamentou a apropriação e a utilização pública e privada das águas no Brasil neste período e a Lei Federal nº 9.433/97, que dispõe sobre a Política Nacional de Recursos Hídricos, segue um arcabouço com leis e decretos que compõem a construção legal brasileira na questão da potabilização das águas.

Em 1974, é criada a Divisão de Ecologia Humana e Meio Ambiente do Ministério da Saúde na Secretaria Nacional de Atenção Básica em Saúde (SNABS); Portaria BSB nº 635/1975, que aprova as normas de padrão de fluoretação de águas; Portaria BSB nº 56/1977, que aprova as Normas e o Padrão Nacional de Potabilidade da Água para Consumo Humano (1ª legislação); Decreto Federal nº 79.367/1977, que estabelece a competência do Ministério da Saúde (MS) para o estabelecimento de normas, padrão de potabilidade, vigilância e

controle da qualidade de água para consumo humano; Portaria Federal nº 443/1978, que aprova as normas sobre proteção sanitária dos mananciais dos serviços de abastecimento e seu controle de qualidade e das instalações prediais; Decreto Federal nº 92.752/1986, que institui o Programa Nacional de Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano, Resolução Federal do CONAMA nº 20/1986, que estabelece normas e padrões para a qualidade das águas e o lançamento nos corpos de água.

Com a Lei nº 8029/1990, regulamentada pelo Decreto nº 100/1991, foi criada a Fundação Nacional de Saúde – FUNASA, como resultado da fusão da Fundação de Serviços de Saúde - FSESP com a Superintendência de Campanhas de Saúde Pública – SUCAM, tendo incorporado, além das atribuições destas instituições, aquelas referentes à extinta Secretaria Nacional de Ações Básicas de Saúde – SNABS.

A Portaria Federal GM 36/1990, que estabelecia as normas de padrão de potabilidade da água para consumo humano a serem aplicadas no Brasil, foi substituída pela Portaria Federal do Ministério da Saúde nº 1.469/2000, que institui o Controle e Vigilância da Qualidade da Água para Consumo Humano e seu Padrão de Potabilidade; Resolução Federal do CONAMA nº 274/2000, que dispõe sobre a definição das águas doces, salobras e salinas, de modo a assegurar as condições de balneabilidade; Portaria Federal nº 518/2004, que estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. Em 2006, inicia-se a discussão para revisão da Portaria Ministério da Saúde nº 518/2004.

O Decreto nº 5.440/2005 institui os mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano, conforme os padrões de potabilidade estabelecidos pela Portaria nº 518/2004 e a Lei nº 11.445/2007, que estabelece diretrizes nacionais do saneamento básico.

Precedente à Lei de Saneamento, em 2005 é lançado, pelo Ministério da Saúde, o Programa Nacional de Vigilância em Saúde Ambiental, relacionado com a Qualidade da Água para Consumo Humano, que tem como objetivo “Garantir à população o acesso à água com qualidade compatível com o padrão de potabilidade estabelecido na legislação vigente, para a promoção da saúde” (BRASIL, 2005).

Segundo Heller (2005), os Guias da Organização Mundial da Saúde - OMS, nos anos de 1983 e 1984 (1ª edição), resultando na Portaria 36 GM de 10 de janeiro de 1990. Em 1993 (2ª edição) constrói-se a Portaria MS 1469 em dezembro de 2000 e 2004 (3ª edição), foram norteadores no histórico de legislação da saúde no Brasil, que culmina nos avanços da Portaria nº 518/2004 como: definição das competências, deveres e responsabilidades do controle e vigilância; visão sistêmica e integrada no controle da qualidade da água; princípio de boas práticas no abastecimento de água; avaliação, gerenciamento e comunicação de risco; enfoque epidemiológico permeando toda a norma, e o direito de informação ao consumidor. Alguns autores entendem os Guias da Organização Mundial da Saúde como as principais referências no âmbito internacional que orientaram os padrões e legislações relacionadas com a qualidade da água para o consumo humano.

Em dezembro de 2011, a Portaria Nº 518/2004 foi revogada pela Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde, que dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água. Ela se aplica à água destinada ao consumo humano, proveniente de sistema e solução alternativa de abastecimento de água.

2.1. ESTRESSE HÍDRICO

Entende-se como Estresse Hídrico ou *Stress* Hídrico os elementos decorrentes da escassez de água, para toda e qualquer região, cidade, comunidade isolada ou não, rural ou pequena, que de alguma forma não contenha a quantidade e qualidade de água suficiente para atender as necessidades mínimas de consumo humano.

2.1.1. Histórico

O Histórico do estresse hídrico remete aos tempos mais remotos. Civilizações complexas viveram e desapareceram de regiões por não saberem utilizar de forma sustentável seus recursos disponíveis. O livro *Colapso*, cujo autor é Jared Diamond (2005), enfoca este tema e faz uma relação entre sociedades do passado que colapsaram pelo uso sem cuidado do recurso ambiental disponível e as sociedades modernas que indicam o mesmo fractal de exaustão.

O Homem esforçou-se por utilizar, em seu benefício, os recursos hídricos e por se defender das suas agressões. As primeiras grandes civilizações, por exemplo, as da Mesopotâmia e do Nilo, podem bem ser qualificadas de civilizações hidráulicas, na medida em que esses povos souberam fazer um bom uso da água. O Código Legal mais antigo, o de Hamurabi, promulgado há quase cinco milênios, é, fundamentalmente, uma Lei de Águas (LLAMAS, 1992).

Beeckman (1999) considera que o estresse hídrico está baseado no índice *per capita* para manter uma qualidade de vida adequada, atendendo as necessidades mínimas de água em regiões moderadamente desenvolvidas em zonas áridas. Define

como premissa a quantidade de 100 litros diários (equivalente a 36 m³/ano), como o ponto mínimo para suprir as necessidades domésticas e adequadas para a questão saúde.

Para o Programa das Nações Unidas para o Meio Ambiente - UNEP (2001), o conceito de estresse hídrico foi colhido pela hidróloga sueca Malin Falkenmark, no ano de 1976, para os países membros das Nações Unidas. Tinha como premissa a análise das condições de abastecimento e a verificação de disponibilidade hídrica de cada país.

Há vários indicadores de estresse dos recursos hídricos, incluindo a quantidade de água disponível por pessoa e a relação de volume de água retirado para volume de água potencialmente disponível. Quando as retiradas são superiores a 20% do total de recursos renováveis, o estresse hídrico, muitas vezes é um fator limitante para o desenvolvimento (Falkenmark e Lindh, 1976); retiradas de 40% ou mais representa alta tensão. Da mesma forma, o estresse hídrico pode ser um problema se um país ou região tem menos de 1.700m³/ano⁻¹ água *per capita* (Falkenmark e Lindh, 1976). Índices numéricos simples, no entanto, dão apenas indicações de pressões parciais dos recursos hídricos em um país ou região, porque as conseqüências de "estresse hídrico" dependerão de como a água é gerida (UNEP, 2001).

Quadro 1 - Patamares específicos de estresse hídrico

Volume disponível per capita	Situação
> 1.700 m ³ /hab.ano	Somente ocasionalmente tenderá a sofrer problemas de falta d'água.
1.000 – 1.700 m ³ /hab.ano	O estresse hídrico é periódico e regular.
500 – 1.000 m ³ /hab.ano	A região está sob regime de crônica escassez de água. Nesses níveis, a limitação na disponibilidade começa a afetar o desenvolvimento econômico, o bem estar e a saúde.
< 500 m ³ /hab.ano	Considera-se que a situação corresponde à escassez absoluta.

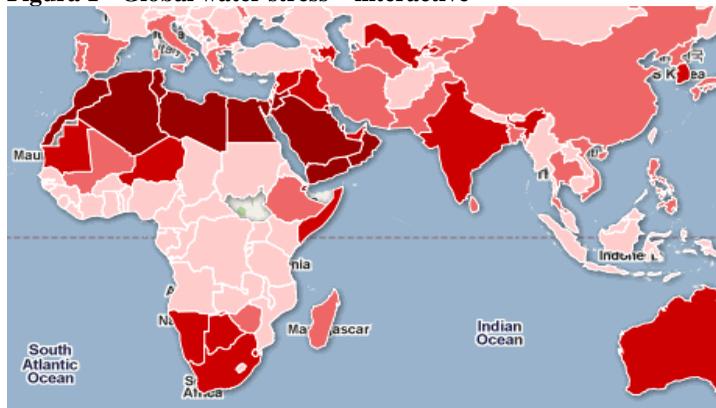
Fonte: Setti (2001)

Em Datablog (2011), encontra-se uma fonte virtual com mapa interativo das regiões de estresse hídrico. Demonstra o desafio da escassez de água no Oriente Médio e o resto do mundo. Estes resultados foram apresentados por analistas da empresa Maplecroft (análise e mapeamento de risco no mundo) em 2011, com dados efetivos de 180 países descrevendo a exposição ao estresse hídrico, numa escala de médio, alto ou baixo. Observa-se que a ONU fornece dados para modelos computacionais, abrangendo águas subterrâneas e superficiais, quantidade consumida dessas reservas e se sustentável. Porém, entende que são superficiais e conclui que maior é a exposição de um país ao estresse hídrico, quanto maior for a proporção de seus recursos hídricos renováveis.

Ainda segundo Datablog (2011), não só o Oriente Médio, mas Austrália, África do Sul, Espanha, Índia, Cuba, Hong Kong e uma quantidade relativa de países são classificados como tendo um nível alto de estresse hídrico pela Maplecroft, o que significa ter demanda de água acima de 40% dos recursos renováveis ou máxima de 1.700 metros cúbicos por pessoa ao ano.

Mostra-se, na Figura 1, o mapa interativo de estresse hídrico no planeta, observando que as regiões mais castigadas encontram-se na faixa da América central, extremo norte e sul de África, Sul da Ásia e Austrália.

Figura 1 - Global water stress – interactive



Fonte: DATABLOG (2011)

A Tabela 6 apresenta a classificação de disponibilidade de água no mundo, conforme a UNEP.

Tabela 6 - Classificação da disponibilidade de água

Disponibilidade de água doce (m³/hab.ano)	Classificação
Maior que 20.000	Muito alto
De 10.000 a 20.000	Alto
De 5.000 a 10.000	Médio
De 2.000 a 5.000	Baixo
De 1.000 a 2.000	Muito baixo
Até 1.000	Extremamente baixo

Fonte: UNEP (2002)

Para Waldman (2002), “o conceito de stress hídrico se refere à diferença entre a água utilizada e a disponível em recursos naturais.”

Pode-se observar, na Tabela 7, o percentual do potencial hídrico de cada continente.

Tabela 7 - Potencial hídrico mundial por região

Regiões do mundo	Porcentagem (%)
Ásia	31,6
América do Sul	23,1
América do Norte	18,0
África	10,0
Europa	7,0
Antártica	5,0
Oceania	4,5
Austrália e Tasmânia	0,8
Total	100,0

Fonte: Tomaz (2003)

Conforme Tabela 8, o Relatório “O Estado do Mundo”, ano de 2004, no *Worldwatch Institute*, selecionou alguns países com estimativa da quantidade de água *per capita*, disponível por habitantes.

Tabela 8 - Quantidade disponível anual

Países	Extrações de Água Per Capita (metros cúbicos por pessoas por ano)
Etiópia	42
Nigéria	70
Brasil	348
África do Sul	354
Indonésia	390
China	491
Federação Russa	527
Alemanha	574
Bangladesh	578
Índia	640
França	675
Peru	784
México	791
Espanha	893
Egito	1.011
Austrália	1.250
Estados Unidos	1.932

Fonte: Worldwatch Institute (2004)

Para o UNEP (2007), “Estresse hídrico ocorre quando a demanda de água excede a qualidade disponível durante um determinado período ou quando baixa qualidade limita seu uso”.

Carvalho (2004) refere-se ao estresse hídrico como um acontecimento implicado territorialmente conforme a região, o que se entende que os fenômenos natural ou antrópico podem ser permanentes, temporários ou intermitentes.

Os recursos hídricos, de modo geral, correm riscos evidentes de *stress* hídrico nos tempos atuais. A seca persegue regiões até mesmo consideradas abundantes de água, estando associados ao aumento da população na região e consumo excessivo de recursos hídricos. Além disso, ameaça a qualidade de vida, esse é o desafio para os gestores que tem encontrado dificuldades para atender as necessidades econômicas e sociais. Dessa forma, se comprovou que não existem limites regionais para o *stress* hídrico ocorrer, se confirma que regiões com o processo de crescimento econômico mais desenvolvido já sofrem ou tendem sofrer mais cedo as consequências da falta da água. (CARVALHO, 2008)

Relata Waldman (2009) que a oferta de recursos hídricos para o atendimento das necessidades humanas não pode ser inferior ao patamar de 1.700 m³/pessoa/ano, referência conhecida como índice de *Stress Hídrico* (WSI, abreviatura técnica de *Water Stress Index*) ou Indicador de *Falkenmark*. Apresenta-se, como estado de alerta, sempre que encontrar dificuldade para ser disponibilizado.

Paralelamente, patamares inferiores a 1.000 m³/hab/ano demarcariam a condição de escassez de água (*Chronic Water Scarcity*), e abaixo de 500 m³/hab/ano, um estado de penúria hídrica absoluta (*Absolute Water Scarcity*), situações ainda mais problemáticas quanto ao abastecimento de água (WALDMAN, 2009).

Olic (2011) expõe que:

A carência de água é resultado da combinação de efeitos naturais, demográficos, sócio-econômicos e até culturais. Chuvas escassas, alto crescimento demográfico, desperdício e poluição de mananciais se combinam para gerar uma situação denominada de estresse hídrico.

2.1.2. Caracterização do Fenômeno

A *caracterização* do estresse hídrico no mundo está associada à complexidade das pressões sobre a utilização dos recursos hídricos.

Segundo o WWAP (2006),

apenas 1% dos recursos totais de água na Terra está disponível para uso humano. Enquanto 70% da superfície do planeta é coberta por água, 97,5% são água salgada. Dos restantes 2,5% são de água doce, quase 68,7% estão congeladas nas calotas polares e geleiras.

O relatório da WWF (2006) indica que o volume utilizado de água, em muitos países, é muito maior do que o suportado pelo ambiente, afetando os ecossistemas, e

consequentemente, a água doce disponível. O indicador do estresse hídrico parte do nível de captações de água anuais da população, em relação à sua disponibilidade, também anual. Maior é o estresse, quanto maior a pressão sobre os ecossistemas de água doce.

Segundo a FAO (2007), há quase 700 milhões de pessoas de 43 países que enfrentam hoje a falta d'água. Tais dados são referendados pelas estimativas das Nações Unidas (2009), para o ano de 2025, quando relata que cerca de 3 bilhões de pessoas estarão vivendo em regiões com escassez de água, e duas em cada três pessoas no mundo poderiam estar vivendo sob condições de estresse hídrico. Este documento informa ainda que:

Já existem políticas em diversos países para redução da demanda e do desperdício de água. [...] Entre os fatores que vão levar ao consumo ainda maior de água, prevê o relatório da ONU, estão o crescimento e a mobilidade da população, o aumento no padrão de vida, mudanças nos hábitos alimentares e o crescimento da produção de energia, particularmente de biocombustíveis. [...] os efeitos das alterações climáticas devem agravar a situação em países que já estão quase no limite de uso de água dos recursos hídricos. [...] triplicou a prospecção de água potável nos últimos 50 anos e dobrou o número de áreas irrigadas. A ONU atribui isso ao crescimento da população mundial, que registra cerca de 80 milhões de nascimentos por ano. O aumento demográfico vem resultando num incremento anual de 64 bilhões de metros cúbicos na demanda por água. A agricultura é o principal consumidor, respondendo por 70% do uso de água.

Caso não sejam tomadas medidas para conter o uso dos recursos hídricos pelo setor agrícola, alertam os autores do relatório, a procura mundial por água vai crescer entre 70% e 90% até 2050. Essas outras crises podem intensificar-se e a crise de água local pode piorar, convergindo para uma crise mundial da água, levando a uma política de insegurança e conflitos em vários níveis (ONU, 2009).

Ainda segundo a ONU (2009), o volume de água necessário à vida em comunidade e atividades humanas, sociais e econômicas, é de aproximadamente 2.500 m³/água/hab/ano. Em determinadas regiões esta disponibilidade de água/habitante/ano está abaixo de 1.500 m³, o que é considerado uma situação crítica. Nessas áreas, a disponibilidade permanece em torno de 3 m³/pessoa/dia.

Pode-se apontar duas direções sobre o consumo de água potável para uma pessoa. Um deles, refere-se a sua necessidade de uma cota diária mínima, por exemplo, de 20 litros de água a uma distância não superior a mil metros (ONU, 2010). Este dado indica o consumo para todas as atividades mínimas como banho, alimentação, dentre outros. O segundo ponto, com a produção diária de água em litros para necessidade orgânica de consumo mínimo de uma pessoa em 1 dia, segundo Vianna *et al.* (2013), é em média, de 2 litros de água potável para sua sobrevivência diária. O Engenheiro Saturnino de Brito, Fundação SESP (2005), aponta também nesta direção, quando afirma que “o consumo mínimo de água/pessoa por dia para fins domésticos: água para bebida é de 2 litros”. Já a ONU (2013), destaca que devemos repor 2,5 litros por dia, sendo 1 litro ingerindo frutas, e 1,5 litros bebendo água, devido a perdas pela urina de 1,2 litros, transpiração, 0,6 litros e evacuação 0,1 a 0,3 litros. Aponta, que são necessários 20 litros/dia para as necessidades básicas, que é uma quantidade para a sobrevivência de 1 semana aproximadamente. Ressalta, ainda,

que quando se tem 3 litros de água a menos, ocorre o processo de desidratação e riscos à vida, devido ao mau funcionamento dos rins.

Silva *et. al* (1984). apontam a quantidade de 14 litros por dia, que uma pessoa necessita beber e realizar suas atividades básicas de cozinhar e higiene mínima, como lavar o rosto. Para Brito *et al.* (2013), na prática, o volume atual de água fornecido pelo P1MC-ASA é 16 m³ e atende as necessidades básicas de uma família de 5 pessoas, no máximo, considerando um período de consumo de 240 dias, que corresponde ao período médio, sem chuvas, na maioria dos municípios do Semi-Árido brasileiro.

A Tabela 9 apresenta dados comparativos dos continentes, sua áreas, suas populações e suas disponibilidades hídricas, relacionadas ao Brasil.

Tabela 9 – Comparativo entre os continentes e o Brasil

Continente	Área (10 ³ km ²)	População milhões	*"Runnof" (km ³ /ano)	Disponibilidade (m ³ /dia/pessoa)
Europa	10.500	498	3.210	18
Ásia	43.475	3.108	14.410	13
África	30.120	648	4.570	19
América do Norte	24.200	426	8.200	53
América do Sul	17.800	297	11.760	108
Oceania	8.950	26	2.388	252
TOTAL	135.045	5.003	44.540	24
Brasil	8.512	160	8.133	140

Fonte: ONU (2009)

Nota: "runnof" tem o sentido de disponibilidade hídrica

Silva (2008) apresenta que "*para as extrações de 5% a 20% representam um estresse suave, 20% a 40%, um estresse moderado, e acima de 40%, estresse severo*". Aponta ainda os países com nível de estresse hídrico severo, citando o Irã, o Iraque, a Síria, o Marrocos, a Argélia e a Tunísia. Os Estados

Unidos, o México e a França, com estresse moderado, enquanto o Brasil e o Canadá, como estresse suave.

Segundo os relatórios elaborados pelo PNUD (2008), será possível acompanhar o desenvolvimento dos recursos hídricos no mundo, a partir das Metas de Desenvolvimento do Milênio relacionadas com a água.

As 8 metas do Milênio são: (a) Erradicar a fome e a extrema pobreza; (b) Atingir o ensino básico universal; (c) Promover a igualdade entre os sexos e a autonomia das mulheres; (d) Reduzir a mortalidade infantil; (e) Melhorar a saúde materna; (f) Combater o HIV/Aids, a malária e outras doenças; (g) Garantir a sustentabilidade ambiental; e (h) Estabelecer uma Parceria Mundial para o Desenvolvimento (PNUD, 2008).

A UNESCO, com seu Programa Mundial de Avaliação dos Recursos Hídricos WWAP, (2000), conhecido como programa ONU-Água, vem trabalhando em questões relacionadas com a água doce, propondo recomendações, estudos, apoio de avaliação em nível nacional e tomada de decisões. O resultado é o Relatório Mundial sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos, documento que emerge com dados confiáveis sobre a situação dos recursos de água doce do planeta. Dados sobre a qualidade e quantidade de água, conforme a Organização Mundial da Saúde, OMS (2009), revelam que os países com abundância hídrica, incluindo o Brasil, podem estar à mercê de uma crise. Indicam que as reservas de água potável estão diminuindo devido ao consumo, desperdício, poluição das águas superficiais e subterrâneas, esgotamento sanitário, resíduos tóxicos industriais e da agricultura.

O Relatório da WWDR (2009) indica que os desafios e ameaças de escassez de água às populações das terras secas continuam aumentando em magnitude. Enquanto a população mundial passa os 6 bilhões de pessoas, países já atingiram os limites dos seus recursos hídricos. Com a variabilidade climática, aproximadamente a metade da população mundial estará em áreas de alto estresse hídrico até 2030. Isso inclui 75 milhões a 250 milhões de pessoas na África. Com a escassez de água, em lugares áridos e semi-áridos, haverá um êxodo entre 24 milhões a 700 milhões de pessoas. Na África Subsaariana, encontra-se o maior número de países com estresse hídrico.

ONU (2011) indica um colapso nas questões de abastecimento de água em aproximadamente 25 anos. Esta escassez está aliada ao aumento da poluição, bem como ao uso insustentável dos lençóis e poços artesianos. As reservas hídricas são prejudicadas pela má gestão em tratar a água como um patrimônio econômico público.

Informações oriundas da UNESCO (2009), no 3º Relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Mundial dos Recursos Hídricos, divulgadas no 5º Fórum Mundial da Água, ocorrido em Istambul, na Turquia, explicitam a escala progressiva cada vez maior de consumo de água e a necessidade de que mais países possibilitem, em suas políticas públicas, a regulação do seu uso. Levanta a necessidade do envolvimento dos vários setores da sociedade na formulação de diretrizes, e não apenas dos órgãos oficiais.

O Atlas da Água e o 3º Relatório das Nações Unidas sobre Desenvolvimento Mundial dos Recursos Hídricos revelam uma crise na poluição dos recursos hídricos, no abuso e no desperdício por parte dos setores agrícola, industrial e doméstico, bem como pelo não acesso à água de qualidade e quantidade por milhões de pessoas, que vivem em países de escassez crônica, e aos danos provocados por inundações ou secas intensas, desde o início do século 21.

O cenário mundial descrito na obra O Atlas da Água, de Robin Clarke e Jannet King, publicada em 2005, e no Relatório das Nações Unidas sobre o desenvolvimento dos Recursos Hídricos do mundo de 2009, revelam uma verdadeira crise, evidenciada pela poluição crescente dos recursos hídricos; pelo uso abusivo e o desperdício nos setores agrícola, industrial e doméstico; pela privação ao acesso à água de qualidade e em quantidade suficiente a milhões de pessoas que vivem em países com escassez crônica deste recurso e pelos danos causados por inundações ou secas intensas, observados no início do século 21 (CLARKE & KING, 2005; UNESCO, 2009 *apud* SILVA, 2009).

No Conselho Mundial da Água – WWC (2006), realizado na Cidade do México com representantes de 121 países, abordou-se que a situação mais crítica encontrada no mundo é a africana. Este continente é aproximadamente 3,5 vezes a extensão do Brasil e possui uma extensa rede hidrográfica com um volume pluviométrico bem distribuído em seu território. Observa-se que o seu *déficit hídrico* encontra-se em regiões com densidade populacional elevada, onde a demanda é maior. Nestas condições, 300 milhões de africanos utilizam 3,8% do total de água doce do planeta, com 5% da população mundial.

Segundo WWAP (2006), sobre a escassez de água, foi estimado que em 1995 cerca de 1.760 milhões de pessoas - de cerca de 5,7 bilhões da população mundial - estavam vivendo sob estresse hídrico severo. As áreas mais afetadas encontram-se na África do Norte e Oeste e Sul da Ásia. O fato é que, para 25 % da população da África, o chamado *stress* crônico ou estresse hídrico é muito alto, o que resulta nos 13% que vivenciam a seca pelo menos uma vez a cada geração.

Vale salientar que:

Cinquenta anos. Este é o tempo estimado para que metade da população mundial conviva com a escassez crônica de água, caso nenhuma providência seja tomada para conter o consumo indiscriminado do recurso natural. Os sucessivos ataques ao ciclo hidrológico levam a crer que a humanidade aguarda um futuro em que a água será mais do que um bem de consumo em extinção, mas um fator decisivo na explosão de conflitos armados pela disputa gota a gota. (KING & CLARKE, 2005).

A ONU (2003) estimou, em seus estudos, a existência de 924 milhões de pessoas que vivem em centros urbanos nas favelas. Isso representa, aproximadamente, 31% dos 2.923 bilhões de habitantes, sendo que a África, Ásia, América Latina, Caribe e Oceania contam com 870 milhões de habitantes, isto é, 43%. A África Subsaariana formada por Angola, Eritreia, Tanzânia e África do Sul contribui com 71,9% de sua população em favelas. Já, a América Latina e Caribe, 31,9%, sendo que o Brasil, com 3.905 favelas e 6,55 milhões de moradores, atinge o equivalente a 3,8% de sua população. A ONU define favela a partir de:

Cinco características: acesso inadequado à água potável, falta de infra-estrutura ou saneamento básico, aglomeração de moradias, estrutura pobre da construção das casas e residências inseguras (ONU, 2003).

A Assembléia Geral da ONU, através da Resolução 64/92, reconheceu o direito humano à água potável e saneamento e que ambos são essenciais para a realização de todos os direitos humanos.

Na África - 44 milhões de pessoas que vivem em áreas urbanas não têm acesso à água. Das que vivem em zonas rurais, 53% (256 milhões) não contam com serviços de abastecimento de água. No total, 62% dos africanos não têm água. **Na Ásia** - 98 milhões de pessoas estão sem acesso à água, nas zonas urbanas, e 595 milhões, ou cerca de 25% da população rural. Ao todo, são 693 milhões, ou 19% dos asiáticos sem serviço de abastecimento. **Na América Latina** - 78 milhões de pessoas não têm acesso à água, o que corresponde a 15% da população. **Na Oceania** - A totalidade dos habitantes das zonas urbanas têm acesso à água e somente 3 milhões, que vivem em áreas rurais, não contam com abastecimento. **Na Europa** - apenas 0,5% dos habitantes das zonas urbanas não têm acesso à água. Na zona rural, há 23 milhões sem abastecimento, o que corresponde a 13% da população que mora no campo. (ANA, 2011).

Para Machado (2011),

a crise da água é uma "crise silenciosa", uma crise dos que não têm voz e suportam no cotidiano os efeitos devastadores da exclusão hídrica. "Tal como a fome, é uma urgência silenciosa tolerada por aqueles que dispõem de recursos, da tecnologia e do poder político para acabar com ela", conforme o Relatório do Desenvolvimento Humano do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) de 2006 intitulado *A água pra lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água*.

Em dados da UNESCO (2011), os principais países em situação de estresse hídrico são México, Índia, China, Tailândia e Estados Unidos. Onze países na África e Oriente Médio apresentam, também, situação caótica de água. Seguem as Tabelas 10 e 11 com os respectivos números de países com maior e menor quantidade de água per capita.

Tabela 10 - Países com mais água per capita

PAÍS	Volume
Guiana Francesa	812.121 m ³
Islândia	609.319 m ³
Guiana	316.689 m ³
Suriname	292.566 m ³
Congo	275.679 m ³
Papua Nova Guiné	166.563 m ³
Gabão	133.333 m ³
Ilhas Salomão	100.000 m ³
Canadá	94.353 m ³
Nova Zelândia	86.554 m ³

Fonte: WWA/Unesco (2006)

Tabela 11 - Países com menos água per capita

PAÍS	Volume
Kuait	10 m ³
Emirados Árabes Unidos	58 m ³
Bahamas	66 m ³
Qatar	94 m ³
Maldivas	103 m ³
Líbia	113 m ³
Arábia Saudita	118 m ³
Malta	129 m ³
Cingapura	149 m ³
Jordânia	179 m ³

Fonte: WWA/Unesco (2006)

ANA (2011), no Atlas Brasil – Abastecimento Urbano de Água 2011, há dados sobre 5.565 municípios brasileiros em relação às suas demandas urbanas.

De acordo com o levantamento, as regiões Norte e Nordeste são as que têm, relativamente, os maiores problemas nos sistemas produtores de água. Apesar de a Amazônia concentrar 81% do potencial hídrico do país, na Região Norte menos de 14% da população urbana é atendida por sistemas de abastecimento satisfatórios. No Nordeste, esse percentual é de 18% e a região também concentra os maiores problemas com disponibilidade de mananciais, por conta da escassez de chuvas (ANA, 2011)

A Tabela 12 apresenta os Censos de 1960 a 2010 relativos às regiões e seus municípios:

Tabela 12 - Regiões e seus municípios

Regiões / número de municípios	Censos					
	1960	1970	1980	1991	2000	2010
Região Norte	153	195	203	298	449	449
Região Nordeste	903	1.376	1.375	1.509	1.787	1.794
Região Sudeste	1.085	1.410	1.410	1.432	1.666	1.668
Região Sul	414	717	719	873	1.159	1.188
Região Centro- Oeste	211	254	284	379	446	466
Total - Brasil	2.766	3.952	3.991	4.491	5.507	5.565

Fonte: Adaptado IBGE, Censo Demográfico 1960, 1970, 1980, 1991, 2000 e 2010. (2011)

Neste contexto, a *caracterização* Estresse Hídrico no Brasil que detém as maiores reservas do mundo de água doce, com 8% do total de toda água doce do planeta, aponta para problemas significativos no abastecimento da área urbana.

Segundo dados da Agência Nacional de Água – ANA (2011), demonstrando no Atlas da Água, construído com informações provenientes de representantes dos prestadores de serviços de abastecimento de água, órgãos de gestão dos recursos hídricos, Comitês e Agências de Bacias Hidrográficas, entre tantas outras entidades municipais, estaduais e federais, o “Brasil precisa investir 22 bilhões até 2015 para garantir abastecimento de água”.

ANA (2011) ainda refere que, dos 5.565 municípios brasileiros, 55% deles poderão sofrer com um déficit no abastecimento de água, dos quais 84% precisam de adequação para seus sistemas e 16 % de novos mananciais. Revela, ainda, que 3.059, o que corresponde aos 55% dos municípios, respondem por 73% da demanda de todo o país. Outro fator é o déficit nas localidades indicadas, que em uma estimativa para o ano de 2025 vão concentrar aproximadamente 139 milhões de habitantes, equivalente a 72% da população.

Para Tucci (2001), o Brasil possui 17% das reservas de água doce do mundo. Isso representa 50% do total dos recursos da América do Sul.

A distribuição desses recursos no País e durante o ano não é uniforme, destacando-se os extremos do excesso de água na Amazônia e as limitações de disponibilidade no Nordeste. A Amazônia brasileira representa 71,1% do total gerado da vazão no Brasil e, portanto 36,6 % do total gerado na América do Sul e 8% em nível mundial. Considerando a vazão total da Amazônia que escoar pelo território brasileiro, a proporção é de 81,1% do total nacional. Considerando esse volume, o total que escoar a partir do Brasil representa 77% total da América do Sul e 17% em nível mundial (TUCCI, 2001).

Rebouças (1997), alguns anos antes, posiciona-se ao escrever que:

Efetivamente, a crise da água interessa a alguns, à medida que conseguem transformar a escassez em vantagens, aproveitando-se, sobretudo da pobreza política da sociedade em geral. Em consequência, apesar de todos os avanços culturais, sociais e tecnológicos disponíveis, as mudanças e as inovações que conduzem ao desenvolvimento sustentável se tornam distantes em muitos países e, em particular, na região Nordeste do Brasil. (REBOUÇAS, 1997).

O Atlas da Água consolida o planejamento da oferta de água em todo o país, a partir do diagnóstico dos mananciais e da infraestrutura hídrica existente (sistemas de captação de água, elevatórias, adutoras e estações de tratamento) e da identificação das melhores alternativas técnicas. É o resultado do trabalho feito em articulação com órgãos dos governos federal, estadual e municipal.

O Norte e o Nordeste possuem, relativamente, as maiores necessidades de investimentos em sistemas produtores de água (mais de 59% das sedes urbanas). Chama a atenção a precariedade dos pequenos sistemas de abastecimento de água do Norte, a escassez hídrica no Semi-árido e a baixa disponibilidade de água das bacias hidrográficas litorâneas do Nordeste. No Sudeste, os principais problemas decorrem da elevada concentração urbana e da complexidade dos sistemas produtores de abastecimento que motivam, muitas vezes, disputas pelas mesmas fontes hídricas.

Segundo Soares (2004),

os poços artesianos, principalmente os das bacias cristalinas, caso de 95% do semi-árido nordestino, apresentam-se na sua grande maioria, com água salobra que, uma vez dessalinizada, é uma solução para atender ao meio rural.

Confirma-se com O Programa Um Milhão de Cisternas - P1MC (2013) foi implantado em 2003 e já atingiu o número de 400 mil unidades atendendo mais de 2 milhões de pessoas. A meta é atender 5 milhões em todo Semi-Árido brasileiro.

Sobre o meio urbano, expõe Comparini (2002),

na Região Metropolitana de São Paulo, a disponibilidade hídrica é muito baixa. São 200 m³/habitante/ano, o que caracteriza uma situação de stress hídrico. Na prática, a população sente estes conceitos técnicos em racionamento e falta d'água.

Araújo et. al. (2004) avaliaram o estresse hídrico na região nordeste, entre o período de 2001 a 2005, que apontou aproximadamente 10% daquelas localidades. Durante o I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste em Cuiabá, no ano de 2007, destacaram que o maior estresse possui 80% de probabilidade de enfrentar escassez no mesmo período. Afirmaram, ainda, que políticas públicas descentralizadas podem reduzir impactos significativos com a tendência de variabilidade climática em relação à disponibilidade de água neste período.

Para King e Clarke (2005), o Brasil é responsável entre 12% e 16% das reservas de água do mundo e o comprometimento deste recurso está relacionado com a sua má distribuição e com fatores socioeconômicos. Observa-se que

Tucci (2001) refere-se a um percentual diferente do que aqui expostos pelos autores.

Outras regiões no Brasil são caracterizadas por estresse hídrico, conforme aponta o levantamento no Atlas da Água.

As regiões Norte e Nordeste são as que têm, relativamente, os maiores problemas nos sistemas produtores de água. Apesar de a Amazônia concentrar 81% do potencial hídrico do país, na Região Norte menos de 14% da população urbana é atendida por sistemas de abastecimento satisfatórios. No Nordeste, esse percentual é de 18% e a região também concentra os maiores problemas com disponibilidade de mananciais, por conta da escassez de chuvas. [...] atualmente a maior parte do parque industrial está localizada na Região Sudeste, que sofre um “forte estresse hídrico”. A região concentra 43% da população brasileira, mas apenas 6% da água doce disponível no país. No Norte estão localizados 68% dos recursos hídricos nacionais e apenas 5% da população (GOUVÊA, 2011).

A ONU (2009) atesta que, em algumas regiões do Nordeste brasileiro, a disponibilidade hídrica é de 3,8 m³/hab.d., sendo que a medida ideal para clima tropical é de 0,2 m³/hab.d.

No Brasil, outro elemento significativo são os conflitos pela água. Conforme Wamburg (2011), o relatório Conflitos no Campo Brasil 2010, produzido pela Comissão Pastoral da Terra (CPT), apresenta como origem vários fatores, tais quais os de preservação da água, barragens e açudes e apropriação particular.

Os conflitos pela água tiveram um crescimento de 93,3% no ano passado em relação a 2009. Foi o maior número registrado desde 2002, quando a Comissão Pastoral da Terra (CPT) começou a fazer levantamento e foram registrados 14 conflitos, envolvendo 14.352 pessoas. O número de incidentes em 2010 (87), embora bem maior do que no ano anterior, afetou 197.210 pessoas, menos dos que as 201.675 afetadas nos 45 conflitos ocorridos em 2009. Os dados são do relatório Conflitos no Campo Brasil 2010, divulgado ontem pela CPT. Os 87 conflitos pela água ocorridos em 2010 igualam o número registrado em 2007, quando, então, um número menor de pessoas foi afetado: 163.735. Em 2010, 47 conflitos (54%) tiveram relação ao uso e preservação da água, 31 (26,5%) tinham a ver com o uso de barragens e açudes e nove (10,3%), à apropriação particular. O estado que registrou o maior número de conflitos foi a Bahia, com 15,4 conflitos relativos a barragens e 11 ao uso e preservação da água. Por região, a primeira foi a Nordeste (38 conflitos, 43,7%), seguida pela Sudeste (22, 25,5%), Norte (17, 19,5%) e Centro-Oeste e Sul (cinco cada uma, 5,7%). Foram registradas, nesses conflitos, 14 ameaças de morte, quatro tentativas de assassinato, duas prisões e dois assassinatos. O relatório da CPT conclui que os conflitos ocorrem porque sobressai o valor econômico da água no modo de uso, sem que se dê a mesma atenção aos aspectos biológicos, ambiental e social. *“Quando o [aspecto] econômico monopoliza o valor da*

água, os conflitos e a violência encontram aí o chão fértil para se desenvolver. Um exemplo disso são os dois casos ocorridos em 2010, de assassinatos em conflitos pela água” diz a CPT (WAMBURG, 2011).

Segue Tabela 13, o histórico de disponibilidade hídrica *per capita* ao ano, no Brasil, para um período de 100 anos.

Tabela 13 - Disponibilidade hídrica no último século no Brasil

Região	Disponibilidade hídrica	
	Ano de 1900 (m ³ per capita ao ano)	Ano de 2000 (m ³ per capita ao ano)
Norte	5.708.864	307.603
Nordeste	27.587	10,68
Sul	42.715	12,64
Centro-Oeste	203.396	14.553
Brasil	2.353.814	75.511

Fonte: Ghisi (2004 *apud* Botelho, 2006).

2.1.3. A Crítica

A crítica desta revisão sobre estresse hídrico inicia-se através das pesquisas científicas produzidas por entidades locais, nacionais e mundiais. Estas, sempre se aportam ao fator disponibilidade de água em situações diversas, básicas para sobrevivência humana, numa perspectiva que não comprometa seu futuro.

Os relatórios levantados de entidades mundiais demonstram responsabilidades nas políticas de vários países. As estratégias para resolver questões relevantes destas sociedades quase sempre partem de encartes e periódicos construídos por estas organizações. Neste contexto, inserem-se milhões de números, desde os anos de 1960, indicando que se perdeu a noção de grandeza no que tange a realidade. Dados significativos são apresentados a curto e em médio prazo ou

simplesmente décadas, para um aumento progressivo da escassez de água, em diferentes realidades no mundo. A informação é recorrente e presume-se que, nos próximos anos, novos dados e previsões não serão diferentes. Entende-se que as previsões estatísticas disponíveis repetem-se aumentando as escalas; então, indaga-se: que política, estratégia ou ferramenta de planejamento, num futuro próximo, poderá justificar essa quantidade de informações, relatório, pesquisas e esforços contínuos, sabendo que mais vidas irão se exaurir? Dados de duas, três ou quatro décadas passadas não foram respondidos, ainda, nas realidades tão conhecidas pelo mundo. No limiar do século XXI, o distanciamento entre o saber científico e ações locais apontam novas estratégias sem um eco de resultados.

O estresse hídrico é o contexto da crise da água. Para os autores e entidades construírem novas possibilidades de solução aos problemas mais significativos, necessitam de estratégias locais efetivas. As distâncias entre situações da África, Índia e Semi-Árido brasileiro, por exemplo, agregam seca, escassez de água e uma economia de experiência. São textos diferenciados nesta complexidade de realidades.

O fato é que há uma realidade acontecendo, não transponível, impotente, a qual apontam os relatórios e pesquisas. Talvez não se consiga, ainda, frear as variáveis que levam a sociedade ao estresse hídrico a muitas regiões do globo, por não perceber que a estratégia utilizada não é viável. Os sentidos humanos sempre foram estimulados para romper limites, mas há limites? Quais? Há muitas perguntas a serem feitas, e a sensação é que não há tempo para respostas, pois a cada dia a complexidade nos contextos do estresse hídrico aumenta e o tempo é que está para exaurir.

A crítica desta revisão bibliográfica do estresse hídrico, nos diversos continentes e no Brasil, é apresentada no resumo do Quadro 2, construído a seguir, para melhor disponibilizar as contribuições de cada autor.

Quadro 2- Resumo da Revisão Bibliográfica – Estresse Hídrico

Organização ou Autor	Ano	Resumo
Beeckman	1999	Considera que o estresse hídrico está baseado no índice <i>per capita</i> para manter uma qualidade de vida adequada, atendendo as necessidades mínimas de água em regiões moderadamente desenvolvidas em zonas áridas. Define como premissa a quantidade de 100 litros diários (equivalente a 36 m ³ /ano) como o ponto mínimo para suprir as necessidades domésticas e adequadas à questão saúde.
UNEP (Falkenmark e Lindh,1976).	2001	Há vários indicadores de estresse dos recursos hídricos, incluindo a quantidade de água disponível por pessoa e a relação de volume de água retirado para volume de água potencialmente disponível. Quando as retiradas são superiores a 20% do total de recursos renováveis, o estresse hídrico, muitas vezes é um fator limitante para o desenvolvimento (Falkenmark e Lindh,1976); retiradas de 40% ou mais representam alta tensão. Da mesma forma, o estresse hídrico pode ser um problema se um país ou região tem menos de 1.700m ³ /ano ⁻¹ água <i>per capita</i>
Schuch e Lima	2002	Afirmam que as Nações Unidas - ONU colheram o conceito de stress hídrico, sendo embasado na relação direta entre disponibilidade de água e a população de uma região.
Waldman	2002	O conceito de estresse hídrico se refere à diferença entre a água utilizada e a disponível em recursos naturais.
UNEP	2007	Estresse hídrico ocorre quando a demanda de água excede a qualidade disponível, durante um determinado período, ou quando baixa qualidade limita seu uso.

Carvalho	2008	Os recursos hídricos, de modo geral, correm riscos evidentes de estresse hídrico nos tempos atuais. A seca persegue regiões até mesmo consideradas abundantes de água, estando associados ao aumento da população na região e consumo excessivo de recursos hídricos. Além disso, ameaça a qualidade de vida: esse é o desafio para os gestores que têm encontrado dificuldades para atender as necessidades econômicas e sociais. Dessa forma, comprovou-se que não existem limites regionais para o estresse hídrico ocorrer; confirma-se que regiões com o processo de crescimento econômico mais desenvolvido já sofrem ou tendem a sofrer mais cedo as consequências da falta da água.
Waldman	2009	Que a oferta de recursos hídricos para o atendimento das necessidades humanas não pode ser inferior ao patamar de 1.700 m ³ /pessoa/dia, referência conhecida como índice de <i>Stress Hídrico</i> (WSI, abreviatura técnica de <i>Water Stress Index</i>) ou Indicador de Falkenmark. Apresenta-se como estado de alerta, sempre que encontrar dificuldade para ser disponibilizado. Paralelamente, patamares inferiores a 1.000 m ³ /hab/ano demarcariam a condição de escassez de água (<i>Chronic Water Scarcity</i>), e abaixo de 500 m ³ /hab/ano, um estado de penúria hídrica absoluta (<i>Absolute Water Scarcity</i>), situações ainda mais problemáticas quanto ao abastecimento de água.
Olic	2011	A carência de água é resultado da combinação de efeitos naturais, demográficos, sócio econômicos e até culturais. Chuvas escassas, alto

		crescimento demográfico, desperdício e poluição de mananciais se combinam para gerar uma situação denominada de estresse hídrico.
WWAP	2006	Apenas 1% dos recursos totais de água na Terra está disponível para uso humano.
WWF	2006	Indica que o volume utilizado de água em muitos países é muito maior do que o suportado pelo ambiente, afetando os ecossistemas e consequentemente a água doce disponível. O indicador do estresse hídrico parte do nível de captações de água anuais da população em relação a sua disponibilidade também anual. Maior é o estresse quanto maior a pressão sobre os ecossistemas de água doce.
FAO	2007	Há quase 700 milhões de pessoas de 43 países enfrentando a escassez de água.
ONU	2009	A estimativa das Nações Unidas para o ano de 2025, cerca de 3 bilhões de pessoas estarão vivendo em regiões com escassez de água, e duas em cada três pessoas no mundo poderiam estar vivendo sob condições de estresse hídrico.
Silva	2008	Extrações de 5% á 20% representam um estresse suave, 20% a 40%, um estresse moderado, e acima de 40%, estresse severo. Aponta ainda os países com nível de estresse hídrico severo citando o Irã, o Iraque, a Síria, o Marrocos, a Argélia e a Tunísia. Os Estados Unidos, México e França com estresse moderado, enquanto o Brasil e o Canadá como estresse suave.
PNUD	2008	As 8 Metas de Desenvolvimento do Milênio são: (a) Erradicar a fome e a extrema pobreza; (b) Atingir o ensino básico universal; (c) Promover a igualdade entre os sexos e a autonomia das mulheres; (d) Reduzir a mortalidade

		infantil; (e) Melhorar a saúde materna; (f) Combater o HIV/AIDS, a malária e outras doenças; (g) Garantir a sustentabilidade ambiental; e (h) Estabelecer uma Parceria Mundial para o Desenvolvimento.
ONU	2009	<p>Que já existem políticas em diversos países para redução da demanda e do desperdício de água. [...] Entre os fatores que vão levar ao consumo ainda maior de água, prevê o relatório da ONU, estão o crescimento e a mobilidade da população, o aumento no padrão de vida, mudanças nos hábitos alimentares e o crescimento da produção de energia, particularmente de biocombustíveis. [...] os efeitos das alterações climáticas devem agravar a situação em países que já estão quase no limite de uso de água dos recursos hídricos. [...] triplicou a prospecção de água potável nos últimos 50 anos e dobrou o número de áreas irrigadas. A ONU atribui isso ao crescimento da população mundial, que registra cerca de 80 milhões de nascimentos por ano. O aumento demográfico vem resultando num incremento anual de 64 bilhões de metros cúbicos na demanda por água. A agricultura é o principal consumidor, respondendo por 70% do uso de água. Caso não sejam tomadas medidas para conter o uso dos recursos hídricos pelo setor agrícola, alertam os autores do relatório, a procura mundial por água vai crescer entre 70% e 90% até 2050.</p> <p>O relatório aponta que “essas outras crises podem intensificar-se e a crise de água local pode piorar, convergindo para uma crise mundial da água, levando a uma política de insegurança e conflitos em vários níveis”.</p>

		<p>O volume de água necessário para a vida em comunidade e atividades humanas, sociais e econômicas, é de aproximadamente 2.500 m³/água/hab/ano. Em determinadas regiões esta disponibilidade de água/habitante/ano está abaixo de 1.500 m³, o que é considerado uma situação crítica. Nessas áreas, a disponibilidade permanece entorno de 3 m³/pessoa/dia.</p>
WWC	2006	<p>Abordaram que a situação mais crítica encontrada no mundo é a africana. Este continente é aproximadamente 3,5 vezes a extensão do Brasil e possui uma extensa rede hidrográfica com um volume pluviométrico bem distribuído em seu território. O seu <i>déficit hídrico</i> encontra-se em regiões com densidade populacional elevada onde a demanda é maior e não nos desertos. Nestas condições, 300 milhões de africanos utilizam 3,8% do total de água doce do planeta, com 5% da população mundial.</p>
WWDR	2009	<p>Indica que os desafios e ameaças de escassez de água às populações das terras secas continuam aumentando em magnitude. Enquanto a população mundial passa os 6 bilhões de pessoas, países já atingiram os limites dos seus recursos hídricos. Com a variabilidade climática, aproximadamente a metade da população mundial estará em áreas de alto estresse hídrico até 2030. Isso inclui, 75 milhões a 250 milhões de pessoas na África. Com a escassez de água, em lugares áridos e semi-áridos haverá, um êxodo entre 24 milhões e 700 milhões de pessoas. Na África Subsaariana encontra-se o maior número de países com estresse hídrico.</p>

WWAP	2006	“escassez de água: foi estimado que em 1995 cerca de 1.760 milhões de pessoas (de cerca de 5,7 bilhões da população mundial estavam vivendo sob estresse hídrico severo”. As áreas mais afetadas encontram-se na África do Norte e Oeste e Sul da Ásia. O fato é que para 25 % da população da África, o chamado <i>stress</i> crônico ou estresse hídrico é muito alto o que resulta nos 13 % que vivenciam a seca pelo menos uma vez a cada geração.
King e Clarke	2005	Dados do Atlas da Água revelam que cinquenta anos são estimados para que metade da população mundial conviva com a escassez crônica de água, caso nenhuma providência seja tomada para conter o consumo indiscriminado do recurso natural. Os sucessivos ataques ao ciclo hidrológico levam a crer que a humanidade aguarda um futuro em que a água será mais do que um bem de consumo em extinção, mas um fator decisivo na explosão de conflitos armados pela disputa gota a gota.
ONU	2003	Estimou a existência de 924 milhões de pessoas que vivem em centros urbanos nas favelas. Isso representa aproximadamente 31% dos 2.923 bilhões de habitantes sendo que a África, Ásia, América Latina, Caribe e Oceania contam com 870 milhões de habitantes, 43%. A África Subsaariana formada por Angola, Eritreia, Tanzânia e África do Sul, contribuem com 71,9% de sua população em favelas. Já na América latina e caribe, 31,9%, sendo que o Brasil com 3.905 favelas e 6,55 milhões de moradores, atinge o equivalente a 3,8% de sua população. A ONU define favela a partir de “cinco características: acesso

		inadequado à água potável, falta de infraestrutura ou saneamento básico, aglomeração de moradias, estrutura pobre da construção das casas e residências inseguras”.
ONU	2010	Com a resolução 64/292, a Assembléia Geral da ONU reconheceu o direito humano à água potável e saneamento e que ambos são essenciais para a realização de todos os direitos humanos.
ANA	2011	Aponta sobre os continentes o número de habitantes urbanos e rurais e a água na África, Ásia, América Latina, Oceania e Europa. Na África - 44 milhões de pessoas que vivem em áreas urbanas não têm acesso à água. Das que vivem em zonas rurais, 53% (256 milhões) não contam com serviços de abastecimento de água. No total, 62% dos africanos não têm água. Na Ásia - 98 milhões de pessoas estão sem acesso à água, nas zonas urbanas, e 595 milhões, ou cerca de 25% da população rural. Ao todo, são 693 milhões, ou 19% dos asiáticos sem serviço de abastecimento. Na América Latina - 78 milhões de pessoas não têm acesso à água, o que corresponde a 15% da população. Na Oceania - A totalidade dos habitantes das zonas urbanas têm acesso à água e somente 3 milhões, que vivem em áreas rurais, não contam com abastecimento. Na Europa - apenas 0,5% dos habitantes das zonas urbanas não têm acesso à água. Na zona rural, há 23 milhões sem abastecimento, o que corresponde a 13% da população que mora no campo.
Machado	2011	A crise da água é uma "crise silenciosa", uma crise dos que não têm voz e suportam no cotidiano os efeitos

		devastadores da exclusão hídrica. "Tal como a fome, é uma urgência silenciosa tolerada por aqueles que dispõem de recursos, da tecnologia e do poder político para acabar com ela", conforme o Relatório do Desenvolvimento Humano do Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento (PNUD) de 2006 intitulado A água pra lá da escassez: poder, pobreza e a crise mundial da água.
UNESCO	2011	Entre os principais países em situação de estresse hídrico destacam-se México, Índia, China, Tailândia e Estados Unidos. Onze países na África e Oriente Médio apresentam também situação caótica de água.
OMS	2011	Considera que há 1,4 bilhão de pessoas no mundo que possuem acesso à água potável e 2,3 bilhões vivem sem sistema básico de saneamento.
Tucci	2001	O Brasil possui 17% das reservas de água doce do mundo. Isso representa 50% do total dos recursos da América do Sul. A distribuição desses recursos no País e durante o ano não é uniforme, destacando-se os extremos do excesso de água na Amazônia e as limitações de disponibilidade no Nordeste. A Amazônia brasileira representa 71,1% do total gerado da vazão no Brasil e, portanto 36,6 % do total gerado na América do Sul e 8% em nível mundial. Considerando a vazão total da Amazônia que escoar pelo território brasileiro, a proporção é de 81,1% do total nacional. Considerando esse volume, o total que escoar a partir do Brasil representa 77% total da América do Sul e 17% em nível mundial.
Comparini	2002	.Na Região Metropolitana de São Paulo, a disponibilidade hídrica é muito baixa.

		São 200 m ³ /habitante/ano, o que caracteriza uma situação de estresse hídrico. Na prática, a população sente estes conceitos técnicos em racionamento e falta d'água.
Rebouças	1997	Efetivamente, a crise da água interessa a alguns, à medida que conseguem transformar a escassez em vantagens, aproveitando-se, sobretudo da pobreza política da sociedade em geral. Em consequência, apesar de todos os avanços culturais, sociais e tecnológicos disponíveis, as mudanças e as inovações que conduzem ao desenvolvimento sustentável se tornam distantes em muitos países e, em particular, na região Nordeste do Brasil.
Araújo et. al.	2004	Avaliaram o estresse hídrico na região nordeste entre o período de 2001 a 2025, apontou aproximadamente 10% daquelas localidades. Durante o I Simpósio de Recursos Hídricos do Norte e Centro-Oeste em Cuiabá no ano de 2007, destacaram que o maior estresse possui 80% de probabilidade de enfrentar escassez no mesmo período. Afirmam ainda que políticas públicas descentralizadas possam reduzir impactos significativos com a tendência de variabilidade climática em relação à disponibilidade de água neste período.
King e Clarke	2005	Somos responsáveis entre 12% e 16% das reservas de água do mundo e o comprometimento desses recursos está relacionado à sua má distribuição e a fatores socioeconômicos. As regiões Norte e Nordeste são as que têm, relativamente, os maiores problemas nos sistemas produtores de água. Apesar de a Amazônia concentrar 81% do potencial

		hídrico do país, na Região Norte menos de 14% da população urbana é atendida por sistemas de abastecimento satisfatórios. No Nordeste, esse percentual é de 18% e a região também concentra os maiores problemas com disponibilidade de mananciais, por conta da escassez de chuvas. [...] atualmente a maior parte do parque industrial está localizada na Região Sudeste, que sofre um “forte estresse hídrico”. A região concentra 43% da população brasileira, mas apenas 6% da água doce disponível no país. No Norte, estão localizados 68% dos recursos hídricos nacionais e apenas 5% da população, afirma Raul Gouvêa (2011)
ONU	2009	Atesta que algumas regiões - Nordeste brasileiro, a disponibilidade hídrica é de 3,8 m ³ /dia, e que a medida ideal p/ clima tropical é de 200 litros

Fonte: Do Autor (2010)

2.1.4. Síntese

O tema estresse hídrico leva a construir possibilidades ao diálogo no item Materiais e Métodos, com metodologias que permitem agregar informações à tecnologia do Potabilizador Solar, na perspectiva de torná-la simples, viável e efetiva. Isto possibilita atender pequenas comunidades rurais, grupos isolados ou famílias com pouca disponibilidade hídrica no quesito consumo de água potável. Assim, optou-se, a partir da quantidade de dados disponíveis, por uma abordagem estatística com o método de análise multivariada, fatorial e de dispersão, no intuito de atender ao 1º objetivo específico e responder a questão da pesquisa na efetividade à produção de água potável em qualidade e quantidade. Em um segundo momento, adentrou-se a questão da viabilidade econômica para sua

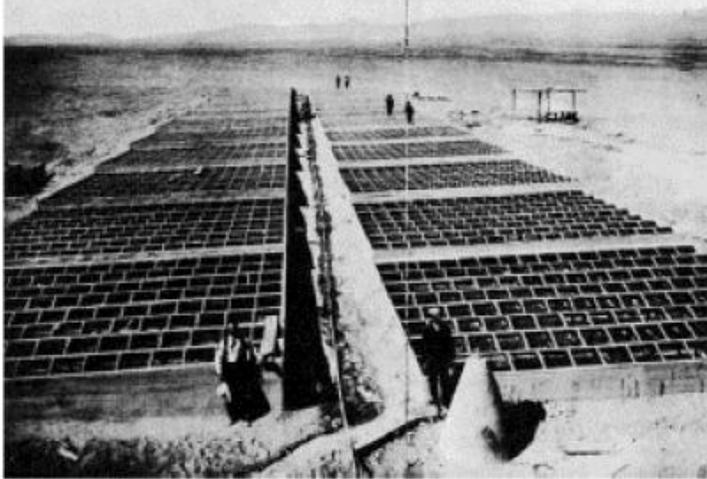
construção. Realizou-se uma análise de custo e valor agregado, levantando indicadores e apontando onde se pode minimizar materiais, substituí-los ou até propor outras estruturas ao equipamento. Isso implica o atendimento ao requisito de simplicidade na sua replicabilidade, pois, como explicitado anteriormente, necessitou-se de tecnologias sociais acessíveis, comprometidas com a saúde pública no país e no mundo, sob o contexto conceitual da sustentabilidade em regiões de estresse hídrico. Entendeu-se que estes métodos aplicados substanciem os diálogos com os autores citados no trabalho, ora apresentado.

2.2. DESTILAÇÃO SOLAR

2.2.1. Histórico

O histórico apresentado por Duffie e Beckman (1991), Maluf (2005) e Nandwani (2009) afirma que os dessalinizadores utilizados no deserto do Atacama (Empresa Salitrera Lastenia Salinas, dirigida pelo inglês Charles Wilson, também desenhista das plantas) no Chile, datam do ano de 1872 até 1907. Seu propósito era prover água para mineiros e animais em uma área aproximada de 4.700 m², para uma produção de 6.000 galões, o equivalente entre 22 a 500 litros de água diários. Apresenta-se, na Figura 2, foto do primeiro destilador solar de grandes proporções no Chile.

Figura 2 - Destilador solar – Las Salinas / Chile



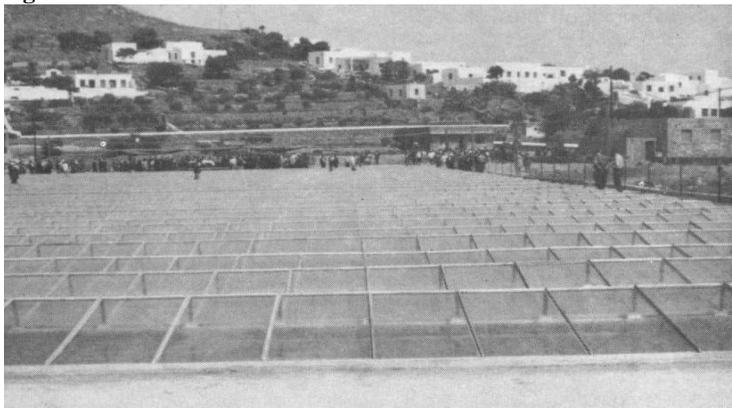
Fonte: Ramirez (2003)

Nandwani (2009) relata que, em 1960, a destilação solar era apresentada como uma alternativa atrativa para produção de água destilada. Neste período, na Colômbia, os destiladores solares para regiões com problemas de mortalidade e doenças de origem hídrica já eram estudados. Foram construídas plantas em outros países, como a Grécia (8640 m²), Haiti (400 m²), Índia (2000 m²). A partir deste período, os destiladores solares foram desenvolvidos e aplicados em zonas com escassez de água potável, mas com acesso ao mar como: Israel, Ilhas Canárias na Espanha, e Ilhas no Mediterrâneo. Na Ilha de Patmos, na Grécia, há uma das maiores destiladoras solar do mundo, com 800 m² (Figura 3).

Dellyannis (2003) apresenta em seus estudos a construção de plantas de destilação solar em ilhas na Grécia, no período entre 1965 e 1970. Estes destiladores eram classificados do tipo simples efeito, e tinham a capacidade de produção em torno de 2.000 a 8.000 m³/dia.

Há um marco na expansão dos grandes destiladores, a partir dos anos 40, durante a segunda grande guerra.

Figura 3 - Destilador Ilha de Patmos – Grécia.



Fonte: Nandwani (2009)

A destilação solar, como processo, está intrinsicamente envolvida com pesquisas de dessalinização, em que se destacam os seguintes países: Inglaterra, EUA, França, Israel, Índia, Japão e Alemanha.

Vários estabelecimentos militares, em regiões áridas, necessitaram de água para suprir suas tropas. Foram construídos vários destiladores de tamanhos bem mais reduzidos, com a finalidade de serem utilizados nas embarcações de salva-vidas. A potencialidade que a dessalinização oferecia ficou evidenciada e trabalhos foram prosseguidos após a guerra em vários países. Destiladores de grande porte foram então construídos em Coober Pedy (Austrália) com 34.000 pés quadrados, produzindo 6.700 litros/dia, Patmos (Grécia) com 93.000 pés quadrados, produzindo 27.000 litros/dia e outros países mais como Tunísia, Espanha e Paquistão. (PATZ, 1981 IN: VAZ DE PIÑA, 2004).

Há contextos, no período dos anos de 1960 e 1970 no mundo, que destacam locais na Austrália, Tunísia e Paquistão, conforme sua produção em Kg/m².dia.

Os australianos em Muresk I com seu solar still, construído em 1963, produziu 2,25 kg/m².dia. Semelhantes taxas foram conseguidas pelos Muresk II e III, que foram construídos entre 1966 e 1971. Em Chakmou, Tunísia, foi construído em 1967 e produziu cerca de 3 kg/m².dia. No Paquistão, o solar stills Gwadar I e II foram construídos em 1969 e 1972, respectivamente, e produziu, em média, 2,58 e 2,41 kg/m².dia de água potável (AL-ISMAILY & PROBERT, 1990).

Vaz de Piña (2004) levantou destiladores solares convencionais competitivos, em longo prazo, no país insular africano de Cabo Verde.

Neste ponto surge a questão se os destiladores solares são competitivos com instalações convencionais de dessalinização. Verificou-se, através do cálculo teórico, que em Cabo Verde um destilador solar produz diariamente 5,28 litros/dia por m² de superfície de destilador e que o custo do mesmo pode ser estimado a R\$193,00 por m², aos preços atuais. Estima-se que para um período de funcionamento de 20 anos, 1 m² de destilador solar produzirá cerca de 38,01m³ a um custo de R\$5,07 por m³. No entanto, neste momento em Cabo Verde, nos locais onde se tem instalado dessalinizadores convencionais, o custo para o consumidor é de R\$8,40 por m³ de água destilada consumida. (VAZ DE PIÑA, 2004).

Destefani (2007) destaca a necessidade de quantidade e qualidade de água em situações economicamente viáveis.

Atualmente existem 7.500 unidades em operação no Golfo Pérsico, Espanha, Malta, Austrália e Caribe convertendo 4,8 bilhões de metros cúbicos de água salgada em água doce, por ano. O custo, ainda alto, está em torno de US\$ 2,00 o metro cúbico. As grandes unidades, semelhantes às refinarias de petróleo, encontram-se no Kuwait, Curaçao, Aruba, Guernesey e Gibraltar, abastecendo-os totalmente com água retirada do mar.(DESTEFANI, 2007).

Conforme Destefani (2007), o início das experiências com destilação solar no Brasil data de 1970, no Instituto Tecnológico da Aeronáutica - ITA. Já, em 1987, a PETROBRAS inicia seu programa de dessalinização de água do mar para atender suas plataformas marítimas, usando o processo da osmose reversa.

Segundo Kotaka *et al.* (2004), a região do nordeste brasileiro é provida dos melhores índices de radiação solar do país, fator este importante para a utilização de destiladores. Complementa que:

Nessa região, as áreas mais afetadas são aquelas cuja probabilidade de se encontrar água subterrânea com qualidade e quantidade suficientes é muito baixa. Geralmente, quando se consegue uma vazão razoável, a água é salobra.

Outra experiência significativa foi na Universidade Federal de Pernambuco - UFPE, em 1983, com um protótipo de destilação solar em funcionamento experimental na sede do

Instituto Tecnológico do Estado de Pernambuco - ITEP, em Recife, e no ano seguinte, adaptado ao município de Petrolina. Afirma Maluf (2005) que:

Em 1984, foram construídos seis módulos com 50 metros quadrados cada. Durante aproximadamente dois anos, duas instituições públicas, o Ginásio Distrital e a Creche Comunitária foram totalmente abastecidas com água obtida através do processo de destilação solar.

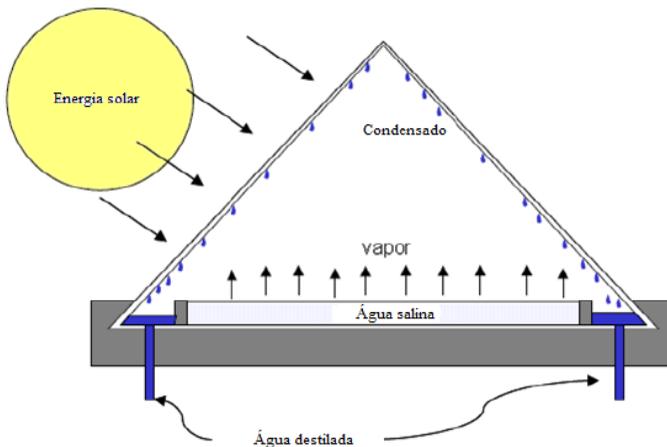
Referente aos títulos encontrados a partir da pesquisa, na Biblioteca da UFSC, foi levantada a dissertação de mestrado de 2004, de Clarissa Soares: “Tratamento de água uni-familiar através da destilação solar natural utilizando água salgada, salobra e doce contaminada”. Este trabalho coincide com o levantamento das demais dissertações e teses do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade Federal de Santa Catarina. Destaca-se que esta dissertação foi orientada pelo Prof. Dr. Maurício L. Sens, a exemplo da presente tese.

2.2.2. Caracterização

Na caracterização tecnológica deste trabalho, inicia-se com a tecnologia do Potabilizador Solar de Água, que é um equipamento construído pelo Laboratório de Potabilização de Água – LAPOÁ, com uma cúpula em forma de pirâmide. Tem como agente, em seu sistema, o processo de destilação solar, e como principais fenômenos deste, a convecção, vaporização e condensação. Mediante a entrada de energia pelo calor do sol, é possível a separação de uma mistura homogênea entre sólido e líquido, já que cada uma delas necessita de temperaturas diferentes para evaporar-se e posteriormente condensar-se (Figura 4).

A estrutura deste Potabilizador Solar de Água é composta por materiais como: fibra de vidro, tubos e conexões em PVC, vidraçaria, além de peças como parafusos, silicone e tinta. Esta tecnologia tem como propósito produzir água destilada livre de sais, contaminantes, dentre outros, potável para consumo humano, dentro dos padrões de potabilidade.

Figura 4 - Processo de condensação no destilador solar

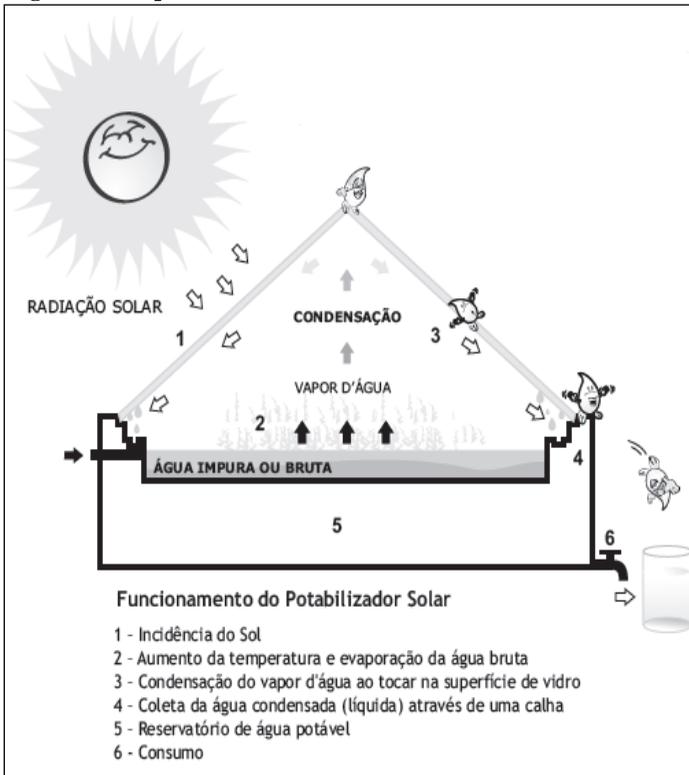


Fonte: Miller (2003)

Os estudos iniciam-se com o Potabilizador Solar de Água, constituído, em sua dimensão, por uma cúpula de vidro em forma de pirâmide, com metragem em sua base de 1,43 x 1,43 metros. Esta cúpula foi definida pelo ângulo inclinado mais apropriado dos seus respectivos lados, para um escoamento das gotículas formadas internamente pela condensação. Ela se apoia sobre uma caixa quadrada, na parte inferior, com a mesma medida 1,43 x 1,43 metros, que constitui o reservatório de água potabilizada. Acima, aproximadamente 70% desta caixa quadrada, está fixada uma estrutura em forma de bandeja, com a metragem de 1,42 x 1,42 metros, a qual recebe a água bruta que fica exposta aos raios solares. Ao

aquecer esta água por radiação solar, forma-se o vapor, que em contato com o vidro piramidal acima, mais frio, provoca gotas condensadas no vidro, o qual tem inclinação apropriada, fazendo com que o destilado escorra para todos os lados; a bandeja e a face do reservatório permitem, por um pequeno espaço, o deslocamento destas gotas na direção do reservatório, acumulando o suficiente e disponibilizando água destilada (potabilizada) para utilização adequada (Figura 5).

Figura 5 - Esquema detalhado do Potabilizador Solar



Fonte: Adaptado de SENS (2011)

O que se tenta fazer na ciência é replicar o que acontece na natureza para necessidades nobres como água potável, pois o processo de destilação sempre aconteceu em grande escala no ciclo da água. A diferença, talvez esteja na magnitude com que se quer criar o fenômeno, e novas técnicas e estudos especializados que se agregam às pesquisas em universidades com o avanço da ciência. Entende-se, pois, que o avanço é para o benefício da sociedade.

Maluf (2005) apresenta a destilação solar como sendo:

Um sistema extremamente simples: o processo natural de purificação de água, por meio de evaporação, condensação e precipitação, é reproduzido em pequena escala. Esse equipamento, chamado de destilador solar¹, consiste basicamente em um tanque raso com um tampo de vidro transparente, formando um volume estanque. A radiação solar atravessa o vidro e aquece a água, aumentando sua taxa de evaporação. O vapor d'água sobe, condensa em contato com o vidro mais frio, e a água destilada escorre até ser capturada por uma canaleta, deixando para trás os sais, outros minerais e a maioria das impurezas, incluindo micro organismos nocivos à saúde.

Costa (2008), como um processo simplificado e natural onde:

A radiação solar esquenta o líquido contido no tanque (ou cuba rasa de material específico) construído ou não com material escuro (a fim de reter calor). O líquido se vaporiza e o vapor se condensa na cobertura de vidro (que tem

uma temperatura mais baixa). A lâmina de água destilada é então coletada em uma canaleta construída na parte interna do destilador. A energia solar fica retida no equipamento devido ao vidro ter transparência alta. Quando o líquido evapora, as impurezas com menor poder de evaporação ficam retidas no fundo do equipamento. Ao manter a cobertura de vidro inclinada, evita-se o retorno das gotas do líquido para o tanque. Os melhores materiais para a cobertura são os vidros temperados ou comuns. Os plásticos não são tão apropriados porque podem gerar um efeito chamado de *wettable* – em que gotas de água não se fixam bem à cobertura e acabam por cair de volta no tanque. O destilador deve ser posicionado com sentido Norte-Sul, para aproveitar o máximo de radiação solar diária.

Tleimat (1979) define que o destilador solar:

Consiste em um recipiente de água salgada, de fundo negro para absorver a luz do sol, coberto com placas de vidro transparentes que formam um ambiente hermético. As coberturas transparentes se inclinam sobre esta cuba coletora. Quando o destilador está em funcionamento, a energia solar passa através das coberturas transparentes e é absorvida pela água e pelo revestimento interior do recipiente. A energia absorvida esquentando a água salgada e faz com que evapore parte dela e que aumente a umidade do tempo junto da superfície da mesma, produzindo então as correntes de convecção dentro do

ambiente do destilador. O ar úmido, mais quente, sobe até o vidro, mais frio, em cuja superfície parte do vapor d'água se condensa, desliza para baixo e cai gotejando para cuba coletora, saindo pelos extremos desta em forma de água doce.

Segundo Fuentes e Roth (1997), para melhor entender os processos de destilação solar tem-se que conhecer as principais formas de transferência de calor: a convecção, a condensação e a radiação. A relação entre estas três formas de transferência de calor estão extremamente envolvidas, possibilitando seu transporte pela evaporação, considerado o mais importante no destilador.

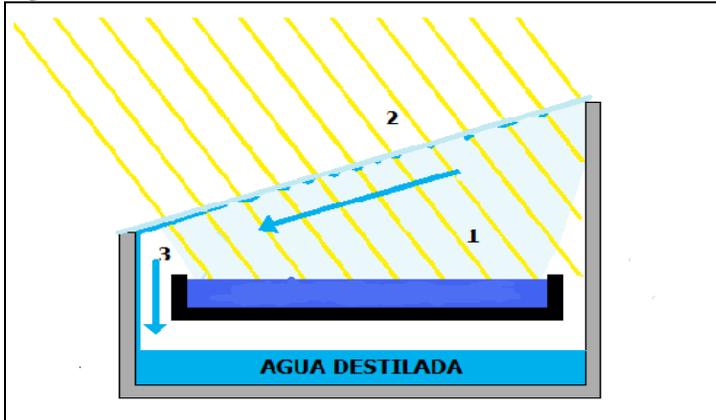
Tiwari e Tiwari (2008) afirmam que os destiladores solares normalmente são apropriados para climas quentes e também para onde necessitam de pelo menos um total de $3\text{m}^3/\text{dia}$ de água. Quando necessita de utilização de combustível, a água tem custos elevados, o que também contribui para a atratividade de destiladores solares. As condições que favorecem as aplicações dos destiladores solares são: disponibilidade de água salgada e outras fontes já exploradas; necessidade total de água tem que ser menos que alguns m^3/dia ; clima quente e luz solar abundante; valor elevado ou incerto de fornecimento de combustível; chuvas abaixo de $0,5\text{ m/ano}$ (água de chuva, captação impraticável) e altos custos de transporte de água (em geral, entre $\text{U}\$10/\text{m}^3$ e $\text{U}\$500/\text{m}^3$).

Formoso (2010) dialoga, a seguir, com vários autores sobre destilação solar e sua relação de eficiência com a termodinâmica. Discorre sobre o processo de evaporação, sua transferência de calor pela condensação e a operação desta por pressão e temperatura, utilizando a energia do vapor subsequente no processo de evaporação de um destilador de múltiplo efeito.

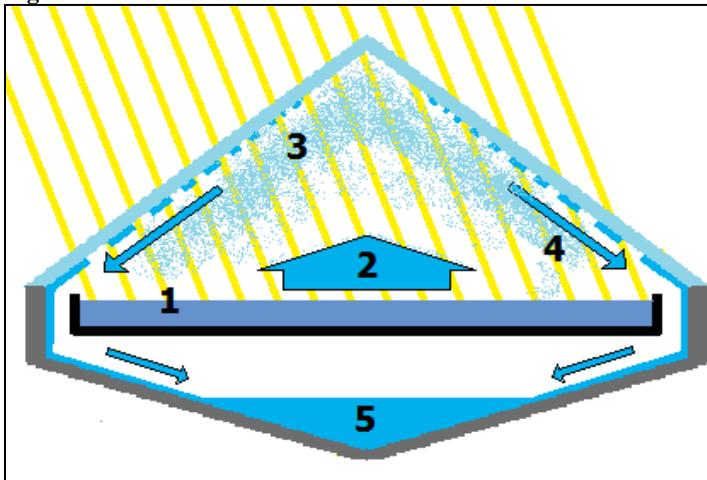
O processo de destilação mais antigo é a destilação de múltiplo efeito (MED) (SEMIAT, 2000), muito eficiente do ponto de vista termodinâmico (OPHIR & LOKIEE, 2005). As primeiras plantas foram instaladas nos anos 50 (MILLER, 2003). O processo se baseia na evaporação da água salina pela transferência do calor produzido na condensação do vapor. O vapor produzido dessa forma é usado em um passo (ou “efeito”) subsequente, que opera em uma pressão e uma temperatura ligeiramente menor, de modo que a energia do vapor condensado é usada para evaporação adicional da água no efeito seguinte (KALOGIROU, 1997a). (FORMOSO, 2010).

Os destiladores solares podem ser encontrados em variadas estruturas na atualidade. Apontam-se, aqui, alguns modelos.

O primeiro a ser apresentado é o destilador solar de uma água (uma pendente ou vertente – uma face), conforme a Figura 6, na estrutura quadrada ou retangular com uma cobertura de vidro ou plástico inclinada, sendo seu fundo em cor preta, no qual é colocada a água para evaporar-se, seguindo um recipiente para acondicionar a água destilada. Outro destilador solar muito replicado (Figura 7, Figura 8, Figura 9) é o de duas águas, seguindo o mesmo princípio do de uma água.

Figura 6 - Destilador de uma vertente ou uma face

Fonte: Sítio Solar (2011)

Figura 7 - Destilador solar de duas faces

Fonte: Sítio Solar (2011)

Figura 8 - Destilador solar de duas faces



Fonte: Sítio Solar (2011)

Figura 9 - Destilador solar de duas faces

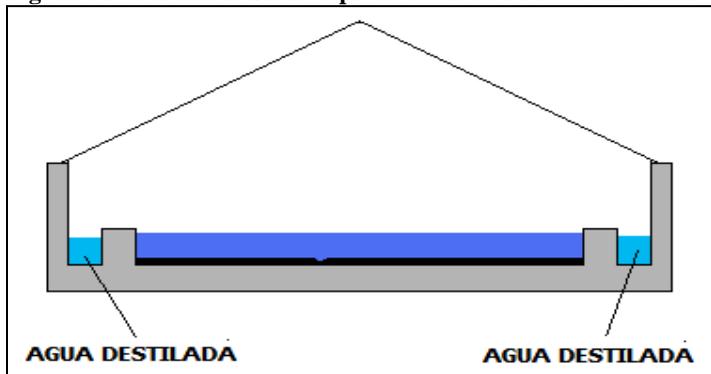


Fonte: UNIOESTE (2011)

Um outro tipo de destilador é o denominado invernadeiro (Figura 12). Estes destiladores podem ser de grande porte, mas

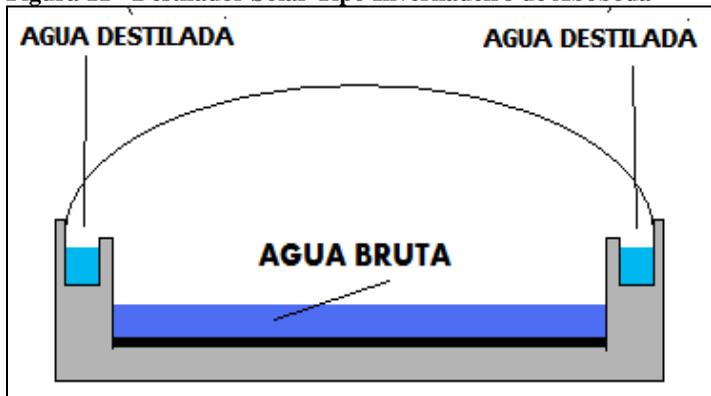
existem outros menores, de duas faces ou abóboda, conforme modelos das respectivas Figura 10 e Figura 11. Destaca-se, ainda, os tipos escada (Figura 13), geralmente utilizados em telhados.

Figura 10 - Destilador Solar Tipo Invernadeiro com Duas Faces



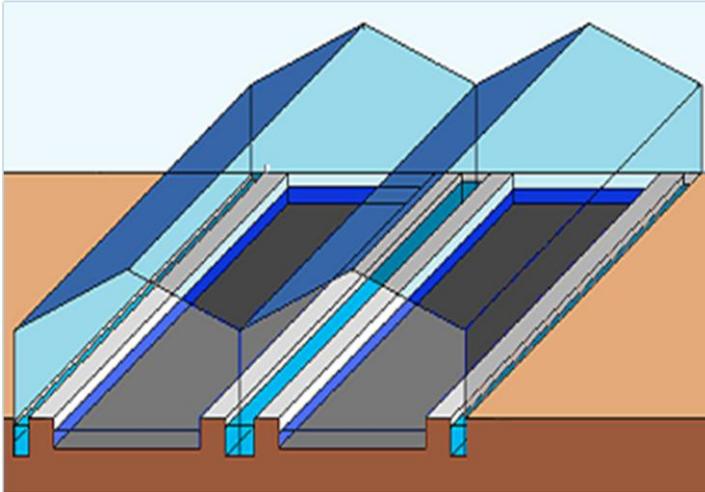
Fonte: Sítio Solar (2011)

Figura 11 - Destilador Solar Tipo Invernadeiro de Abóboda



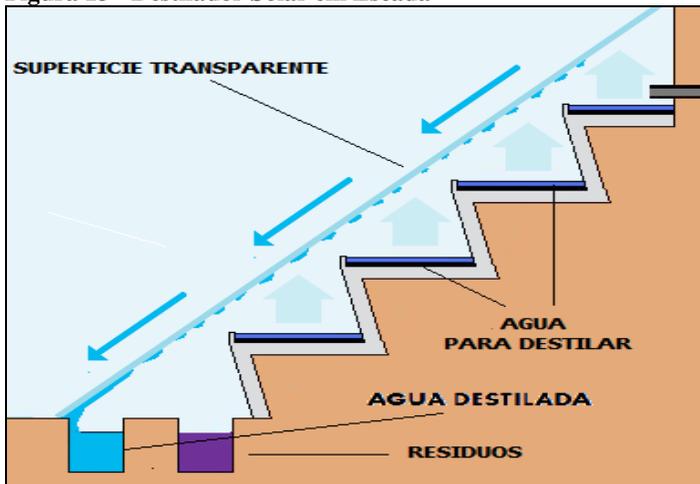
Fonte: Sítio Solar (2011)

Figura 12 - Destilador Solar Tipo Invernadero



Fonte: Sítio Solar (2011)

Figura 13 - Destilador Solar em Escada



Fonte: Sítio Solar (2011)

2.2.3. Caracterização do Fenômeno

A caracterização do fenômeno do presente trabalho inicia antes dos anos 90, quando foram encontrados autores que contribuíram com a pesquisa ora empreendida, subsidiando informações pertinentes às variáveis que implicam a quantidade e a qualidade de água potabilizada, a partir da destilação solar.

De acordo com Tiwari e Tiwari (2008), destiladores solares são encontrados com diversas configurações, podendo ser classificados como destiladores ativos e passivos. A diferença entre eles está na energia externa adicionada. No destilador ativo, a energia do sistema é proveniente de um coletor solar ou térmico, externo ao sistema, que permite uma variação maior de temperatura, atuando diretamente na lâmina d'água da bandeja. No destilador passivo, a energia solar direta atua sobre o destilador, o que inclui a destilação noturna.

Gomella (1973) remete aos destiladores de pequeno porte, argumentando que deverão atender, com água potável, indivíduos isolados ou pequenos grupos humanos, em lugares como estações telefônicas, radiofônicas, meteorológica e outros específicos. Estas necessidades se limitam de 3 a 15 litros por pessoa/dia.

Os destiladores solares utilizados são do tipo invernáculo com cobertura horizontal, também chamado destiladores de teto (*roof type solar stills*) ou caixas quentes (*hot boxes*), e as do tipo invernáculo com pavio umedecido por salobra ou com cubeta em escada, também chamado de destiladores inclinados (*tilted solar stills*) ou destiladores de superfície molhada (*stills with soaked surface*). (GOMELLA, 1973)

Os dados obtidos nos trabalhos de Gomella (1973) apontam 6 litros/m²/dia em média anual, nos países em que o valor de insolação horizontal média anual alcança 5.500 Kcal/m².dia . No inverno, o rendimento diminui, conforme registros, e o cuidado deve concentrar-se na inclinação dos raios solares, que aumentam e perdem-se por reflexão, sendo a duração mais curta de insolação diária. Ele constata uma perda de 50% a 60% quando “aumenta o valor relativo das calorias perdidas no curso do ‘regime excepcional’ prático do rendimento dos destiladores solares”.

Cometta (1977) conclui que, além dos destiladores solares apresentarem vantagens para produzir água potável , quanto maior a insolação, maior a sua produção; supondo radiação diária média de 5.000 Kcal/m² por dia, serão necessários para a destilação da água, aproximadamente, 600 Kcal/Kg. Afirma que: “um destilador com superfície de 1m² poderia fornecer, teoricamente, cerca de 8 litros de água destilada por dia”. Vai mais além, comentando que um bom destilador pode fornecer aproximadamente 4 litros de água destilada por dia, em um metro quadrado de superfície (L/m². dia), com o rendimento de 50%.

Segundo Malik et. al. (1982), para obtenção de uma melhor eficiência em destiladores solares é necessário que a água bruta seja aquecida ao máximo e que a lâmina d’água seja pequena. A absorção de energia solar pelo vidro deve ser mínima, e as perdas de calor pelo fundo e as paredes externas devem ser minimizadas para que a água condensada possa ser removida rapidamente para não dissipar o calor.

Al-Ismaily e Probert (1990) apresentam uma pesquisa em que o ângulo de inclinação médio ideal para cada mês oscila entre -8.89° e +49.91° para com a horizontal. O sinal negativo indica que a cobertura é voltada para o norte. Durante os meses de maio, junho e julho, nesta latitude, a inclinação para o sul não é recomendada para o aproveitamento maior da insolação. No entanto, indica que a média ideal para o ano, na Ilha de Masirah em Omã, é de 20.63°, voltada para o sul. Essa posição

é aceitável para garantir uma alta taxa de aproveitamento de insolação e facilitar a drenagem do condensado, como segue:

Para Masirah, prevê-se que entre 1,99 e 2,51 kg/m².dia de destilado pode ser produzido pelo sistema se a inclinação da cobertura é ajustada mensalmente para seu valor médio ideal, entre 1,73 e 2,49 Kg/m²/dia, se a tampa está fixada na inclinação média ideal para o ano. Estas previsões correspondem bem com a produção de água potável a partir de dados de outras partes do mundo. (AL-ISMAILY & PROBERT, 1990)

Outras contribuições partem das plantas de trabalho com destilação, até o ano de 1992, conforme Tabela 14.

Tabela 14 - Plantas destilação até 1990

País	Localização	Projeto	Capacidade	Referência	Ano
Haiti	Grande Salina	Inclinação única	400	Lawand and Alward (1985)	1984
Índia	Golfo de Kutch	Simétrico	130	Gomkala	1968
	Awania	Simétrico	5.000		1977
	Bhaleri	Simétrico	8.000		1979
	Lakshadweep	Simétrico	2.000		1983
	Deli	Simétrico	150		1985
Israel	Sade Boger	Inclinação única	125 (55m ²)	Kudish (1991)	1984
México	ITPL		80	Fernandez and Chargoy (1990)	1987
Papua e Nova Guiné	Porto Morsby	Dupla vertente	25	Lawrence and Tiwari	1987
Arábia Saudita	Jeddah	Simétrico	50.000	Madani and Zaki (1989)	1989
Tailândia	Bangkok	Inclinação única	90	KMITT REPORT (1984)	1984

Fonte: Tiwari, (1992) In: Tiwari & Tiwari (2008)

Duffie e Beckman (1991) afirmam que bacias podem ter profundidades entre 10 e 20 mm, chamadas bacias rasas. As com 100 mm, ou mais, são denominadas bacias profundas com larguras entre 1 e 2 metros e, comprimentos até 100 metros aproximadamente.

Sartori (1996) aponta uma diferença entre a temperatura da água bruta na bandeja e a temperatura no vidro da cobertura, sendo esta última menor. Observa que a radiação absorvida pelo vidro vai emissivamente para água, o que produz o efeito estufa. Outra observação é o fenômeno de resfriamento da cobertura de vidro pelos ventos.

Ghoneyem e Ileri (1997), em seus experimentos, afirmam que um destilador solar com cobertura de vidro de espessura com 3 mm poderia agregar um acréscimo de 16.5% na produção, em um comparativo com uma espessura de 6mm. Eles verificaram que a transferência de calor pela cobertura aumenta com a diminuição da espessura do vidro e com o aumento da condutividade térmica da mesma. O material mais utilizado e indicado para cobertura é o vidro, devido suas características para a eficiência do equipamento. Na Tabela 15, apresentam os valores das propriedades do vidro.

Tabela 15 - Propriedades Gerais do Vidro

Propriedades	Unidade	Valor
Massa Específica	ρ [kg/m ³]	3000
Calor Específico	C_p [J/kgK]	1.8
Condutibilidade Térmica	k [W/mK]	840
Emissividade	ϵ	0.9

Fonte: Ghoneyem & Ileri (1997)

O vidro está condicionado às suas propriedades ópticas que dependem de sua percentagem de óxido de ferro (Fe₂O₃) e o tratamento superficial aplicado, além do ângulo em que incide a radiação solar e as interferências da sujidade e condensação interior. Apresenta-se, na Tabela 16, as propriedades ópticas do vidro de transmissividade e absorvidade:

Tabela 16 – Propriedades ópticas do vidro

Tipo de Vidro	τ [%]	α [%]
Vidro comum	86	6
Vidro baixo teor de Fe_2O_3	94	1.8

Fonte: Ghoneyem & Ileri (1997)

Para Fuentes e Roth (1997), na destilação solar, a transferência de calor por convecção não é desejada no processo. Quando há uma diminuição da atmosfera interna, as transferências de calor por convecção e radiação tendem a zero. Quando, no entanto, a temperatura da água aproxima-se da saturação, a transferência de energia por evaporação tende a 1 (um). Neste caso, obtém-se maior rendimento na destilação solar.

A destilação solar é uma aplicação de energia solar bastante promissora, principalmente em regiões distantes dos centros urbanos e onde os custos das fontes convencionais são altos [...] já que o índice de radiação solar no nordeste brasileiro, particularmente no Estado da Paraíba, é de 5,2 KWh/m².dia (valor sem considerar as perdas térmicas). (FUENTES & ROTH, 1997).

Para Santoyo (2001), há uma relação da temperatura com a condensação dentro do sistema de destilação solar simples. Aponta as diferentes temperaturas correspondentes, uma em relação à pressão de vapor da água bruta, e outra em relação à água destilada que se obtém. Portanto, é de se esperar que as temperaturas de evaporação de água bruta e a condensação da água destilada sejam muito semelhantes, com características termodinâmicas que permitem a obtenção de valores elevados.

Rahim (2001) aponta que para bandejas menores em profundidade a capacidade térmica da água é menor, mesmo quando a temperatura da água é maior. Quando acontece este

fenômeno, a taxa de evaporação é elevada, aumentando a produção de destilado. Observa que isso não ocorre com as bacias profundas. Nas bacias rasas, a alteração da radiação solar afeta de imediato a mudança de temperatura da água, e essa, a produção. Afirma ainda que, para bacias rasas, a produção à noite diminui sensivelmente.

Bouчекima (2002) aponta um estudo com destilador, na Argélia, com temperaturas médias no verão em torno de 40°C, que atingiu na água a marca de 65 a 75°C. Observou que o aumento da produção de água destilada estava diretamente influenciado pela radiação solar e temperatura da água, inclusive no período da noite, onde ocorreu um resfriamento da água na base (bandeja) desse destilador.

Miller (2003) realizou estudos em simulação computacional com sistema solar para um dessalinizador de múltiplo efeito, cuja produção, em doze horas, alcançou 5,48 m³/h, entendendo que esta eficiência poderia suprir água doce para 56 famílias de baixa renda.

Para Gonzalez e Díaz (2003), “os rendimentos da destilação solar estão na faixa de 10 litros por metro quadrado (L/m²) de destilador solar, porque este sistema recomenda-se para comunidades pequenas, inclusive familiares”.

Há estudos, ao noroeste do México, com uma produção relativamente alta.

A tecnologia de destilação mais comumente usada é a solar com tipo de único efeito. Uma pequena bacia caracterizada por uma relativa massa térmica, ou seja, a bacia de água. (Aboabboud et al., 1996). Produções de água de single effect stills foram minuciosamente estudados e diversos projetos estão atualmente disponíveis nas regiões secas do Noroeste do México, onde o suprimento de água potável de alta qualidade é escasso e a opção solar é economicamente viável (Palacio e Fenandez, 1993). O padrão de capacidade de produção de água ainda é entre 0,005 e

0,011 m³/m².dia (5 e 11 litros/m².dia), dependendo de valores de isolamento. (MALIK, ET. AL., 1982 apud HANSON ET AL, 2003)

Al Hayek e Badran (2004) avaliaram a produtividade de um destilador solar assimétrico e outro simétrico em sua estrutura, com lâminas de água bruta medindo 1,5 cm, 3,0 cm e 4,0 cm. Observaram que a produção de água aumentou em relação à diminuição da lâmina de água, devido à radiação solar absorvida pela base (preta) da tecnologia.

Em Soares (2004), encontram-se informações de destiladores e potabilizadores (Tabela 17), conforme diversos autores. Os dados sobre inclinação e tipo de cobertura, produção de água em (L/m².d), regiões e outras observações, agregam a este trabalho informações significativas para o avanço desta pesquisa.1

Tabela 17 - Informações sobre destiladores solares

Autor	Ano	Inclinação da Cobertura (°C)	Tipo de Cobertura	Produção (L/m ² .d)	Local	Observação
Ribeiro e Nunes	1983		Uma água (tipo telhado)	3,4 a 5,2	Fortaleza	Inclinação não registrada
Torres	1984	10	Uma água (tipo telhado)	4,1	Paraíba	
STEC	1984	10	Uma água (tipo telhado)	5,0	Recife	
Garcias	1985	20	Uma água (tipo telhado)		Paraná	Produção não registrada
Hamed et.al.	1993		Uma água (tipo telhado)	2,8		Inclinação e local estudado não registrado
Elkader	1998	35	½ água	5,6	Egito	
Akash et. al.	1998	35	Uma água (tipo telhado)	2,1	Jordânia	
Senen	2000	45	Pirâmide	3,5	Fpolis Brasil	
Soares	2001	45	Pirâmide	1,3	Fpolis Brasil	Ocorrência de reevaporação na calha coletora de água destilada e fuga de vapor na mesma
Boukar et. al.	2001	10	Uma água (tipo telhado)	4,0	Deserto do Saara	
Cappelletti	2002	45	Uma água (tipo telhado)	1,8	Itália	
Cerda et. al.	2002	45	Uma água (tipo telhado)	- x -	México	Produção em Kg/hora e em gráficos

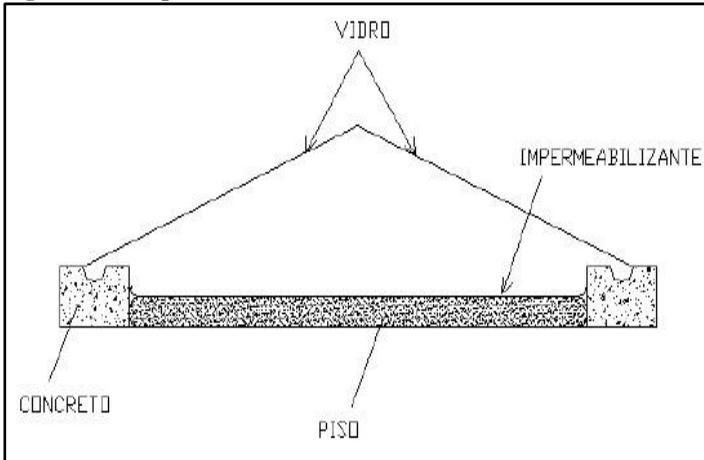
Fonte: Soares (2004)

* Fpolis é a abreviatura de Florianópolis

Singh e G. N. Tiwari (2004) argumentam que, para um rendimento máximo, a inclinação da cobertura corresponderá em relação à latitude do lugar onde esta é instalada para garantir raios solares normais naquela superfície durante o ano. Também a cobertura deverá ter um declive que não deixe a queda de água condensada retornar novamente na bacia, quando esta flui por gravidade para os reservatórios, o que poderá influenciar na inclinação ideal da cobertura.

Vaz de Piña (2004) afirma que são muitas as variações de configurações de destiladores convencionais pelo mundo Figura 14. Diferem em relação ao material utilizado e geralmente consistem em uma cobertura transparente, inclinada até as bordas ou centro para que a água, que se condensa na superfície interior, escorra por gravidade, chegando à canaleta e esta ao reservatório.

Nesse trabalho dar-se-á preferência pelo uso da cobertura de vidro por dois motivos. Segundo LUIZ (1985) o efeito estufa produzido pelo vidro é mais intenso do que o efeito estufa produzido pelo plástico e, além disso, quando o vapor se condensa sobre a superfície do vidro forma-se uma película contínua de água, ao passo que a condensação do vapor sobre o plástico produz gotas d'água que podem apresentar perdas de produção no gotejamento direto do destilado no tanque de água salgada [...] o uso do vidro é mais eficiente porque a água escorre através da película contínua formada sobre o vidro até ser recolhida nas canaletas. O tanque raso é à base do destilador. Poderá ser confeccionado em fibra de vidro, concreto, plástico e material metálico. O importante é a coloração preta e isolamento térmico. Será utilizado silicone como material para vedação entre os cantos dos vidros e o tanque. (Vaz de Piña, 2004)

Figura 14 - Esquema do destilador solar convencional em corte

Fonte: Vaz De Piña (2004)

Soares (2004) afirma que para uma produção de 8 Litros/dia, seriam necessários 2 m^2 ($1,42\text{m} \times 1,42\text{m}$) de lâmina d'água, na bandeja, para atender uma família com 4 pessoas.

Fonseca (2005), em pesquisa no Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES), estudou um protótipo de destilador solar tipo caseta (duas águas), para produção de água destilada no uso de transporte a motor e baterias. Sua estrutura era composta com fibra de vidro. Nesta pesquisa, mediu a radiação solar e a produtividade horária e diária, que alcançou média de $2,2 \text{ l/m}^2.\text{d}$. Houve análises químicas para a qualidade da água destilada, as quais foram comparadas com a Norma Cubana de Água. Relata que há diversos tipos de destiladores solares, “entre eles destacam-se os que utilizam o efeito invernadeiro por ser este um dos procedimentos mais sensíveis e econômicos de obtenção de água destilada”.

Ao efetuar as análises, das provas de laboratório realizadas com água destilada no destilador de fibra de vidro, e comparadas com os valores estabelecidos na água para análise, se observa que a condutividade, na maioria dos casos se encontra dentro dos limites estabelecidos, menos que 10 ($\mu\text{s}/\text{cm}$); o pH em todos os casos cumpre com a norma estabelecida (entre 5,4 e 7), o resíduo por evaporação apresenta valores superiores aos requeridos, eles podem estar dado pela falta de hermeticidade entre a mangueira que conecta o canal de saída de água destilada do destilador com a canaleta de coleta, e como o equipamento trabalha com a intempérie, é muito fácil que não está hermeticamente fechado penetre pó ou outras partículas que podem produzir estes valores. De tudo analisado se conclue que esta água pode ser utilizada em baterias em geral, no transporte automotor, em base de caminhões e oficinas. (FONSECA, 2005)

Conclui Fonseca (2005) que, do ponto de vista técnico-econômico, o protótipo serve como modelo inicial para as pesquisas, o que é viável para prática social.

Aybar, Egelioglu, Atikol (2005) experimentaram, ao norte de Chipre, na Turquia, um sistema de destilador solar inclinado (ISWD) que gera água destilada e água quente. Os estudos apontaram uma produção de 3,5 a 5,4 Kg (por m^2 de área absorvida na placa) das 9h até às 19h. A temperatura da água atingiu 60°C e a temperatura média da água atingiu 40°C , concluindo que é suficiente para uso doméstico. Foram utilizadas dois tipos de mechas pretas, uma espécie de pano preto liso e outro de lã, no comprimento de 2 cm. O sistema foi testado quatro vezes no período das 9h às 16h, entre os dias 17 e

30 de maio de 2004. As temperaturas foram de 25 e 26°C e os dados meteorológicos mostraram a intensidade média solar entre 400 a 500 W/m². Os testes para chapa nua mostram a taxa de fluxo de massa sobre a geração de água doce. Quando a distribuição é em igualdade pelos dois panos, produz mais água. Os resultados foram afetados pela transferência de calor da superfície, as condições ambientais, além da intensidade solar, temperatura ambiente e vento.

Um sistema similar foi testado pelo RSD Rosendahl System, e eles relatam que a geração de água doce é entre 2-8 kg / d. Neste estudo, os testes foram realizados por 7 h. Se considerarmos o tempo de dias de sol a sol, durante o dia, irá aumentar para 10, até 12 h para um dia no verão em condições no norte de Chipre. (AYBAR; EGELIOFGLU; ATIKOL, 2005)

Segue Tabela 18 apresentando a relação entre a incidência solar, taxa de condensação e temperatura de saída da água destilada e a taxa de fluxo de massa.

Tabela 18 - Efeitos da intensidade solar

mW, in	7,2 Kg/h		5,4 Kg/h		3,6 Kg/h	
SI (W/m²)	m	Tw (°C)	m	Tw (°C)	m	Tw (°C)
200	0,1503	34.41	0.1583	34,41	0.1672	35.09
300	0,2216	37.12	0.2339	38.00	0.2480	39.05
400	0,2939	40.33	0.3112	41.47	0.3311	42.82
500	0,3683	43.41	0.3910	44.77	0.4172	46.35
600	0,4451	46.36	0.4735	47.90	0.5062	49.68
700	0.5242	49.19	0.5584	50.89	0.5972	52.85

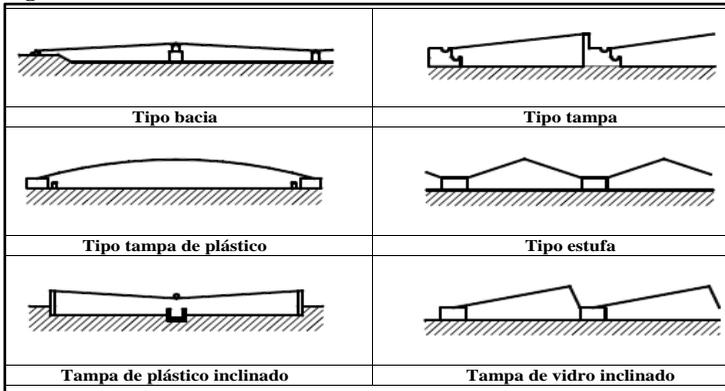
Fonte: Adaptado de Aybar; Egelioglu; Atikol, (2005)

Para Kalogirou (2005), entre os métodos convencionais para dessalinizar água salobra ou água do mar, é a destilação solar a tecnologia mais simples que pode ser operada por trabalhadores não-qualificados, devido à baixa necessidade de manutenção. Um exemplo comum é um sistema de coleta direta solar convencional, em que numa bacia é colocado água do mar, que se utiliza do efeito estufa para evaporar a água salgada. Os raios do sol passam pelo telhado de vidro e são absorvidos pelo fundo enegrecido da bacia. Como a água é aquecida, sua pressão de vapor é aumentada. O resultado do vapor d'água é condensado no interior do telhado, essa água escorre para o reservatório e fica disponível a água destilada. Por fim, aponta problemas nos destiladores solares como: design, vapor de salmoura, vazamento de destilado, métodos de isolamento térmico e cobertura com material em forma de declive. Complementa que:

A eficiência ainda é definida como a relação da energia utilizada na evaporação da água e a energia solar incidente no vidro, sendo de 35% (máximo) e diariamente ainda a produção é de cerca de 3 a 4 L/m². Talbert et al., deu uma excelente revisão histórica de destilação solar. Delyannis e Delyannis revisaram as principais plantas de destilação solar ao redor do mundo. Este revisão também incluiu o trabalho de Delyannis, Delyannis e Piperoglou, e Delyannis e Delyannis. Malik et al. revisaram o trabalho sobre energia solar passiva sistema de destilação até 1982 e esta foi atualizada até 1992 por Tiwari, que também incluiu a destilação solar ativa. (KALOGIROU, 2005).

Kalogirou (2005) apresenta os seguintes modelos “*Solar Still*” para dessalinização (Figura 15):

Figura 15 - Modelos Destiladores Solares



Fonte: Kalogirou, (2005)

Galvez (2006) apresenta sistemas de destilação solar, os quais são encontrados na literatura como “*Solar Still*”, que significa um processo de destilação solar de água em pequena escala, como os Coletores Dessalinizadores Compactos – CDC.

Uma baixa produção de destilado por unidade de superfície (entre 1 e 4 litros de água por cada metro quadrado de superfície de estanque e dia [...] os Coletores Dessalinizadores Compactos – CDC típico, podemos observar os mesmos elementos constituintes de um *solar still*: cobertura transparente, depósito de água salina, canaleta para coleta do destilado, etc. Estes sistemas apresentam a vantagem de um reduzido tamanho, o que converte em sistemas dessalinizadores ao alcance de qualquer pessoa que deseje dispor de uma pequena quantidade de água destilada. (GALVEZ, 2006).

Galvez (2006) apresenta também o destilador tipo escada que conta com dois processos, evaporação e condensação, de tal forma que o vapor produzido não condense sobre a cobertura transparente. Nesta situação, consegue-se um aumento na eficiência, pois evita-se a formação de gotas de condensado na cobertura transparente, melhorando assim a penetração de radiação solar incidente e diminuindo perdas térmicas.

Qiblawey e Banat (2006) argumentam que a dessalinização solar direta é a mais adequada para pequena produção em regiões em que a demanda de água doce é inferior a 200 m³/dia. Refere que a qualidade do destilado é muito alta, porque separa todos os sais orgânicos e inorgânicos, matando bactérias patogênicas. Para evaporar 1 kg de água, a uma temperatura de 30°C, necessita-se de $2,4 \times 10^6$ J de energia. Considerando uma insolação média de 250 W/m² em 24 horas, poderia evaporar 9 L/m².dia . Porém, na prática, as perdas de calor afetarão o rendimento diário, podendo esperar uma produção de 4 a 5 L/m².dia . Sobre a cobertura, pode ser de vidro ou plástico. O material *glass* (vidro) é considerado melhor em longo prazo, enquanto o plástico, como o polietileno, para curto prazo. Finaliza que:

A quantidade diária de água potável necessária para seres humanos varia entre 2 e 8 L por pessoa. A exigência típica para água destilada é de 5 L por pessoa por dia. Portanto, 2 m² de área ainda são necessários para cada pessoa servida (QIBLAWEY & BANAT, 2006/2007).

Díaz (2007) utilizou um DTS (Destilador Tubular Solar) e CSP (Concentrador Solar Parabólico) com calhas de acrílico com 6 (seis) polegadas de diâmetro e um destilador, utilizando área de escada convencional pintada com a cor preta. A alimentação foi água artificial com sal, na concentração 5 a 12 g/litros, e levado a um aquecedor solar operado por 121 dias. Os

parâmetros avaliados foram a condutividade, salinidade (%), sólidos totais dissolvidos, pH, volume do destilado de salmoura e de intensidade solar. Após 60 dias, a maior produção obtida com destilação convencional foi de 5,6 L/m².dia , sem pré-aquecimento e com pré-aquecimento (CPC) 2,96 L/m².dia . Ambos os destiladores teriam custo elevado, quando agregados os reatores solares (CPC), e necessitam de estudos com outros materiais.

A. K. Tiwari e G. N. Tiwari (2008) finalizam seu trabalho afirmando que o melhor rendimento da destilação solar passiva está relacionado com a profundidade mínima da bandeja (bacia), onde a eficiência diminuiu com o aumento da profundidade.

A profundidade da bacia é um parâmetro importante na produção em destiladores solares. A. K. Tiwari & G. N. Tiwari (2006 e, 2008); Tripathi & G. N. Tiwari (2006); G. N Tiwari, Dimri e Chel (2009), demonstraram que a profundidade da bacia é inversamente proporcional à produção da unidade.

Costa (2008) em sua pesquisa, afirma que o ideal é a construção de destiladores de pequeno porte, pois desta forma garante a produtividade, além de facilitar as operações, manutenções, limpeza e o transporte do equipamento. Sugere, também, a construção de módulos por serem mais fáceis de adicionar e subtrair em conjunto, caso necessite de interrupção do processo. Alega, ainda, que por serem menores, possuem uma maior eficiência por área.

Os tamanhos mais comuns desses equipamentos variam entre 0,50 m a 2,50 m de largura e têm comprimento de até 100 m, podendo perfazer uma área superior a 60 m². [...] Os mais usuais podem ter 0,65 m a 0,90 m de largura por comprimento na faixa de 2 m ou 3 m. A profundidade da água em geral, varia entre 1,5 cm e 2,5 cm. Nesta faixa, conforme Al-Hayek, obtém-se melhor eficiência de calor. Observa-se que

dentre destiladores de mesma largura, mas com profundidades diferentes, o de menos profundidade tem maior eficiência. O aumento da lâmina de água indicado por τ , por vezes pode dificultar a produtividade de um destilador. Ao iniciar um processo de destilação deve-se recorrer a dados experimentais anteriores para definir qual lâmina de água deve ser usada em cada tipo de destilador solar e em cada região. A distância entre o vidro e a superfície da água não deve ser maior que 5 cm ou 6 cm, de modo que o destilador opere com maior eficiência. A medida que a distância entre o vidro e a água aumenta, as perdas térmicas por convecção também aumentam e a eficiência do destilador diminui (COSTA, 2008).

O autor, em seus estudos, também avança sobre os ângulos de inclinação adequados, onde:

O ângulo de inclinação da cobertura de vidro tem influência na quantidade de radiação solar que entra no destilador. Quanto mais ortogonal à superfície do vidro for esse ângulo de incidência, melhor. Se para ângulos de incidência de 90° cerca de 90% da radiação é transmitida, para ângulos de 20° quase nenhuma radiação direta atravessa o vidro. Mas como as latitudes brasileiras vão de 0° a cerca de 35° , esse problema é minimizado. Não é necessário haver uma inclinação muito grande do vidro para que a água escorra por ele (COSTA, 2008).

Sá (2008) destaca a importância da cobertura do destilador, que deve propiciar a condensação em forma de gotículas escoando para a caneleira. Este efeito está associado à diminuição da molhabilidade do vidro. Afirma ainda que “as gotas funcionam como espelhos que refletem a radiação e podem gotejar dentro da cuba”.

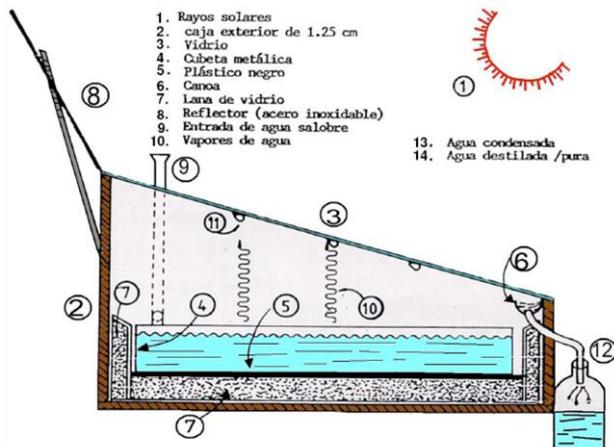
Murugavel, Chockalingam e Srithar (2008), em seus estudos, concluíram que para baixas latitudes, as unidades de dupla inclinação (*double slope*) são mais eficientes. Já para latitudes superiores a 20° deve-se utilizar destiladores com uma inclinação (*single slope*). Para as unidades de dupla inclinação, as localidades de latitude elevada, apenas um lado da cobertura estará exposto à radiação solar, e para unidades de uma única inclinação, devem ser direcionadas para coordenada Sul, quando localizadas ao Norte do equador e, o contrário, quando direcionadas para o Norte, quando estas localizadas a Sul do equador.

Murugavel, Chockalingam e Srithar (2008) afirmam que cerca de 11% da radiação recebida pela bacia são refletidas sem serem aproveitadas. Para melhorar esta percentagem, adotaram algumas técnicas, sendo a mais eficaz adicionar corantes à água. Outra relacionada à bacia para o aumento da taxa de evaporação é a inserção de uma placa para separar a camada superior de água da camada inferior.

Tiwari (2008), em seu livro “Prática de destilação solar para sistemas de dessalinização” aponta que o processo convencional de destilação solar elimina efetivamente todos os agentes transmitidos pela água, como do mar e metais pesados, trazendo benefícios imediatos na redução de problemas de saúde associados a doenças transmitidas pela água. Além disso, é mais econômico do que outros processos de destilação, devido aos seguintes pontos: a) custo grátis de energia e disponibilidade; b) custos operacionais reduzidos; c) simplicidade no design e; d) não é necessário mão-de-obra especializada para construção e manutenção.

O modelo de destilador solar foi apresentado no Seminário Oficina: Las Aplicaciones Practicas de La Energia Solar (Figura 16 e Figura 17).

Figura 16 - Esquema Destilador Solar



Fonte: Nandwani (2009).

Figura 17 - Destilador Solar



Fonte: Nandwani (2009)

Nandwani (2009) apresenta resultados de sua pesquisa entre 1984 e 1988. Resume a produção do destilador de 3 a 5 litros/m².d, incluindo a água condensada durante a noite, Figura 19. O destilador possuía uma dimensão de 1,1 m² e cobertura de vidro. Foram efetuadas coletas diárias, entre 6 de janeiro e 15 de fevereiro de 1986, no período das 7h às 17h. O processo durou aproximadamente 9 dias, com uma produção de 20.8 litros de água destilada. O experimento foi repetido com o esfriamento da cobertura artificialmente (gotejamento de água no vidro), a fim de acelerar o processo de condensação, portanto a destilação. Outro teste, efetuou-se durante os dias 10 a 17 de março, entre as 7h e 12h do ano de 1986. Em sete dias houve uma produção de 20.2 litros de água destilada. Aponta ainda que se possa coletar, na cobertura do destilador, a água da chuva na maioria dos casos. Finaliza que a quantidade de água destilada depende de alguns fatores como: tipo de cobertura (plástico ou vidro), quantidade de água, radiação solar, temperatura e umidade do ambiente e velocidade do vento, dentre outros.

A Tabela 19, conforme Delyannis e Delyannis (1973), apud Tiwari e Tiwari (2008) e Nandwani (2009), aponta algumas plantas potabilizadoras com energia solar, conforme as seguintes cidades e seus países, ano, área, alimentação e cobertura:

Tabela 19 – Plantas potabilizadoras com energia solar

País	Lugar	Ano	Área(m ²)	Alimentação	Cobertura	Comentários
Austrália	Muresk I	1963	372	Salobra	Vidro	Reconstruído
	Muresk II	1966	372			Operando
	Cooper Pedy	1966	3.160		Vidro	Operando
	Caiguma	1966	372			Operando
	Hamelin Pool	1966	557			Operando
	Griffith	1967	413			Operando
Ilha de Cabo Verde	Santa Maria	1965	743	Água do mar		Abandonado
	Santa Maria	1968				
Chile	Las Salinas	1872	4.460	Salobra	Vidro	Abandonado
	Quillagua	1968	100	Água do mar	Vidro	Operando
Grécia	Symi I	1964	2.686	Água do mar	Plástico	Reconstruído
	Syme II	1968	2.600	Água do mar		Desmontado
	Aegina I	1965	1.490	Água do mar		Reconstruído
	Aegina II	1968	1.486	Água do mar		Abandonado
	Salamis	1965	388	Água do mar		Abandonado
	Patmos	1967	8.600	Água do mar	Vidro	Operando
	Kimolos	1968	2.508	Água do mar		Operando
	Nisyros	1969	2.005	Água do mar		Operando
	Fiskardo	1971	2.200	Água do mar		Operando
	Kionion	1971	2.400	Água do mar		Operando
Índia	Megisti	1973	2.528	Água do mar		Operando
	Bhavnagar (m)	1965	377	Água do mar	Vidro	Operando
	Kulmis (m)	1980	3.000 l/d		Vidro	Operando
México	Natividad, Is	1969	95	Água do mar	Vidro	Operando
Paquistão	Gwadar-I (m)	1969	306	Água do mar	Vidro	Operando
	Gwadar (m) Nandwani (2009)	1972	9.072	Água do mar	Vidro	Operando
	Gwadar (m) Deluannis (2009)	1969	9.072	Água do mar	Vidro	Operando
Espanha	Las Marinas	1966	868	Água do mar	Vidro	Operando
Tunísia	Chakmou	1967	440	Salobra	Vidro	Operando
	Mahdia (s)	1968	1300	Salobra	Vidro	Operando

EEUU	Daytona Beach	1959	228	Água do mar	Vidro	Reconstruído
	Daytona Beach	1961	246	Água do mar	Vidro	Desmontado
	Daytona Beach	1961	216	Água do mar	Plástico	Desmontado
	Daytona Beach	1963	148	Água do mar	Plástico	Desmontado
URSS (CEL)	Bakharden	1969	600	Salobra	Vidro	Operando
West Indies	Potit	1967	1.710	Água do mar	Plástico	Operando
	St.Vicent Haiti	1969	223	Água do mar	Vidro	Operando
Índia	Bitran	1980	-	Salobra	Vidro	Operando
	Awania (m)	1978	1.866	Salobra	Vidro	Operando
China	Wuzhi (m)	1976	385	Água do mar	Vidro	Operando
	Zhungjian	1979	50	Água do mar	Vidro	Operando

Fonte: Delyannis & Delyannis (1973) *apud* Tiwari & Tiwari (2008), Nandwani (2009)

Em Benito *et.al.* (2010) encontram-se resultados de um projeto de transferência de tecnologia do PNUD, para resolver o abastecimento de água de uma pequena comunidade, chamada Sequeiro Lavalle. O autor utilizou destilação por energia solar para eliminar altas concentrações de sais dissolvidos e arsênio, entre outros, no qual revelou adequação para atender os objetivos propostos, não apenas química, mas também bacteriológica, alcançando uma transferência eficaz.

O processo de produção de água fresca na natureza é uma destilação solar de grande escala. As características essenciais deste processo são: produção de vapor sobre a superfície de lagos, rios e mares, seu transporte por ventos. O resfriamento da mescla de ar-vapor, a condensação e posterior precipitação em forma de chuva. Em pequena escala, este processo é replicado em um destilador solar simples. Em comunidades rêmoras e isoladas, onde a demanda de água potável por unidade familiar é pequena, a instalação de aquedutos não resulta economicidade, e o aprovisionamento através

de caminhões e custoso e pouco confiável, e os outros tipos de potabilizadores requerem custos de inversão muito elevados. Por antes exposto e conhecendo que a disponibilidade de radiação solar é alta, se considera a destilação solar [De Paul 1996; De Paul 2000; De Paul 2001; G.N. Tiwari et. al. 2003] como a tecnologia de ponta de uso mais adequado e acessível para assegurar uma provisão regular de água para consumo humano. (BENITO *et. al.*, 2000).

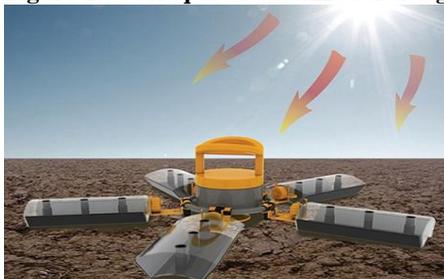
Atualmente, há diversidade de modelos de destiladores solares modernos disponíveis no mercado (Figura 18, Figura 19, Figura 20, Figura 21 e Figura 22).

Figura 18 - Solar Ball



Fonte: Heimbuch (2011)

Figura 19 - Solaqua - Potabilizador de água a energia solar



Fonte: Ecofryend (2011)

Figura 20 - SeaKettle – bote e dessanilizador



Fonte: Seafever (2011)

Figura 21 - Water Cone – dessanilizador de água



Fonte: Mage (2011)

Figura 22 - Water Cone – dessanilizador de água.



Fonte: Mage (2011)

2.2.3.1. Espectometria

O Sol é a principal fonte de energia que chega à terra. Correa (2013) afirma que “a radiação emitida pelo Sol, assim como toda radiação eletromagnética, viaja à velocidade da luz, isto é, aproximadamente, 300.000 km/s”. Assim pode-se estabelecer a relação entre a velocidade da luz ($v [m/s]$), o comprimento de onda ($\lambda [m]$) e a frequência da onda ($f [Hz]$) dada pela Eq.(1):

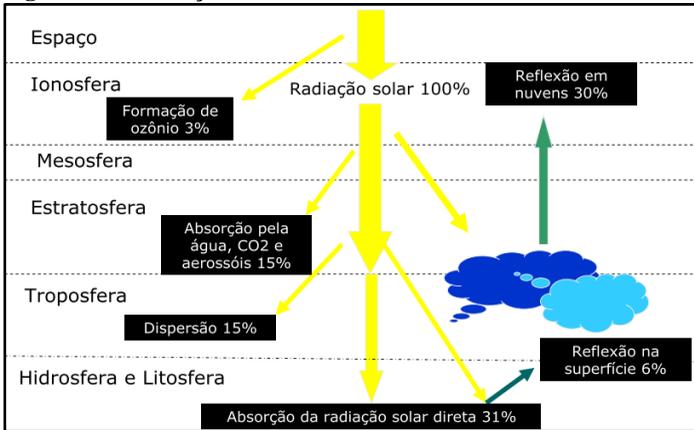
$$V = \lambda \cdot f \quad (1)$$

Um dos mecanismos responsáveis pela transferência de calor em processos de sistema de destilação recebendo energia é radiação solar. Segundo Ayoade (1986), o sol emite para o espaço uma grande quantidade de energia radiante, proveniente de reações de sua própria superfície. Aí se dá a fonte primária de energia dos processos termodinâmicos que ocorrem na superfície da terra. Continua Ayoade que:

Com sua esfera de raio 697.000 km, a energia interceptada pela terra corresponde a uma parcela insignificante, porém responsável por um total de 99,97% no orbe terrestre – 21% diretamente, 29% difundida pelas nuvens e atinge a terra indiretamente, 31% refletida por poeiras e partículas na atmosfera e 19% absorvida pelas nuvens e atmosfera. É responsável pelas dinâmicas das principais funções físicas, biológicas e químicas dos sistemas e subsistemas, circulação geral da atmosfera, mantendo o ciclo hidrológico. A proporção de irradiação é de 56×10^2 calorías de energia por minuto, interceptando a terra apenas $2,55 \times 10^4$ calorías, o suficiente para suprir o mundo 30 mil vezes durante um ano (AYOADE, 1986).

Pode-se ainda observar na Figura 23, Sentelhas e Angelocci (2009) sobre as camadas da atmosfera e sua relação com a Radiação Solar.

Figura 23 - Radiação solar na atmosfera terrestre



Fonte: Sentelhas e Angelocci, 2009.

Mesquita (2010) reitera que o movimento elíptico da terra em torno do Sol com duração aproximada de 365 dias é conhecido como translação, o raio deste movimento e o centro de referência da rotação são alterados constantemente, isso implica a quantidade de radiação recebida pela terra. Quando mais próximo do Sol, é Periélio, recebe mais energia e, mais afastado, menos intensidade de energia, é denominado Afélio.

A latitude também influencia diretamente na quantidade de radiação que chega a superfície terrestre, pois o eixo terrestre possui inclinação média de 23°; tal característica, de acordo com o período do ano, faz com que um hemisfério seja mais "iluminado", ou seja, receba maior radiação que o outro, assim, as estações do ano, tanto as principais como verão e inverno, como as transitórias como outono

e primavera, são alternadas em cada hemisfério, portanto, a Terra possui balanço de radiação diferente durante os períodos sazonais das estações do ano. Já a altitude do Sol, aqui entendida como a relação angular entre o raio incidente e a tangente formada num determinado ponto da superfície terrestre, também afeta na quantidade de radiação solar incidente sobre a Terra, pois quanto menor for o ângulo da tangente formada em relação a superfície, menor será a absorção e maior o albedo, ou seja, capacidade de reflexão de energia proveniente do raio solar pela superfície, da mesma forma quanto maior for o ângulo formado, mais intensa será a absorção do raio incidente e menor será a sua reflexão. Logo, durante as primeiras horas da manhã e no entardecer o Sol forma os menores ângulos em relação à superfície terrestre o que ocasiona menor absorção de energia e maior processo de reflexão, com a evolução do dia o Sol chega ao seu ponto máximo de altitude ao meio-dia formando ângulos grandes e retos na tangente à superfície, nesse caso a absorção de energia será maior enquanto a reflexão será negligenciada (MESQUITA, 2010).

As superfícies da terra também afetam a distribuição da radiação solar, especialmente em microescala, pois quando próximo ao nível do mar, há uma massa da atmosfera sobreposta à água. Já em altitudes elevadas, o volume de massa sobre um ponto da superfície é menor, atenuando a radiação solar. Conforme Ayoade (1986), “a radiação líquida é a soma da radiação solar direta ou difusa incidente sobre a superfície da Terra”. Portanto:

A radiação líquida é a energia efetiva que chega a superfície, ou seja, é desconsiderada a atenuação sofrida na atmosfera como a absorção seletiva dos compostos atmosféricos, bem como, a absorção pelas nuvens e a difusão ascendente, que é o espalhamento do raio solar por difusão em direção ao espaço [...]. O balanço de radiação, fundamental para o entendimento do comportamento térmico global, resultado este diretamente ligado aos mecanismos térmicos das diferentes regiões, pode variar de acordo com a latitude, principalmente com a distribuição das superfícies líquidas e terrestres, período do ano e dos fluxos de transferência de calor latente e sensível nas regiões continentais e terrestres do globo. No geral, tanto em áreas continentais como nas oceânicas os maiores valores de radiação líquida são encontrados nos trópicos principalmente pelo efeito da radiação solar nas regiões de baixa latitude, onde a posição da Terra em relação ao Sol, forma ângulos retos na tangente com a superfície terrestre, o que potencializa a absorção e diminui o albedo. Nas baixas latitudes os valores de radiação líquida sobre os oceanos são maiores do que nas superfícies continentais, pois o albedo é maior da superfície terrestre, devido a existência de grandes áreas desérticas e com poucas formações de nuvens, nos pólos a radiação líquida é negativa devido a grande quantidade de energia refletida pelo alto albedo das superfícies congeladas (AYOADE, 1986).

Duffie e Beckman (1991) afirmam que a radiação emitida pelo sol e sua relação com a terra resulta em uma intensidade de radiação solar fora da atmosfera terrestre. Assim, para a constante solar GSC, é a energia do sol, por unidade de tempo, recebida em uma área perpendicular à direção de propagação da radiação, numa distância Terra-Sol média, fora da atmosfera terrestre. O World Radiation Center (WRC) adotou o valor estimado em 1367 W/m^2 , com incerteza de 1 %.

Entretanto, na superfície da terra, diferente do topo da atmosfera, estima-se a radiação emitida, perpendicularmente a mesma, a partir da equação ($\pi.R^2$), sendo R o raio da circunferência da terra, chega-se a um valor de insolação aproximado de 342 W/m^2 , $\frac{1}{4}$ da constante solar.

Colle e Pereira (2008), no Atlas de Irradiação Solar do Brasil, apontam uma média anual típica para o Brasil em torno de 4550 a 4700 Wh/m^2 o que corresponde a 189 a 195 W/m^2 .

Segundo IDES-EDU (2013), a radiação deve ser considerada vinda de duas situações para o globo terrestre, sendo uma emitida pelo sol, diretamente, e outra sujeita a variações da distância entre o sol e a terra. A emissão de radiação se traduz por uma perda de calor, e sua recepção como um ganho.

A energia radiativa propaga-se através de ondas eletromagnéticas, caracterizadas pelo comprimento de onda λ ($\mu\text{m}=10^6 \text{ m}$ e nm) ou frequência ν em *Hertz* (*Hz*), ΔE é a energia absorvida em *J* (*Joules*), h é a constante de Plank (6.63×10^{-34}) dado em (*J.s*) e c é a velocidade da luz em *m/s*. Numa determinada banda de comprimento de onda, as radiações são ondas de calor (radiação térmica). O comprimento de onda é a frequência inversa, dada pela Lei de *Plank* onde a Eq.(2):

$$\Delta E = h \cdot \nu = h_c / \lambda \quad \nu = c / \lambda \quad (2)$$

Tubelis (1980) afirma que sua propagação pelo espaço se dá por ondas eletromagnéticas, com comprimentos específicos, sendo que sua distribuição espectral está na faixa de

comprimento de onda entre 0,22 e 4 microns, portanto, denominada de radiação solar de ondas curtas, ligada ao grupo da faixa ultravioleta, faixa visível e as infravermelhas, sendo irradiadas respectivamente na terra em 9%, 41% e 50%. Esta radiação, ao entrar na atmosfera, sofre processos de atenuação como: espalhamento pelas partículas em suspensão na atmosfera ou difusão; absorção seletiva pelo oxigênio, gás carbônico e ozônio; processo de absorção (pouca energia) e reflexão pelas nuvens que pode chegar a 90% dos raios solares.

A quantidade de energia irradiada e incidente no topo da atmosfera pode variar no decorrer do ano, sazonalmente ou diariamente, por intermédio de cinco fatores determinantes, sendo estes divididos em dois grupos, assim, no primeiro grupo tem-se o período do ano, a latitude e a altitude do Sol, e no segundo grupo a distribuição das superfícies líquidas e terrestres, bem como, a elevação e o aspecto das mesmas (AYOADE, 1986).

Duffie e Beckman (1991) afirmam que a radiação de ondas longas é originária de fontes de temperatura próxima à temperatura ambiente, e os comprimentos de onda, nesse caso, superiores a 3 μm . As radiações de ondas longas são emitidas pela atmosfera ou qualquer outro corpo.

Segundo Diffey (2002), tanto a qualidade (espectro) como a quantidade (intensidade) da radiação ultravioleta terrestre varia com a elevação do sol sobre o horizonte, ou altitude solar.

A altitude solar depende da hora do dia, do dia do ano e da localização geográfica (latitude e longitude) [...] em um dia de verão, UVB (quando tomada como 290-320 nm) constitui aproximadamente 6%

da radiação ultravioleta terrestre e UVA (quando tomada como 320 – 400 nm), constitui os 94% restantes. A UVB corresponde a 80% dos danos biológicos, enquanto a radiação UVA os demais 20% (DIFFEY, 2002).

Continua Carvalho, que a radiação ultravioleta, por ter comprimentos de ondas menores de 0,36 μm , por possuir energia elevada, tem poder biocida, parcialmente absorvida pelas folhas das plantas na fotossíntese, conhecida como radiação fotossinteticamente ativa (RFA); é a radiação infravermelha próxima (IVP), com comprimentos de ondas variando de 0,7 a 4,0 μm , utilizadas nos processos morfológicos das plantas.

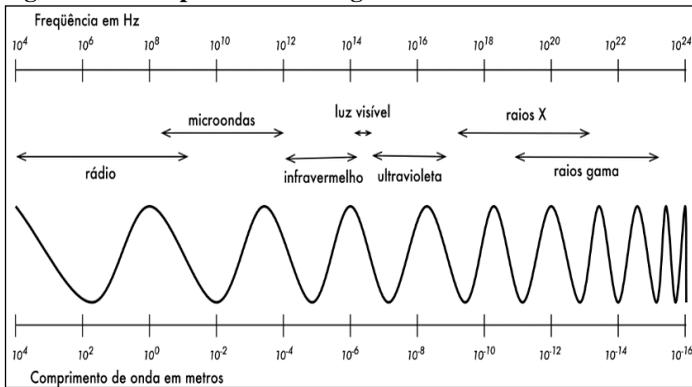
O olho humano é sensibilizado para radiação na faixa dos comprimentos de ondas 0,36 a 0,76 μm , faixa essa denominada região visível. Abaixo de 0,36 μm é denominada radiação ultravioleta e, acima de 0,76 μm , de radiação infravermelha Carvalho (2010)

Segue esquema representativo do espectro Figura 24 e Figura 25.

Figura 24 - Representação esquemática do espectro da radiação

0,15 μm		4,00 μm		100,00
μm				
Região da radiação solar (99 %)				
Radiação de ondas curtas (OC)			Radiação de ondas longas (OL)	
Radiação ultravioleta (9 %)	RAD. VISÍVEL (40 %)	Radiação infravermelha (51 %)		
		IVP	IVD	
0,36 μm (violeta)		0,76 μm (vermelho)		

Fonte: Carvalho (2010)

Figura 25 – O espectro eletromagnético

Fonte: Projeto WNDW (2013)

Os submúltiplos do metro utilizados para expressar comprimentos de onda são o nanômetro (nm) e micrômetro (μm), sendo:

- 1 nm = 10^{-9} m, ou seja, 1nm corresponde a milionésima (10⁻⁶) parte do milímetro.
- 1 μm = 10^{-6} m, ou seja, 1 μm corresponde a milionésima (10⁻³) parte do milímetro.

A radiação visível, vista nas Figuras 24 e 25, é desmembrada nas seguintes 6 faixas de bandas conforme a Tabela 20, abaixo:

Tabela 20 - Comprimento de onda aproximado das cores no espectro visível – luz visível (em nm)

Vermelho		Laranja		Amarelo		Verde		Azul		Violeta	
780	622	622	597	597	577	577	492	492	455	455	390

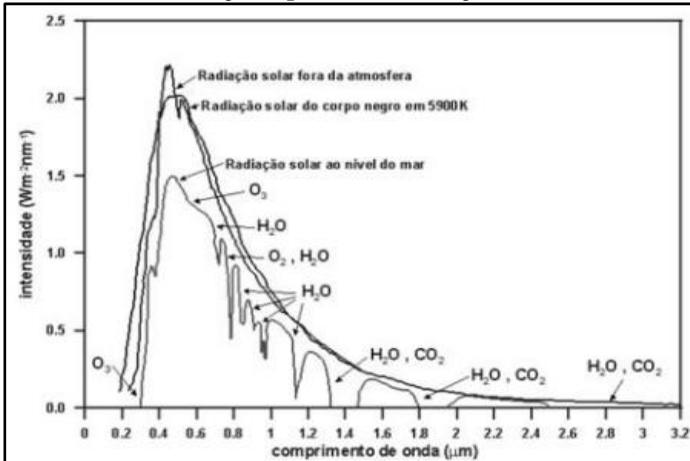
Segundo Kreith e Bohn (2003) como o sol emite energia abaixo de 3 μm , o que facilita a passagem pelo vidro de radiação deste comprimento de onda, impede a saída de radiação quando absorvida.

À medida que a radiação atravessa a atmosfera, a intensidade da mesma é reduzida devido a fatores como:

- Reflexão causada pela atmosfera;
- Absorção pelos vários constituintes da atmosfera (O₃, O₂, H₂O e CO₂).

A distribuição espectral é representada no Gráfico 1 (antes e depois de passar pela atmosfera), da radiação solar, em função do comprimento de onda.

Gráfico 1 - Distribuição espectral da radiação solar



Fonte: Echer et.al. (2006)

Duffie e Beckman (1991) apresentam a radiação solar que atinge a terra, direta, difusa e global.

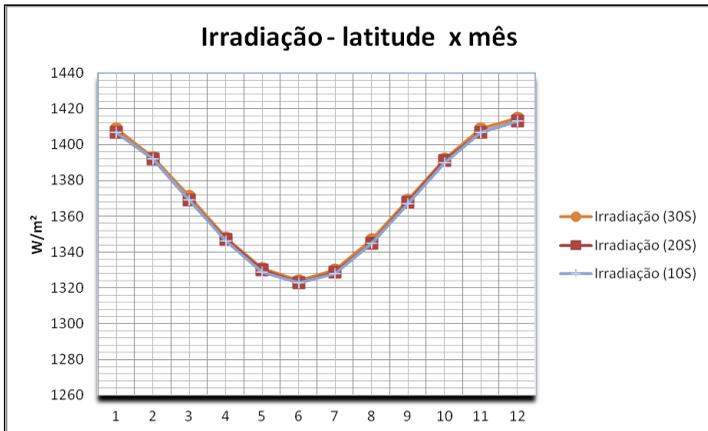
A radiação incidente ou radiação solar global, subdivide-se em radiação direta e radiação difusa. Entende-se por radiação direta aquela que chega em raios paralelos diretamente do sol. A radiação difusa é a dispersa pelas nuvens e outras partículas contidas na atmosfera. Define-se radiação solar global, isto é, incidente sobre o plano de interesse e expressa em W/m^2 , como a soma de suas componentes Eq.(3).

$$R_{SOLAR\ GLOBAL} = R_{SOLAR\ DIRETA} + R_{DIFUSA} \quad (3)$$

Chuerubim et. al. (2012) apresenta, de forma didática, o cálculo da irradiância solar para diferentes posições geográficas, em função da época do ano, hora do dia e variação da distância Terra-Sol. Este trabalho destaca a relevância da quantificação e distribuição diária e anual da radiação que atinge a superfície terrestre, nas latitudes 10° , 20° e 30° , possibilitando saber aproximadamente qual é o potencial energético solar na região de estudo.

O Gráfico 2 apresenta o comportamento do potencial energético disponível em função da latitude correspondente, conforme os cálculos de irradiação solar para as latitudes 10°, 20° e 30°. Estes cálculos foram efetuados para superfícies planas e não inclinadas, o que atende a presente pesquisa.

Gráfico 2 - Potencial energético radiação solar em função dos meses e latitude



Fonte: Chuerubim (2012)

2.2.3.2. Transferência de Calor

ANEEL (2005) afirma, no Atlas de Energia Elétrica do Brasil, que a radiação solar é uma forma de energia térmica disponível que pode ser utilizada para aquecimento de fluidos e ambientes.

Radiação Térmica é o processo pelo qual calor é transferido de um corpo sem o auxílio do meio interveniente, e em virtude de sua temperatura. Ao contrário dos outros dois mecanismos, a radiação ocorre perfeitamente no vácuo, não

havendo, portanto, necessidade de um meio material para a colisão de partículas como na condução ou transferência de massa como na convecção. Isto acontece porque a radiação térmica se propaga através de ondas eletromagnéticas de maneira semelhante às ondas de rádio, radiações luminosas, raios-X, raios- γ , etc, diferindo apenas no comprimento de onda (λ). Este conjunto de fenômenos de diferentes comprimentos de ondas [...] é conhecido como espectro eletromagnético. (QUITES, 2011)

Para Barbosa (2011), a radiação

é a emissão de ondas eletromagnéticas geradas dos átomos e moléculas excitadas da agitação térmica, que passam para o estado não excitado emitindo fótons. O comprimento de onda destes fótons é inversamente proporcional a sua temperatura (quanto menor o comprimento de onda, maior a temperatura)

Bezerra (2010) apresenta informações pertinentes ao processo de destilação solar, envolvendo a radiação, que atravessa a atmosfera terrestre e se propaga quando encontra algum material. Pode ser direta e mais intensa (ondas curtas), difusa (ondas longas) e global. Para o autor, a transmissão de alta para baixa temperatura se dá em certos corpos, quando seus átomos e moléculas vibram. Este mecanismo tende a perder energia quando seus corpos retornam ao seu estado anterior, propiciando uma segunda energia, a radiação eletromagnética. Recorda, ainda, que a radiação é um fenômeno eletromagnético, porém não é essencialmente térmico.

Kreith e Bohn (2003) afirmam que a radiação é um processo de calor transmitido de um corpo para outro, pela diferença desta temperatura, sempre do maior para o menor, mesmo que estejam separados no espaço e vácuo entre eles.

Morishita (2004) complementa que a esta transmissão dá-se o nome de calor radiante, por ocorrer na forma de *quanta* de energia. Os corpos que possuem temperatura diferente de zero emitem calor radiante, podendo ser maior ou menor dependendo da composição do corpo. Para estes corpos, chamamos de irradiadores perfeitos, ou mais conhecidos como corpos negros, pela quantidade de calor emitido por irradiação por unidade de tempo que pode ser explicitada na Eq.(5) e (6).

Max Plank, em 1900, equacionou o poder emissivo de um corpo negro distribuído em diferentes comprimentos de ondas, para diferentes temperaturas. Criou a teoria quântica, e ganhou o Nobel de Física em 1918. A lei de Plank é dada pela Eq.(4).

$$E_{(\lambda,T)} = C_1 \cdot \lambda^{-5} / (e^{C_2 / \lambda T} - 1) \quad (4)$$

Em que, $E_{(\lambda,T)}$ é o poder emissivo do corpo negro à temperatura T absoluta para comprimento de ondas de λ a $\lambda + d\lambda$; $C_1 = 3,7427 \times 10^8 \text{ W} \cdot \mu\text{m}^4 \cdot \text{m}^{-2}$; $C_2 = 1,4388 \times 10^4 \mu\text{m} \cdot \text{K}$; $\lambda =$ comprimento de ondas.

Corpo negro é aquele que absorve toda a radiação eletromagnética que nele incide. Isto é, nenhuma luz o atravessa e nem é refletida. Pode emitir radiação, determinando assim sua temperatura. Não há corpos negros na natureza, já que nenhum objeto tem absorção e emissão perfeitas. A Emissividade de um corpo é dada pela relação entre sua radiância e a do corpo negro Eq.(5) e Eq.(6).

$$Q_{\text{corpo negro}} = \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (5)$$

Onde:

$$Q_{\text{corpo negro}} = \sigma \cdot \varepsilon \cdot (\Delta T)^4 \quad (6)$$

Na Eq.(5) e (6), σ é a constante de Stefan-Boltzmann com o valor experimental de $\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{.k}^4\text{)}$, \mathcal{E} é a emissividade do material, e T a temperatura absoluta do corpo medida em Kelvin.

A taxa pela qual a energia é liberada pela superfície por unidade de área (W/m^2) é conhecida como poder de emissividade, prevista pela lei de Stefan-Boltzmann.

A emissividade \mathcal{E} é abordada a partir das propriedades radioativas das superfícies reais, sendo a razão entre a radiação emitida por uma superfície a uma dada temperatura e a radiação emitida pelo corpo negro à mesma temperatura. A emissividade de uma superfície está denotada por \mathcal{E} e varia entre zero e um ($0 \leq \mathcal{E} \leq 1$). Sua variação está em função da temperatura da superfície, comprimento de onda e direção da radiação emitida.

Para caso empírico desta pesquisa, a troca de calor onde a energia que um corpo negro emite para outro corpo negro que o envolve completamente pode ser dada pela Eq.(7).

$$Q = \sigma \cdot \mathcal{E} \cdot A_1 \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (7)$$

Esta equação, T_2 representa a temperatura do corpo que está posicionado externamente, isto é, que envolve, enquanto T_1 representa o corpo que está internamente, envolvido. Também inclui as emissividades \mathcal{E} dos corpos negros e as geometrias dos corpos reais representados por F_{1-2} . Para casos reais é dado pela Eq.(8).

$$Q = F_{1-2} \cdot \sigma A_1 \cdot (T_1^4 - T_2^4) \quad (8)$$

A transferência de calor difere da termodinâmica. Enquanto a segunda determina a quantidade de energia requerida na forma de calor para um sistema passar de um estado de equilíbrio para outro, ela não quantifica a taxa (velocidade) na qual a transferência de calor ocorre. Ela

trabalha nos estados de equilíbrio da matéria, não havendo gradientes de temperatura.

A termodinâmica trata do calor e suas interações com outras formas de energia. Estas interações chamaram de calor Q e trabalho W . A 1ª lei da termodinâmica atua quantitativamente nas interações destas energias onde pode ser enunciada como: “*A variação líquida de energia de um sistema é sempre igual à transferência líquida de energia na forma de calor e trabalho*” e a 2ª lei da termodinâmica aponta direção de que a energia tem qualidade e quantidade e os processos ocorrem na direção de decréscimo da quantidade de energia, ou seja, o calor só pode fruir de corpos quentes para corpos frios, por isso, “*é impossível à transferência de calor de uma região de baixa temperatura para outra de alta temperatura*”. Todos os processos de transmissão de calor envolvem transferência e conversão de energia.

A transferência de calor em um destilador para Gameiro (2010), ocorre a partir de três fenômenos distintos: a livre convecção entre o ar saturado úmido e o vidro da cobertura do destilador (parte interna), a transferência de energia entre os processos de evaporação e condensação, independentemente da transferência de massa e a radiação emitida pelas superfícies internas e externas, lâmina de água e o vidro do destilador. Completa que:

O comportamento do destilador solar é caracterizado pelas diferentes transferências de massa e calor que ocorrem no seu interior. Os principais fenômenos que ocorrem são a transferência de calor entre a água e o vidro do destilador solar; e a transferência de massa entre a água e o vidro do destilador solar. [...] A transferência de massa se deve aos processos físicos de evaporação da água existentes nas coberturas do destilador.

O vapor de água vai incorporando o ar do interior do destilador aumentando sua concentração. A condensação se produz quando o ar próximo à cobertura de vidro alcança a saturação e a temperatura do vidro. (GAMEIRO, 2010)

Os mecanismos internos e externos da destilação solar originam-se da transferência de calor, que como referido, consiste em radiação, convecção e condução. Apontam-se, também, outros fenômenos importantes neste processo, como a evaporação e a condensação.

Em White (2007), são encontradas as informações sobre o método precursor para o cálculo dos números adimensionais Eq.(9), creditado a E. Buckingham em 1914. Os números adimensionais ou grandeza adimensional é um número desprovido de qualquer unidade física, também conhecido como número puro. Eles definem como produtos e quocientes de quantidades cujas unidades se cancelam. Isto é, as principais forças encontradas nos fluidos de escoamentos, incluem a inércia dos mesmos, como a viscosidade, gravidade, tensão superficial, pressão e compressibilidade. Também conhecida como teoria P_i de Buckingham, podem ser determinados através de uma combinação adequada dessas variáveis que causam influência no fenômeno a partir da função característica.

$$x_1 = f(x_2, x_3, x_4, \dots, x_n) \quad (9)$$

Onde n é o número de variáveis.

Os adimensionais ligados à transferência de calor são: número de *Gr*, número de *Prandtl* (Pr), número de *Nusselt* (Nu), número de *Reynolds* (Re), número de *Péclet* (P_e), número de *Rayleigh* (Ra), número de *Fourier* (F_o) e difusidade térmica (α).

O número de *Grashof* (Gr), Eq.(10) fornece a sustentação de fluido em relação à viscosidade.

$$G_r = g \beta \Delta T L^3 / \nu \quad (10)$$

g – aceleração da gravidade;
 β – coeficiente de dilatação volumétrica do líquido;
 ΔT – diferença de temperatura;
 L – altura dos tubos ou paredes verticais;
 ν – viscosidade cinemática.

O número de *Prandtl* (Pr), Eq.(11), é em função da difusividade quando há quantidade de movimento e de calor dentro do fluido. Para isso, é medida a eficiência destas transferências nas camadas limites hidrodinâmica e térmica.

$$P_r = P_e / R_e = \nu / \alpha = \mu C_p / k \quad (11)$$

ν – viscosidade cinemática
 α – difusividade térmica
 μ – viscosidade dinâmica;
 C_p – calor específico à pressão constante
 k – condutividade;

O número de *Reynolds* (Re), Eq.(12), é para o cálculo do regime de escoamento, geralmente laminar ou turbulento, sobre uma determinada superfície, dado por:

$$R_e = V l / \nu \quad (12)$$

V – velocidade do fluido;
 l – comprimento característico;
 ν – viscosidade cinemática

O número de *Péclet* (P_e), Eq.(13), é a razão entre a taxa de advecção e a taxa de difusão térmica por um gradiente conforme abaixo:

$$P_e = V l / \alpha \quad (13)$$

V – velocidade do fluido;
 l – comprimento característico;
 α – difusividade térmica

A difusividade térmica (α), Eq.(14), indica como o calor se difunde através de um determinado material. É utilizada para o cálculo dos números de *Prandtl* (Pr) e *Péclet* (P_e), é a equação dada por:

$$\alpha = k / \rho C_p \quad (14)$$

k – coeficiente de transferência de calor por condução;
 ρ – massa específica;
 C_p – calor específico à pressão constante

O número de *Rayleigh* (Ra), Eq.(15) e Eq.(15a), é dado pelo fluxo por empuxo em convecção livre ou natural. Quando o valor é baixo, a transferência de calor é por condução e, quando o valor é alto, dá-se por convecção. Pode ser calculado a partir do produto dos números de *Grashof* (Gr), *Prandtl* (Pr), como segue:

$$R_a = G_r P_r \quad (15)$$

Ou ainda pela equação:

$$R_a = (\rho^2 g \beta C_p l^2 \Delta T^3) / \mu k \quad (15a)$$

O número de *Nusselt* (Nu), Eq.(16), proporciona a medida da transferência de calor convectiva na superfície. Pode ser calculado através do número de *Rayleigh* (Ra) onde:

$$N_u = 0,075 (R_a)^{1/3} \quad (16)$$

O número de *Fouriet* (F_o), Eq.(17), caracteriza a condição de calor, na razão entre a taxa de condição de calor pela taxa de armazenamento de energia térmica. Dado por:

$$F_o = \alpha t / R^2 \quad (17)$$

α - difusidade térmica (m/s);

t - tempo característico (s);

R - comprimento onde ocorre a difusão (m).

Apresenta-se, na Tabela 21, as grandezas do Sistema Internacional de Medidas (SI) utilizados nos estudos de transferência de calor.

Tabela 21 - Grandezas do SI de utilizados nos estudos de transferência de calor

Grandeza (símbolo)	Unidade (símbolo)	Definição na base SI
Comprimento (L)	Metro (m)	m
Área (A)	Metro quadrado (m ²)	m ²
Volume (V)	Metro cúbico (m ³)	m ³
Massa (m)	Quilograma (kg)	Kg
Tempo (t)	Segundo (s)	S
Temperatura (T)	Kelvin (K)	K
Energia (E)	Joule (J)	J
Potência (q)	Watt (W)	J/s
Densidade de massa (ρ)	-x-	Kg/m ³
Calor específico ©	-x-	J/(kg K)
Condutividade térmica (λ)	-x-	W/(m K)
Resistência térmica (R)	-x-	W/(m ² K)

Fonte: Ordenes, M.; Lamberts, R.; Ghuts, S. (2008)

2.2.3.2.1. Convecção

Os processos de transmissão de calor consistem em movimentos de massas fluidas, trocando de posição. Assim, a convecção somente ocorre nos fluidos líquidos, gases e vapores. Para isso, segundo Nussenzweig (2002)

é necessário a troca de energia destes constituintes do sistema, podendo ser classificados como natural quando o movimento ocorre devido a diferença de densidade causados por gradientes de temperatura, ou convecção forçada, onde atua um agente externo.

Hewitt (2002) define convecção quando um fluido é aquecido e suas moléculas movem-se rapidamente, afastando umas das outras. Como o volume ocupado por esta massa expande, a mesma torna-se menos densa. Assim, uma massa menos densa no interior do fluido tende a uma ascensão, ocupando o lugar do fluido que está a uma temperatura inferior. O fluido mais frio (mais denso) move-se para a parte baixa, substituindo o anteriormente aquecido.

Para Bird, Stewart e Lighfoot (2004), a convecção pode ser classificada como: livre ou natural e forçada. A convecção natural caracteriza-se pelo padrão de escoamento determinado pela força de empuxo sobre o fluido aquecido; os perfis de velocidade são interdependentes e o número de Nusselt depende dos números de Grashof e Prandtl. Já na convecção forçada, o padrão de escoamento é determinado por força externa e o perfil de temperatura é em função do perfil de velocidade, e o número de Nusselt é dependente dos números de Reynolds e Prandtl.

Para Tiwari & Tiwari (2008), o número adimensional de Rayleigh (Ra) está associado à convecção natural, onde a transição de uma camada limite depende da magnitude relacionada com a flutuabilidade e forças de viscosidade no

fluido. Ele é produto dos números de Grashof (Gr), tipo de fluxo e Prandtl (Pr), tipo do fluido.

A convecção, segundo Tiwari & Tiwari (2008), é a

diferença de temperatura entre qualquer superfície onde o fluido em contato com ela causa uma variação de densidade acima da superfície, resultando em flutuações. O movimento do fluido acima da superfície, assim produzido, é chamado de convecção livre ou natural.

A convecção ocorre devido ao movimento macroscópico da matéria, que segundo Bezerra (2010), *“envolve pelo menos dois mecanismos: o difusivo, que é o transporte de energia devido o movimento molecular aleatório e o movimento macroscópico de fluido. Como se configura principalmente pelo movimento macroscópico, a convecção não ocorre em sólidos”*.

O calor em função do tempo pode ser transmitido de uma superfície sólida para um fluido, por convecção e expressado na Eq.(18).

$$q_c = h_c \cdot A \cdot \Delta T \quad (18)$$

Assim, o fluxo de calor é dado por q_c (W/m^2) e o coeficiente convectivo de transferência de calor por h (W/m^2K) ou ($Wm^{-2}oC$), a área responsável pela transferência de calor A (m^2), e a diferença de temperatura entre o meio e a superfície ΔT (K) ou (oC).

2.2.3.2.2. Evaporação

Conforme Fuentes e Roth (1997), a evaporação é o principal mecanismo de transferência de calor em um destilador de bandeja, quando está sob o efeito de pressões parciais do vapor na cobertura e no condensado.

Fuentes e Roth (1997) afirmam ainda que a temperatura, no processo de destilação solar, é proporcional ao seu aumento à taxa de evaporação da água, conduzindo a maiores rendimentos. Implica, também, vários pontos de ebulição diferentes, além de volatilidades, com evaporação seletiva para um destilado de qualidade.

A equação abaixo é dada (W/m^2) pelo fluxo de calor evaporativo Q_{evap} , fluxo de calor convectivo Q_{conv} e o fluxo de calor advectivo Q_{ad} na Eq.(19).

$$Q_{evap} = Q_{conv} + Q_{ad} \quad (19)$$

2.2.3.2.3. Condução

Segundo Incropera e Witt (2003), condução é o modo de transferência de calor que geralmente ocorre entre materiais sólidos (metais, madeiras e cerâmicas, etc.) e é a propagação do calor por meio do contato de moléculas de duas ou mais substâncias com temperaturas diferentes. Ocorre a propagação do calor sem transporte de massa do sistema, ou seja, através de choques entre suas partículas integrantes ou intercâmbios energéticos dos átomos, moléculas, elétrons.

Explica Barros (2009) que:

Quando dois corpos são colocados em contato, a temperatura é um parâmetro que determina se haverá ou não transferência de energia, na forma de calor, entre esses corpos e em que direção se dará essa transferência, caso ela ocorra.

O fenômeno da transferência é regido pela Lei de Fourier que estabelece que a transferência de calor por condução seja proporcional ao gradiente de temperatura e inversamente proporcional à distância. Pode ser representado na Eq.(20), esta lei por:

$$Q_y = -k \, dt/dy \quad (20)$$

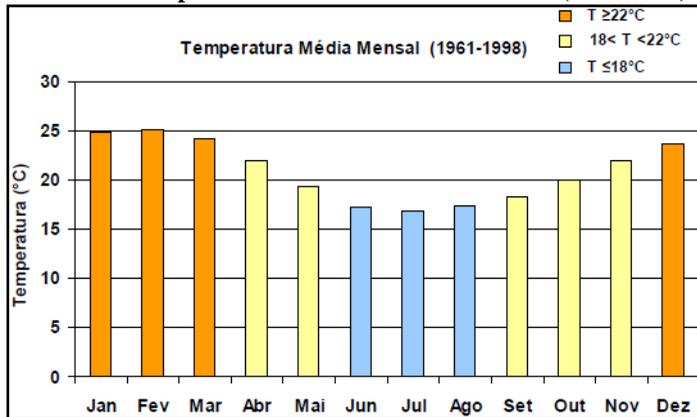
Sendo Q_y a transferência de calor, k a constante de proporcionalidade (coeficiente de condutividade térmica), característica do material e função da temperatura, dT/dy a variação da temperatura e a distância.

Na transferência de calor por condução são utilizados os adimensionais como: número de *Fouriet* (Fo), *Nusselt* (Nu), *Prandtl* (Pr), *Péclet* (Pe) e Difusidade Térmica (α).

2.2.3.3. Fatores Climáticos

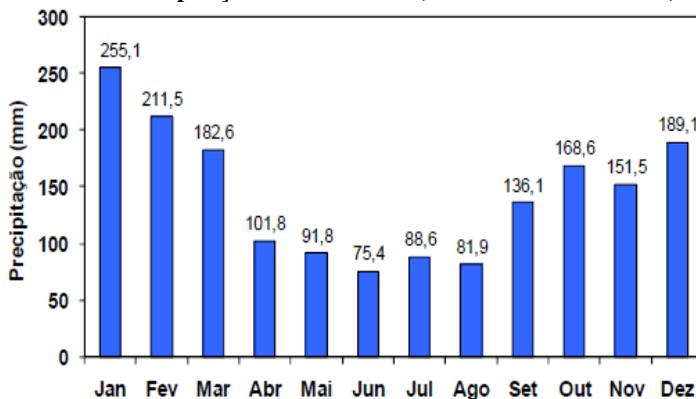
Os elementos climáticos são grandezas meteorológicas variando no tempo e espaço, comunicando-se com o meio atmosférico. Tem como características e propriedades a temperatura, amplitude térmica, umidade relativa do ar, chuva (precipitação), vento (direção e velocidade), nebulosidade, pressão atmosférica e radiação solar (global, difusa e direta). Eles podem ser influenciados por alguns elementos, conforme o clima e o local, como o relevo e altitude.

Segundo EPAGRI/CIRAM/INMET (2012), o clima em Florianópolis é classificado conforme a tabela de Köppen de clima subtropical. Caracterizado por verões quentes com temperaturas médias acima dos 22°C, o que inclui o primeiro mês do outono. No mês de Fevereiro, ocorrem as temperaturas mais altas do ano com média de 25,2°C. No inverno, as temperaturas médias não ultrapassam 17,5°C, sendo o mês de julho com temperaturas mais baixas com médias de 16,8°C (Gráfico 3).

Gráfico 3 - Temperatura média mensal em 38 anos (1961-1998)

Fonte: ANA (2012)

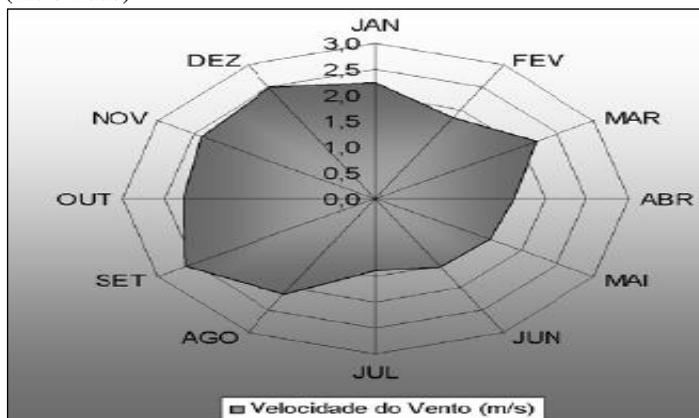
A pluviometria é de uma média aproximada de 1.500 mm ao ano. O regime anual de chuvas com sazonalidade bem definida é representada com um período de chuvas nos meses de primavera e verão (setembro e março) com 149 mm, e período mais seco, outono e inverno (abril e agosto) com a média mensal de 95 mm (Gráfico 4).

Gráfico 4 - Precipitação média mensal (1946-1953 e 1989-2009)

Fonte: EPAGRI/ CIRAM/INMET (2012)

A umidade relativa do ar, a média anual é de 82%, associada à proximidade do mar e aos ventos úmidos. A predominância são ventos do quadrante norte com velocidade média de 3,5 m/s e os mais fortes e também frequentes do sul, com velocidade média de 10 m/s (Figura 26).

Figura 26 - Médias das velocidades dos ventos – Florianópolis (1998-2008)



Fonte: EPAGRI/CIRAM/INMET (2012)

Dados da EPAGRI/CIRAM/INMET (2012) apontam nos últimos 70 anos uma predominância de ventos Norte (36,92%); Sudoeste (16,92%); Sul (15,77%); Nordeste (10,05%); Noroeste (2,85%) e Sudoeste (1,14%).

A temperatura ambiente anual, mensal ou diária, está condicionada à influência de diversos fatores como: latitude, proximidade ou afastamento do mar - continentalidade, influência topográfica - relevo e altitude, correntes marítimas, dentre outros. Nesta tese, foi adotado o modelo simples de temperatura ambiente diária, medida em intervalos diários de 10 em 10 minutos, *in loco*, através de um sensor do *datalogger*. Este modelo baseia-se em valores da temperatura máxima, mínima e média, do período coletado, produzindo um arquivo

de dados para a região da pesquisa. Estes dados possibilitaram cálculos de transferência de calor do sistema de destilador solar.

Nos capítulos seguintes (Resultados e Discussões), serão apresentados os gráficos da temperatura ambiente e suas relações durante os anos de pesquisa em Florianópolis. No Apêndice, estão as tabelas de dados das temperaturas dos respectivos períodos que também substanciaram os gráficos.

2.2.4. A Crítica

A crítica à revisão do tema destilação solar remete aos vários autores que, desde os anos 60, vêm incorporando, nas suas pesquisas, avanços técnicos para resolver problemas de disponibilidade hídrica com qualidade.

Observa-se, no transcorrer da revisão bibliográfica, a destilação solar, sempre relacionada com processos de produção de água potável, dessalinização das mais variadas, tipos de destiladores, sendo ativos e passivos, compactos ou de grande escala, além dos pequenos e convencionais. Em nenhuma das pesquisas ou trabalhos foram revelados detalhamento das dimensões dos destiladores ou potabilizadores apontando suas nuances. Apenas o histórico é levantado, mas nunca os dados são oferecidos. Não há descrições sobre o deslocamento, transporte, forma de montagem do equipamento, seu funcionamento e manutenção. Sobre esta última, apenas alguns pontos sobre cuidados na limpeza, mas não detalhes em todo o processo.

As pesquisas indicam uma série de detalhes para o bom funcionamento dos destiladores, mas entre os autores, não há uma sinergia na economia das experiências apontadas. Isso demonstra um elemento significativo para cada região, cidade ou país, em que houve a utilização de variáveis locais, no momento da construção dos equipamentos. Não foi encontrada nenhuma explicitação dos autores utilizarem, ou não, dados ou referenciais de outras pesquisas. Isto significa uma desconexão dos especialistas nas respectivas áreas em que atuam, sobre os

protótipos dos variados destiladores. Observa-se o não reconhecimento dos avanços de outros autores.

Outro ponto importante que se destaca, são os resultados quantitativos e qualitativos das águas potabilizadas no processo de destilação. Existem poucos autores que explicitam seus resultados, aliados às normatizações locais ou dos seus respectivos países. Afinal, a produção de água deve ter um caráter de indissolubilidade para com o consumo humano.

Na crítica desta revisão bibliográfica, constrói-se o resumo no Quadro 3, citando as principais contribuições de cada autor.

Quadro 3 - Resumo da Revisão Bibliográfica – Destilação Solar

Organização ou Autor	Ano	Resumo
Tleimat apud Soares	1979 em 2004	Quando o destilador está em funcionamento, a energia solar passa através das coberturas transparentes é absorvida pela água e pelo revestimento interior do recipiente. A energia absorvida esquenta a água salgada e faz com que evapore parte dela e que aumente a umidade do tempo junto da superfície da mesma, produzindo, então, as correntes de convecção dentro do ambiente do destilador. O ar úmido, mais quente, sobe até o vidro, mais frio, em cuja superfície parte do vapor d'água se condensa, desliza para baixo e cai gotejando para cuba coletora, saindo pelos extremos desta em forma de água doce.
Gomella	1973	Destiladores de pequeno porte deverão atender com água potável indivíduos isolados ou pequenos grupos humanos. Estas necessidades se limitam de 3 a 15 litros por pessoa e dia. Os dados obtidos apontam 6 litros/m ² /dia em média anual, nos países em que o valor de insolação horizontal média anual alcança 5.500 KcaL/m ² .dia . No inverno, o rendimento diminui conforme registros e o cuidado está na inclinação dos

Organização ou Autor	Ano	Resumo
		raios solares, que aumentam e perdem-se por reflexão. A duração mais curta de insolação diária, representa uma perda pequena de 50% a 60% quando “aumenta o valor relativo das calorías perdidas no curso do ‘regime excepcional’ prático do rendimento dos destiladores solares”.
Cometta	1977	Além dos destiladores solares apresentarem vantagens para produzir água doce, quanto maior a insolação, maior a sua produção, supondo radiação diária media de 5.000 Kcal/m ² por dia, sendo necessário para a destilação da água, aproximadamente 600 Kcal/Kg. Afirma que: “um destilador com superfície de 1m ² poderia fornecer, teoricamente, cerca de 8 L/dia de água destilada. Afirma ainda, que um bom destilador pode fornecer cerca de 4 L/m ² .dia de água destilada, com o rendimento de 50%.
Malik, et al.	1982	A tecnologia de destilação mais comumente usada é a solar de único efeito. É uma pequena bacia caracterizada por uma relativa massa térmica, ou seja, a bacia de água. (Aboabboud et. al., 1996). A Produção de água foi minuciosamente estudada e diversos projetos estão atualmente disponíveis nas regiões secas do Noroeste do México, onde a água potável de alta qualidade é escassa e a opção solar é economicamente viável(Palacio e Fenandez, 1993). Água padrão capacidade de produção de um único padrão-bacia ainda é entre 0,005 e 0,011 m ³ /m ² .dia (5 e 11 litros/m ² .dia), dependendo de valores de isolamento. Para obtenção de uma melhor eficiência em destiladores solares, é necessário que água bruta seja aquecida ao máximo e que a lâmina d’água seja pequena. A absorção de energia solar pelo vidro deve ser mínima, e as perdas de calor pelo fundo e

Organização ou Autor	Ano	Resumo
		as paredes externas sejam minimizadas para que a água condensada possa ser removida rapidamente para não dissipar o calor.
Al-Ismaily & Probert	1990	Pesquisaram em que o ângulo de inclinação médio ideal para cada mês oscila entre -8.89° e $+49.91^\circ$ para com a horizontal. O sinal negativo indica que a cobertura é voltada para o norte. Durante os meses de maio, junho e julho, nesta latitude, a inclinação para o sul não é recomendada para o aproveitamento maior da insolação. No entanto indica que a média ideal para o ano na Ilha de Masirah é de 20.63° , voltada para o sul. Essa posição é aceitável para garantir uma alta taxa de aproveitamento de insolação e facilitar a drenagem do condensado. Para Masirah, prevê-se que entre 1,99 e 2,51 kg/m ² .dia de destilado pode ser produzido pelo sistema se a inclinação da cobertura é ajustada mensalmente para seu valor médio ideal, entre 1,73 e 2,49 Kg/m ² .-dia. Se a tampa está fixada na inclinação média ideal para o ano.
Dufie & Beckman	1991	Dessanilizadores que foram utilizados no deserto do Atacama (Empresa Salitrera Lastenia Salinas, dirigida pelo inglês Charles Wilson, também desenhista das plantas) no Chile, datam do ano de 1872 até 1907, seu propósito era prover água para mineiros e animais em uma área aproximada de 4.700 m ² para uma produção de 6.000 galões, o equivalente de 22 a 500 litros de água diários.
Sartori	1996	Diferença entre a temperatura da água bruta na bandeja e a temperatura no vidro da cobertura. Observa que a radiação absorvida pelo vidro vai emissivamente para água o que produz o efeito estufa. Outra observação é o fenômeno de resfriamento da cobertura de vidro pelos ventos.

Organização ou Autor	Ano	Resumo
Fuentes & Roth	1997	Na destilação solar a transferência de calor por convecção não é desejada no processo. Quando a uma diminuição da atmosfera interna, as transferências de calor por convecção e radiação tendem a zero. Quando a temperatura da água aproxima-se da saturação, a transferência de energia por evaporação tende a (um) 1, obtendo-se maior rendimento na destilação solar. A destilação solar é uma aplicação da energia solar bastante promissora, principalmente em regiões distantes dos centros urbanos e onde os custos das fontes convencionais são altos [...] o índice de radiação solar no nordeste brasileiro, particularmente no Estado da Paraíba, é de 5,2 KWh/m ² .dia (valor sem considerar as perdas térmicas). Afirmam que a temperatura no processo de destilação solar é proporcional ao seu aumento a taxa de evaporação da água, conduzindo a maiores rendimentos. Implica também vários pontos de ebulição diferentes, além de volatilidades, com evaporação seletiva para um destilado de qualidade.
Santoyo	2001	Há uma relação da temperatura e condensação do sistema de destilação solar simples. Aponta as diferentes temperaturas correspondentes, uma em relação à pressão de vapor da água bruta e a outra, de água destilada que se obtém. Espera-se que as temperaturas de evaporação água bruta e a condensação da água destilada sejam muito semelhantes com características termodinâmicas que permitem a obtenção de valores elevados.
Boucekima	2002	Estudo de destilador na Argélia, com temperaturas médias no verão em torno de 40°C, atingindo na água a marca de 65 a 75°C. Observou que o aumento da produção de água

Organização ou Autor	Ano	Resumo
		destilada estava diretamente influenciado pela radiação solar e temperatura da água, inclusive no período da noite, onde ocorreu um resfriamento da água na base (bandeja) desde destilador.
Miller	2003	Estudos em simulação computacional com sistema solar para um dessalinizador de múltiplo efeito. A produção em doze horas alcançou 5,48 m ³ /h. Entendeu que esta eficiência poderia suprir água doce para 56 famílias de baixa renda.
Gonzalez & Díaz	2003	Os rendimentos da destilação solar estão na faixa de 10 L/m ² de destilador solar, este sistema é recomendado para comunidades pequenas, inclusive familiares.
Dellyannis	2003	Estudos sobre a construção de plantas de destilação solar em ilhas na Grécia no período entre 1965 e 1970. Estes destiladores eram classificados do tipo simples efeito e tinham a capacidade de produção em torno de 2.000 a 8.000 m ³ .dia.
Vaz de Piña	2004	Preferência pelo uso da cobertura de vidro por dois motivos. Segundo LUIZ (1985), o efeito estufa produzido pelo vidro é mais intenso do que o efeito estufa produzido pelo plástico e, além disso, quando o vapor se condensa sobre a superfície do vidro, forma-se uma película contínua de água, ao passo que a condensação do vapor sobre o plástico produz gotas d'água que podem apresentar perdas de produção no gotejamento direto do destilado tanque de água salgada. Como as gotas ficam, em geral, isoladas na superfície do plástico, o uso do vidro é mais eficiente porque a água escorre através da película contínua formada sobre o vidro até ser recolhida nas canaletas. O tanque raso é a base do destilador. Poderá ser confeccionado em fibra de vidro, concreto,

Organização ou Autor	Ano	Resumo
		plástico e material metálico. O importante é a coloração preta e isolamento térmico. Será utilizado silicone como material para vedação entre os cantos dos vidros e o tanque. Neste ponto, surge a questão se os destiladores solares são competitivos com instalações convencionais de dessalinização. Verificou-se, através do cálculo teórico, que em Cabo Verde um destilador solar produz diariamente 5,28 litros/dia por m ² de superfície de destilador e que o custo do mesmo pode ser estimado a R\$193,00 por m ² , aos preços atuais. Estima-se que para um período de funcionamento de 20 anos, 1 m ² de destilador solar produzirá cerca de 38,01m ³ a um custo de R\$5,07 por m ³ . No entanto, neste momento em Cabo Verde, nos locais onde se tem instalado dessalinizadores convencionais, o custo para o consumidor é de R\$8,40 por m ³ de água destilada consumido.
Al Hayek & Badran	2004	Produtividade de um destilador solar assimétrico e outro simétrico em sua estrutura, com lâminas de água bruta medindo 1,5 cm, 3,0 cm e 4,0cm. A produção de água aumentou em relação à diminuição da lâmina de água, devido a radiação solar absorvida pela base (preta) da tecnologia.
Soares	2004	Para uma produção de 8 Litros/dia, seriam necessários 2 m ² (1,42m x 1,42m) de lâmina d'água na bandeja, para atender uma família com 4 pessoas.
Fonseca	2005	Há diversos tipos de destiladores solares, <i>“entre eles destacam-se os que utilizam o efeito invernadeiro por ser este um dos procedimentos, mais sensíveis e econômicos de obtenção de água destilada”</i> . No Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES) trabalhou protótipo de destilador solar tipo

Organização ou Autor	Ano	Resumo
		caseta (duas águas), para produção de água destilada no uso de transporte a motor e baterias, com estrutura composta de fibra de vidro. Nesta pesquisa mediram a radiação solar e a produtividade horária e diária que alcançou média de 2,2 l/m ² /dia.
Aybar, Egeliofglu, &Atikol	2005	Norte do Chipre, na Turquia, sistema de destilador solar inclinado (ISWD) que gera água destilada e água quente, com uma produção de 3,5 a 5,4 Kg (por m ² de área absorvida na placa) das 9h até as 19h. A temperatura da água atingiu 60°C e a temperatura média atingiu 40°C, concluindo que é suficiente para uso doméstico. Foram utilizadas dois tipos de mechas pretas, uma espécie de pano preto liso e outro de lã no comprimento de 2 cm. O sistema foi testado quatro vezes no período das 9h às 16h entre os dias 17 e 30 de maio de 2004. As temperaturas foram de 25 e 26°C e os dados meteorológicos mostram a intensidade média solar entre 400 a 500 W/m ² . Os testes para chapa nua mostram a taxa de fluxo de massa sobre a geração de água doce. Quando a distribuição é em igualdade pelos dois panos, produz-se mais água. Os resultados foram afetados pela transferência de calor da superfície, as condições ambientais, além da intensidade solar, temperatura ambiente e o vento. Um sistema similar foi testado pelo <i>RSD Rosendahl System</i> , por 7 h. Relatam a geração de água doce entre 2-8 kg / d. Se considerado o tempo de dias de sol a sol, durante o dia, irá aumentar para 10, até 12 h para um dia no verão em condições norte de Chipre.
Kalogirou	2005	A eficiência é definida como a relação da energia utilizada na evaporação da água e a energia solar incidente no vidro, sendo de

Organização ou Autor	Ano	Resumo
		35% (máximo) e diariamente ainda a produção é de cerca de 3 a 4 L/m ² . A destilação solar, a tecnologia mais simples, pode ser operada por trabalhadores não-qualificados, devido à baixa necessidade de manutenção.
Galvez	2006	No destilador tipo escada é levado em conta dois processos, evaporação e condensação, de tal forma que o vapor produzido não condense sobre a cobertura transparente. Nesta situação, consegue-se um aumento na eficiência, pois evita-se a formação de gotas de condensado na cobertura transparente, melhorando assim a penetração de radiação solar incidente e diminuindo perdas térmicas. Apresenta sistemas de destilação solar, o qual é encontrado na literatura como “ <i>Solar Still</i> ” que significa um processo de destilação solar de água em pequena escala como os Coletores Dessanilizadores Compactos – CDC. (Uma baixa produção de destilado por unidade de superfície, entre 1 e 4 litros de água por cada metro quadrado de superfície de estanque e dia).
Qiblawey & Banat	2006	A cobertura de vidro ou plástico. O material glass é considerado melhor em longo prazo, o plástico como o polietileno, para curto prazo. A produção de 4 a 5 L/m ² .dia . Considerando uma insolação média de 250 W/m ² em 24 horas, poderia evaporar 9 L/m ² .dia . Na prática, as perdas de calor afetará o rendimento diário, podendo esperar uma produção de 4 a 5 L/m ² .dia .A quantidade diária de água potável necessária por ser humano varia entre 2 e 8 L por pessoa. A exigência típica para água destilada é de 5 L por pessoa/dia.Portanto, 2 m ² são necessários para cada pessoa servida. A dessanilização solar direta é a mais adequada para pequena

Organização ou Autor	Ano	Resumo
		produção nas regiões em que a demanda de água doce é inferior a 200 m ³ /dia.
Destefani	2003	Estuda a construção de plantas de destilação solar em ilhas na Grécia, no período entre 1965 e 1970. Estes destiladores eram classificados do tipo simples efeito e tinham a capacidade de produção em torno de 2.000 a 8.000 m ³ .dia. Atualmente, existem 7.500 unidades em operação no Golfo Pérsico, Espanha, Malta, Austrália e Caribe, convertendo 4,8 bilhões de metros cúbicos de água salgada em água doce, por ano. O custo, ainda alto, está em torno de US\$ 2,00 o metro cúbico.
Díaz	2007	DTS (Destilador Tubular Solar) e CPC (concentrador solar parabólico) com calhas de acrílico com 6 (seis) polegadas de diâmetro e um destilador utilizando área de escada convencional pintada com a cor preta. Alimentação com água artificial com sal na concentração 5 a 12g/litros e levado a um aquecedor solar operado por 121 dias. Os parâmetros avaliados foram a condutividade, salinidade (%), sólidos totais dissolvidos, pH, volume do volume destilado de salmoura e de intensidade solar. Após 60 dias, a maior produção obtida com destilação convencional foi de 5,6 L/m ² .dia sem pré-aquecimento e com pré-aquecimento (CPC) 2,96 L/m ² .dia . Ambos os destiladores teriam custo elevado quando agregados os reatores solares (CPC); necessitam de estudos com outros materiais.
Costa	2008	A inclinação para latitudes brasileiras vão de 0° a cerca de 35°.A distância entre o vidro e a superfície da água não deve ser maior que 5 cm ou 6 cm, de modo que o destilador opere com maior eficiência. Destiladores de pequeno porte. Produtividade, fácil operação,

Organização ou Autor	Ano	Resumo
		manutenções, limpeza e transporte. Sugere construção de módulos.
Tiwari & Tiwari	2008	Contribui com um livro sobre o tema da destilação solar, sua produtividade a partir de grandes bacias salinas. Tipos de destiladores ativos e passivos, convencionais de grande e pequeno porte.
Nandwani	2009	Produção de 3 a 5 L/m ² .dia . Quantidade de água destilada depende do tipo de cobertura (plástico ou vidro), quantidade de água, radiação solar, temperatura e umidade do ambiente e velocidade do vento, dentre outros.
Benito	2010	Destilação por energia solar para eliminar concentrações de sais dissolvidos e arsênio.

Fonte: Do Autor (2012)

2.2.5. Síntese

A Destilação Solar é o tema que adentra as questões de energia em forma de calor. Para quantificar e analisar a energia disponível ao sistema destilador solar e quanto ela potencializa durante os meses, dias e horas é necessário que se trabalhe com o conceito de transferência de calor com a análise térmica do sistema, construindo seu balanço de energia. Assim possibilita fomentar respostas ao 2º objetivo específico e à questão da pesquisa. Entende-se que nos Materiais e Métodos tem-se subsídios para dialogar com autores renomados como Dunkle, Malik, Dufie e Beckman, Dellyannis, Tiwari e outros que contribuem com suas pesquisas na potabilização de águas. Estes métodos da física clássica, utilizados neste trabalho, possibilitam elementos às respostas das questões de viabilidade, economicidade e efetividade.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Para efetivar os objetivos propostos neste trabalho, uma ampla revisão bibliográfica sobre o tema foi estudada, agregando informações aos resultados obtidos nas pesquisas realizadas no Laboratório LAPOÁ, utilizando os Potabilizadores Solares, com seus respectivos métodos e teorias, iniciando a empíria em três protótipos de Potabilizadores Solares (Piloto 01, 02 e 03). Após os resultados obtidos nesta primeira parte deste trabalho, foram construídos mais dois potabilizadores solares, Piloto 4 e Piloto 5, respectivamente, atendendo assim as diretrizes desta pesquisa (Figura 32).

O sistema de destilação solar direta, funciona a partir da disponibilidade de água bruta ao equipamento “Potabilizador Solar” preenchendo em uma bandeja com área de 1m^2 e lâmina controlada, inferior a 10 mm, nos Pilotos 4 e 5. Os Pilotos 1 e 2 possuem áreas diferentes de bandeja. Assim, a água na bandeja, recebe radiação solar global que atravessa o vidro e é absorvida pela mesma, provocando o aquecimento, dando início aos processos de condução, convecção, evaporação e condensação. Ao processo molecular de condução e convecção propicia ao sistema a evaporação (ar-água), saturando-se próximo ao vidro das coberturas e devido a temperatura diferenciada do vidro, provoca a condensação. Forma-se gotas anexadas a cobertura que logo pela gravidade, escoam até o recipiente de água destilada. Ressalta-se que o Piloto 4 possui uma lâmina controlada de 10 mm, porém sua estrutura possui uma bandeja flutuante com um reservatório de água, diferenciando-se do Piloto 5 como podemos observar no item 3.2.10.

3.1. MATERIAIS

Para contextualizar estas informações, os estudos foram realizados em Florianópolis/SC, Brasil, que está localizada entre os paralelos $27^{\circ}10'$ e $27^{\circ}50'$ de latitude Sul e entre os

meridianos de $48^{\circ}25'$ e $48^{\circ}35'$ de longitude a Oeste de Greenwich. Os trabalhos ocorreram no Laboratório de Potabilização de Águas – LAPOÁ/UFSC, e os cinco pilotos foram instalados no terraço do prédio do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental (Figura 27 e Figura 28).

Figura 27 - Pilotos 01, 02 e 03 Potabilizadores Solares – Terraço Departamento ENS/UFSC



Fonte: Do Autor (2011)

Figura 28 - Pilotos 4 e 5 - Potabilizadores Solares – Terraço do Departamento ENS/UFSC



Fonte: Do Autor (2012)

Os primeiros testes realizados partem da dissertação de Soares (2004), que apontam para a construção de um potabilizador solar de água, utilizado nesta pesquisa. Este Potabilizador é identificado pela sua forma piramidal de quatro lados, com base de 1,43 m x 1,43 m, de estrutura de fibra na cor azul (Figura 29), denominada “Pirâmide Azul ou Potabilizador Solar”.

Figura 29 - Piloto 01 - Pirâmide Azul ou Potabilizador Solar (azul)



Fonte: Do Autor (2011)

Às observações se incluem outros dois Potabilizadores Solares de Água, Piloto 2 e Piloto 3, em que um deles apresenta, conforme Figura 30, uma forma de seis lados, sextavada e piramidal, “Pirâmide Sextavada”. Esta tecnologia foi elaborada pela equipe do laboratório LAPOÁ como opção para testes de novos materiais e produção de água. O segundo potabilizador (Figura 31) é um protótipo adaptado em pequena escala, na forma quadrada em pirâmide de 0,43 x 0,43 de base, composto de vidro em toda sua estrutura, “Pirâmide de Vidro”, que também partem dos resultados de Lenzi (2009).

Figura 30 - Piloto 02 - Potabilizador Sextavado



Fonte: Do Autor (2011)

Figura 31 - Piloto 03 - Potabilizador de vidro



Fonte: Do Autor (2011)

Para um melhor entendimento na identificação dos equipamentos na presente pesquisa, usa-se o Potabilizador Solar em forma de:

- Piloto 1 – Potabilizador Solar – Pirâmide Azul;
- Piloto 2 – Potabilizador Solar Sextavado;
- Piloto 3 – Potabilizador Solar de Vidro;
- Piloto 4 – Potabilizador Solar de Vidro de bandeja flutuante;
- Piloto 5 – Potabilizador Solar de Vidro de bandeja fixa.

3.2. MÉTODOS

A Figura 32 apresenta a estrutura metodológica e posteriormente cada item é detalhado conforme o método utilizado.

Figura 32 -Estrutura Metodológica

3.2.1. Informações relevantes a partir da Revisão Bibliográfica;		
3.2.2. Economia da Experiência – LAPOÁ		
3.2.3. Estudos preliminares das Tecnologias de Potabilização de Água		
PILOTO 01	PILOTO 02	PILOTO 03
<i>Potabilizador Solar ou Pirâmide Azul</i>	<i>Potabilizador Solar Sextavado</i>	<i>Potabilizador Solar Vidro</i>
3.2.4. Levantamento das Variáveis Climáticas e Numéricas		
3.2.5. Viabilidade de Funcionamento dos Pilotos 1, 2 e 3		
3.2.6. Proposição das Condicionantes para os Pilotos 4 e 5		
3.2.7. Construção e Testes em Laboratório		
3.2.8. Montagem <i>in loco</i> dos Pilotos 4 e 5		
3.2.9. Análise Térmica (Piloto 4)		
3.2.10. Descrição dos pilotos: estrutura, parâmetros e instrumentação utilizados		
3.2.11. Materiais utilizados		
3.2.12. Parâmetros Construtivos		
3.2.13. Descrição dos Instrumentos		
3.2.14. Operação dos Pilotos <i>in loco</i>		
3.2.15. Tratamento dos dados - <i>datalogger</i>		
3.2.16. Sistematização dos Dados		
3.2.17. Avaliação Estatística		
3.2.18. Avaliação Econômica		

Fonte: Do Autor (2012)

Apresenta-se os passos, conforme estrutura metodológica e as respectivas descrições.

3.2.1. Informações relevantes - Revisão Bibliográfica

As informações levantadas na Revisão Bibliográfica estão disponíveis no Quadro 4, Quadro 5, Quadro 6, Quadro 7, Quadro 8 e Quadro 9, descrevendo as condicionantes para o avanço desta pesquisa.

3.2.2. Economia da Experiência do Laboratório de Potabilização de Água – LAPOÁ

As informações decorrentes das dissertações e trabalhos de conclusão de curso – TCC, seus resultados, conclusões e considerações, foram agregadas por serem significativos para o entendimento dos processos desta pesquisa.

A metodologia para este trabalho insere, pois, as pesquisas anteriores no LAPOÁ, realizadas por Senen (2000), Soares (2004), Murakami (2005), Reif (2006), Ferrari (2008) e Lenzi (2009), como partida aos avanços que se pretende.

Figura 33 - Destilador Solar de Água



Fonte: Soares (2004)

Figura 34 - Potabilizador de Pirâmide Invertida



Fonte: Soares (2004)

Os estudos desenvolvidos por Soares (2004) com o Destilador Solar de Água em forma de pirâmide (Figura 333) e

pirâmide invertida (Figura 34) agregam informações iniciais de Senen (2000) e contribuem nos seguintes pontos:

- Tecnologia do Potabilizador Solar de Água é adequada para comunidades rurais ou isoladas, principalmente em regiões áridas;
- Definição de 25° para a melhor inclinação da cobertura de vidro do equipamento (pirâmide de quatro lados);
- Lâmina d'água inferior a 10 mm na bandeja fixa que recebe a água bruta;
- Indicação da fibra de vidro como material inerte, não comprometendo a qualidade da água;
- Condução da água condensada ao reservatório para não ter perda por reevaporação;
- Produção máxima em um dia de $6,2 \text{ L/m}^2.\text{dia}$;
- Produção média sem chuva entre $3,1$ a $3,7 \text{ L/m}^2.\text{dia}$ (Florianópolis/SC);
- Produção média com período chuvoso entre $3,0$ a $3,7 \text{ L/m}^2.\text{dia}$ (Natal/RN);
- Produção média da Pirâmide Invertida entre $1,4$ a $1,7 \text{ L/m}^2.\text{dia}$ em Florianópolis/SC (Figura 34);
- Produção de quantidade e qualidade de água potabilizada a partir de água salobra, salgada e doce contaminada;
- Limpeza da tecnologia do Potabilizador Solar;
- Conclusão de uma estimativa para construção de um Potabilizador Solar de Água com a medida de $1,42\text{m} \times 1,42 \text{ m}$ de espelho d'água para a produção de $8 \text{ L/m}^2.\text{dia}$ com disponibilidade de radiação solar sem nuvens;
- Produção de água potável dentro dos padrões de potabilidade da Portaria N° 518/2004 a partir de águas salobras, salgadas e doce contaminada.

Já Murakami (2005), que utilizou apenas o Potabilizador Solar de Água com Pirâmide invertida, para águas de chuva e salgada, as seguintes contribuições são:

- Isolamento completo do sistema interno;
- Base de fibra de vidro com cor preta;
- Manutenção de uma lâmina d'água mínima na bandeja;
- Manutenção da temperatura da água interna;
- Equipamento localizado em local com proteção aos ventos;
- Produção máxima em um dia foi de 1,38 L/m².d;
- Produção média de 0,88 L/m².d;
- Perda de parte da água produzida por condensação;
- Produção de água potável nos padrões de potabilidade da portaria Nº 518/2004;
- Orientações para o local de instalações do Potabilizador;
- Não se recomenda o uso do potabilizador invertido para remoção de fluoretos;
- Recomendam-se outros estudos para materiais para cobertura dos Potabilizadores;
- Recomendam-se outros estudos em campo e residências;
- Recomendam-se testes em outras regiões, conforme a latitude da região, acrescentando mais 10° graus.

Outras contribuições partem de Ferrari (2008) como:

- Aumento da área de coleta de água destilada, minimizando o contato da água produzida com a radiação;
- Necessidade de fechar hermeticamente o Potabilizador para não haver fuga de vapor;
- Para melhorar a questão do odor, sugere-se a utilização da norma NBR 13.210 como guia para construção, ou até mesmo a utilização de caixas d'água pré-fabricadas;

- Caso seja optado pela fabricação própria, utilizar um tempo de cura da resina e da tinta de uma semana e, se possível, utilizar o processo de cura descrito na norma ABNT.
- São necessários mais estudos para confeccionar um potabilizador solar otimizado para atender melhor aos quesitos de qualidade e quantidade de água;
- Necessidade de outros estudos em campo para operacionalização da tecnologia;
- Mais análise pelo método CLAE, para dados mais consistentes quanto à remoção de saxitoxinas.

Ferrari (2008) apresenta as seguintes considerações:

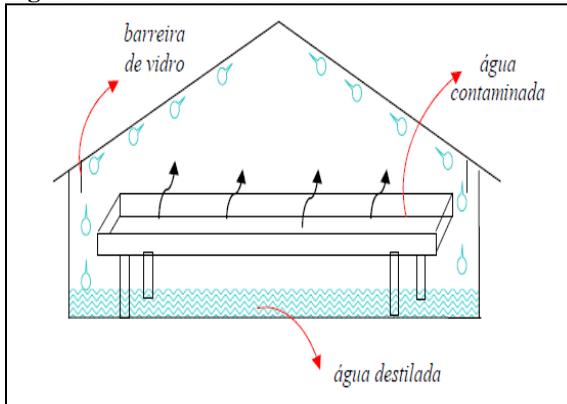
- Elaboração de um projeto de potabilizador solar otimizado com a utilização de superfície negra ou de metal na bandeja de água bruta, de maneira a pré-aquecer a água mais rapidamente, favorecendo a evaporação da água e utilização de formatos diferentes como cobertura de duas faces ou uma face;
- Elaboração de um estudo para encontrar o melhor material para construir as unidades, de forma a obter a melhor relação custo-benefício, e também de maneira a evitar problemas, como por exemplo, odor, e facilitar a operação;
- Construção de unidades demonstrativas para obter mais informações a respeito da operação dessas unidades, e assim, poder reduzir problemas encontrados em futuros projetos;
- Elaboração de análise econômica comparativa com as tecnologias de tratamento de água convencionais, avaliando os custos de projeto, implantação e operação das unidades, bem como a utilização de insumos e área necessária à implantação.

Lenzi (2005) utilizou o Destilador Solar - Pirâmide de vidro Figura 41 e Figura 42 para remoção de compostos orgânicos, o agrotóxico carbofurano (carbamato), em água de rio (Rio Itajaí do Sul/SC) e para água do mar (Praia dos Ingleses/SC), para remoção de inorgânicos. Seguem suas contribuições:

- Trabalho do experimento em ciclos de tempos (dias) e análise do período;
- Remoção do Carbofurano nos ciclos de destilação solar analisados; a eficiência de remoção variou bastante entre os ciclos, ocorrendo desde remoção pequena de 12%, até remoção total de 100%. As águas tratadas pelo destilador solar apresentaram concentração do Carbofurano inferior ao limite máximo determinado pelo World Health Organization (WHO);
- Em experimentos realizados com água do mar, houve remoção completa de 100% da salinidade (condutividade) nas amostras, evidenciando que é mais fácil remover compostos inorgânicos do que orgânicos, por meio desta tecnologia;
- Fuga de vapor: para ser eficiente, os destiladores solares devem ser razoavelmente herméticos, evitando perda de vapor de água antes da condensação;
- Capacidade de absorção de calor: é desejável manter a temperatura da bandeja (contendo a água contaminada) o mais alto possível, o que aumentará a transferência de calor por evaporação-condensação, do que por convecção e radiação;
- Acumulação de sal e organismos: o crescimento de algas e outras partículas de microflora na superfície da água contaminada, geralmente, reduzem a transferência de calor para esta água;
- Disponibilidade de objetos de reserva: a falta de objetos de reserva pode afetar o sistema de operação e contribuir

para o abandono ou destruição das instalações de destilação solar;

- Avaliação econômica do funcionamento do sistema piloto de destilação solar;
- Houve remoção do Carbofurano, durante os ciclos de destilação solar, porém as eficiências de remoção oscilaram bastante entre os ciclos, ocorrendo desde uma remoção pequena, até uma remoção máxima de 100%. A concentração de Carbofurano, na água destilada produzida nos ciclos atendeu os limites da Organização Mundial de Saúde, mas somente dois ciclos atenderam aos limites estabelecidos pela União Européia;
- Realização de testes de destilação solar, utilizando água do mar, mostrou que compostos inorgânicos são mais fáceis de remover que o Carbofurano, devido ao alto ponto de ebulição do sal;
- As eficiências na remoção da salinidade (condutividade) foram muito maiores que as eficiências obtidas na remoção do Carbofurano;
- O destilador solar proposto não é um modelo prático, principalmente quando se faz a coleta de água destilada. Caso este modelo de destilador solar seja refeito em uma escala maior, propõe-se a instalação de uma mangueira de pequeno diâmetro na base do destilador, para facilitar a coleta de água destilada.

Figura 35 - Destilador Solar de vidro

Fonte: Lenzi (2009)

Figura 36 - Destilador Solar - Pirâmide Vidro

Fonte: Lenzi (2009)

Para complementação da economia da experiência do LAPOÁ, seguem Quadro 5, Quadro 6 e Quadro 7, descrevendo as condicionantes para o avanço desta pesquisa.

3.2.3. Estudos preliminares dos Pilotos 1, 2 e 3

Para melhor entender a dinâmica dos equipamentos disponíveis no laboratório LAPOÁ, efetivou-se a montagem de três pilotos de potabilizadores: Piloto 01 - pirâmide azul, Piloto 02 – sextavada, o Piloto 03 - de vidro, para se observar os mecanismos de funcionamento, seu comportamento nos processos de produção de água, dentre outros. Entendeu-se ser imprescindível uma produção mínima que atendesse as necessidades dessa pesquisa. Lista-se, a seguir, alguns pontos observados:

- Quantidade de produção de água potável (litros/m².dia);
- Sugestões na instalação, manutenção, transporte e deslocamento da tecnologia;
- Perda de vapor interno;
- Entrada de água da chuva no processo;
- Odores e sabor;
- Derretimento isopor na interface da bandeja e o reservatório;
- Sugestões de mudança na estrutura dos potabilizadores;
- Dados meteorológicos e radiação global e suas relações (gráficos).

As informações levantadas nos estudos preliminares nas observações empíricas dos pilotos 01, 02 e 03, estão disponíveis nos Quadro 8 e Quadro 9.

3.2.4. Levantamento variáveis climáticas e numéricas

Propõe-se uma planilha para o levantamento de informações das variáveis que atuam sobre o fenômeno da destilação solar nas tecnologias dos Potabilizadores. Os itens que seguem abaixo foram adaptados do METAR (*Meteorological Aerodrome Report*) ou Relatório

Meteorológico de Aeródromo, o qual atende os informes meteorológicos das condições do tempo em aeródromos e aeroportos. Agregou-se ainda, as variáveis de indicadores da situação climática diária, mensal e anual, a partir de dados obtidos do Laboratório de Engenharia de Processos de Conversão e Tecnologia de Energia – LEPTEN – UFSC, que desenvolve pesquisas nas áreas de energias renováveis e transferência de calor aplicada; o Laboratório de Controle da Qualidade do Ar – LCQAr/UFSC, que atua nos setores de análises físico-químicas, olfatométrica e hidrometeorologia; o Centro de Informações de Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina – CIRAM - EPAGRI e o site de previsão meteorológica “ClimaTempo” (<http://www.climatempo.com.br>) para Florianópolis, Santa Catarina, que contribuem, fortalecendo as informações climáticas para análise de determinados fenômenos. Seguem abaixo, os tópicos da estrutura desta planilha:

- Identificação: dia e horário da coleta;
- Vento: direção (N,S,L,O, NE, SE, NO,SW);
- Vento: velocidade média (m/s);
- Volume: Piloto 02 - Potabilizador Sextavado (litros)
- Volume corrigido: Piloto 02 - Potabilizador Sextavado (litros/m².dia)
- Volume: Piloto 03 - Potabilizador de Vidrio (litros)
- Volume corrigido: Piloto 03 - Potabilizador Vidro (litros/m².dia)
- Volume: Piloto 01 - Potabilizador Azul (litros)
- Volume corrigido: Piloto 01 - Potabilizador Azul (litros/m².dia)
- Volume: Piloto 4 - Potabilizador Vidro- bandeja flutuante (litros/m².dia)
- Volume: Piloto 5 - Potabilizador Vidro - bandeja fixa (litros/m².dia)

- Tempo presente /Descritor: (MI) baixo; (BC) Banco; (PR) Parcial; (DR) Flutuante; (BL) Soprada; (SH) Pancada; (TS) Trovoada; (FZ) Congelante;
- Tempo presente /Precipitação: (DZ) Chuvisco; (RA) Chuva; (RN) Neve; (SG) Grãos de areia; (IC) Cristais de gelo; (PE) Pelotas de gelo; (GR) Granizo; (GS) Granizo pequeno;
- Tempo presente / Precipitação: marcação numérica da precipitação em milímetros/m²
- Nebulosidade: (PC) pouca (1,2/8) / (EP) esparsa (2,3/8) / (NU) nublado (4-7/8) / (ET) encoberto (8/8);
- Radiação Solar (W/m²)
- Pressão Atmosférica (hPa);
- Umidade Relativa do Ar (%);
- Temperatura máxima, média e mínima (°C);
- Amplitude Térmica (°C);
- Pressão atmosférica (hPa);
- Umidade Relativa do Ar (%);
- Radiação Solar Global (W/m²).

Os dados obtidos no LEPTEN e LCQAr são registros de 10 em 10 minutos de temperatura, direção do vento, velocidade do vento, velocidade máxima do vento, precipitação, pressão atmosférica, umidade do ar e radiação solar global, dados estes adquiridos na UFSC, próximo de nosso experimento. Os dados da EPAGRI/CIRAN (Janeiro de 2012) são levantados a partir de estação no município de São José SC de 1 em 1 hora, que juntamente com os dados do LCQAr (outubro, novembro, dezembro de 2012), foram utilizadas para complementação dos dados do LEPTEN, quando estes não estão disponíveis por problemas técnicos. Os demais dados, como provindos do site clima tempo, são informações utilizadas de apoio. Após agosto de 2011, continuou-se o monitorando dos pilotos 01 e 02. Portanto, todas as informações de variáveis levantadas nas experimentações com os pilotos de potabilizadores solares,

entre o período de 18/03/2011 a 17/07/2013 estão sistematizadas e disponíveis em tabelas (APÊNDICE C – ARQUIVO 2). Este método foi aplicado primeiramente aos Pilotos 1,2 e 3, na primeira parte deste trabalho, entre março/2011 a julho/2011.

3.2.5. Viabilidade de funcionamento Pilotos 1, 2 e 3

Analisando as informações das respectivas tabelas, elaborou-se gráficos de resultados (APÊNDICE C – ARQUIVO 5) de cada pirâmide relacionando os dados obtidos, suas variáveis na produção de água com radiação global, temperaturas externas, umidade relativa, pressão atmosférica e precipitação. Estes pré-resultados, datados do período março a julho de 2011, atenderam uma primeira análise das informações obtidas na observação dos protótipos do LAPOÁ/ENS/UFSC e a viabilidade destes equipamentos para a pesquisa realizada.

3.2.6. Proposições condicionantes para Pilotos 4 e 5

Para construir os novos modelos de Potabilizadores Solares de Água, iniciou-se com as informações levantadas e suas condicionantes da revisão bibliográfica, pesquisas do Laboratório de Potabilização de Água - LAPOÁ e observações empíricas dos pilotos 1, 2 e 3 instalados no LAPOÁ/ENS/UFSC. A partir destas condicionantes, inicia-se, em laboratório, a construção e testes dos protótipos 4 e 5 (Pilotos 4 e 5) para conseguir uma estabilidade tecnológica aos propósitos de sua utilização. Seguem Quadro 4, Quadro 5, Quadro 6 e Quadro 7 – condicionantes pesquisadas LAPOÁ.

Quadro 4 - Condicionantes - Revisão Bibliográfica.

CONDICIONANTES / Revisão Bibliográfica				
	Produção (L/m².dia)	Inclinação cúpula	Altura lâmina / material	Observações, Cuidados com reevaporação/
Tleimat apud Soares	- x -	- x -	- x -	Ar úmido sobe por estar mais quente até o vidro frio
Gomella	Méd. Anual 6L/m ² .d	- x -	- x -	- x -
Cometta	Teoricame nte 8 Litros dia. Mas um destilador atinge 4 L/m ² .d	- x -	- x -	- x -
Malik, et al.	5 a 11 L/m ² .d	- x -	Vidro	A absorção de energia solar pelo vidro deve ser mínima, e as perdas de calor pelo fundo e as paredes externas devem ser minimizadas para que a água condensada possa ser removida rapidamente para não dissipar o calor.

CONDICIONANTES / Revisão Bibliográfica				
	Produção (L/m².dia)	Inclinação cúpula	Altura lâmina / material	Observações, Cuidados com reevaporação/
Sartori	- x -	- x -	Vidro	Radiação absorvida pelo vidro vai emissivamente para a água, o que produz o efeito estufa. Outra observação é o fenômeno de resfriamento da cobertura de vidro pelos ventos.
Fuentes & Roth	- x -	- x -	- x -	<p>Quando há uma diminuição da atmosfera interna, as transferências de calor por convecção e radiação tendem a zero. Mas quando a temperatura da água aproxima-se da saturação, a transferência de energia por evaporação tende a 1 (um). Neste caso, obtém-se maior rendimento na destilação solar.</p> <p>A temperatura no processo de destilação solar é proporcional ao seu aumento à taxa de evaporação da água, conduzindo a maiores rendimentos.</p>

CONDICIONANTES / Revisão Bibliográfica				
	Produção (L/m².dia)	Inclinação cúpula	Altura lâmina / material	Observações, Cuidados com reevaporação/
Santoyo	- x -	- x -	- x -	As temperaturas de evaporação de água bruta e a condensação da água destilada são muito semelhantes às características termodinâmicas que permitem a obtenção de valores elevados.
Bouчекima	- x -	- x -	- x -	Com temperaturas médias, no verão em torno de 40°C, atingiu na água a marca de 65 a 75°C.
Miller	A produção em doze horas alcançou 5,48 m ³ /h.	- x -	- x -	Entende que esta eficiência poderia suprir água doce para 56 famílias de baixa renda.
Gonzalez & Díaz	Os rendimentos da destilação solar estão na faixa de 10L/m ²	- x -	- x -	Este sistema recomenda-se para comunidades pequenas, inclusive familiares.

CONDICIONANTES / Revisão Bibliográfica				
	Produção (L/m².dia)	Inclinação cúpula	Altura lâmina / material	Observações, Cuidados com reevaporação/
Vaz de Piña	5,28 litros/dia por m ²		fibra de vidro, concreto , plástico e material metálico	O efeito estufa produzido pelo vidro é mais intenso do que o efeito estufa produzido pelo plástico e, além disso, quando o vapor se condensa sobre a superfície do vidro forma-se uma película continua de água, ao passo que a condensação do vapor sobre o plástico produz gotas d'água que podem apresentar perdas de produção no gotejamento direto do destilado. Importante é a coloração preta e isolamento térmico.
Al Hayek e Badran			com lâminas água bruta medindo 1,5 cm, 3,0 com e 4,0cm	Observaram que a produção de água aumentou em relação à diminuição da lâmina de água, devido à radiação solar absorvida pela base (preta) da tecnologia.

CONDICIONANTES / Revisão Bibliográfica				
	Produção (L/m².dia)	Inclinação cúpula	Altura lâmina / material	Observações, Cuidados com reevaporação/
Soares	Max de 6,2 L/m ² .d Mes de 3,0 a 3,7L/m ² .d Invertida 1,4 a 1,7L/m ² .d		Lâmina inferior a 1cm Fibra e Vidro	Que para uma produção de 8 Litros/dia, seria necessário 2 m ² (1,42m x 1,42m) de espelho d'água na bandeja, para atender uma família com 4 pessoas.
Fonseca	média de 2,2 l/m ² /dia.	- x -	- x -	- x -
Aybar, Egeliofglu, & Atikol	geração de água doce é entre 2-8 kg/ d	- x -	- x -	- x -
Kalogirou	diariamente a produção é de cerca de 3 a 4 L/m ² .d	- x -	- x -	- x -
Galvez	Produção entre 1 e 4 litros de água por cada metro quadrado de superfície de estanque e dia.	- x -	- x -	- x -

CONDICIONANTES / Revisão Bibliográfica				
	Produção (L/m².dia)	Inclinação cúpula	Altura lâmina / material	Observações, Cuidados com reevaporação/
Qiblawey & Banat	produção de 4 a 5 L/m ² .d	- x -	- x -	A quantidade diária de água potável necessária por seres humanos varia entre 2 e 8 L por pessoa. A exigência típica para água destilada é de 5 Litros/ pessoa por dia. Portanto, 2 m ² são necessários para cada pessoa servida.
Díaz	produção obtida com destilação convencio nal foi de 5,6 L/m ² .d sem pré- aquecime nto	- x -	- x -	- x -

CONDICIONANTES / Revisão Bibliográfica				
	Produção (L/m².dia)	Inclinação cúpula	Altura lâmina / material	Observações, Cuidados com reevaporação/
Costa	- x -	- x -	- x -	A inclinação para latitudes brasileiras vão de 0° a cerca de 35°. A distância entre o vidro e a superfície da água não deve ser maior que 5 cm ou 6 cm, de modo que o destilador opere com maior eficiência. Destiladores de pequeno porte. Produtividade, fácil operação, manutenções, limpeza e o transporte. Sugere construção de módulos
Nandwani	A produção de 3 a 5 L/m ² .d	- x -	- x -	Quantidade de água destilada depende do tipo de cobertura (plástico ou vidro).
Bénito	- x -	- x -	- x -	Destilação por energia solar para eliminar concentrações de sais dissolvidos e arsênio

Fonte: Do Autor (2012)

Quadro 5 - Condicionantes pesquisas LAPOÁ

	Tecnologia e dimensão	Inclinação cúpula	Altura lâmina	Material	Cuidados reevaporação
Senen (2000) Soares(2001)	Pirâmide invertida	25° e 45°	não	Fibra e Vidro	não
Murakami (2005)	Pirâmide invertida 40 x 40 x 14,5	25°	não	Fibra e Vidro	sim
Soares (2004)	Potabilizador Solar e pirâmide invertida	25° e 45° Acrescentar 10° + latitude	< 10 mm	Fibra e Vidro	sim
Reif (2006)	Destilador Solar	25°		Metal	sim
Ferrari (2008)	Potabilizador Solar 1,43x1,43	25° e 45°	< 10 mm	Fibra e Vidro	sim
Lenzi (2009)	Destilador Solar (vidro)	25°		Vidro e metal	não

Fonte: Do Autor (2012)

Quadro 6 - Condicionantes pesquisas LAPOÁ

CONDICIONANTES / Pesquisas do LAPOÁ						
	Pirâmide Invertida Florianópolis/SC			Pirâmide Florianópolis/SC		
	Prod. Mínima (L/m ² .d)	Prod. Média (L/m ² .d)	Prod. Máxima (L/m ² .d)	Prod. Mínima (L/m ² .d)	Prod. Média (L/m ² .d)	Prod. Máxima (L/m ² .d)
Senen (2000) Soares (2001)	- x -	- x -	- x -		1,3 e 3,5	(1dia 2,3)
Soares (2004)		1,4 a 1,7	- x -		3,1 a 3,7 (1dia 3,5)	6,2
Murakami (2005)		0,88	1,38 (1dia 1,34)		- x -	- x -
Reif (2006)	- x -	- x -	- x -		1,3 e 1,9	- x -
Ferrari (2008)	- x -	- x -	- x -		1,5 e 2,4	7
Lenzi (2009)	- x -	- x -	- x -		0,3	1,7

Fonte: Do Autor (2012)

Quadro 7 - Condicionantes pesquisas LAPOÁ

CONDICIONANTES / Pesquisas do LAPOÁ		
	Pirâmide Natal/RN	Pirâmide Florianópolis/SC
	Produção Média (L/m ² .d)	Produção Média (L/m ² .d)
Soares(2004)	3,0 a 3,7 (1dia 3,5)	3,1 a 3,7 (1dia 6,2)

Fonte: Do Autor (2012)

Quadro 8 - Produção das Pirâmides testadas no ENS - março a julho/2011

CONDICIONANTES / Observações / Florianópolis SC				
	Produção Máxima em 1 dia (L/m ² .d)	Produção Mínima em 1 dia (L/m ² .d)	Produção Média mês (L/m ²)	Área do espelho d'água na bandeja (m ²)
Piloto 1	6,37	0,32	2,97	2,02
Piloto 02	8,71	0,76	2,26	0,87
Piloto 03	0,013	0,001	3,39x10 ⁻³	0,18

Fonte: Do Autor (2012)

Como se pode observar no Quadro 8, obteve-se resultados significativos nos pilotos 01, 02 e 03. Porém, o piloto 03 foi desativado devido à perda constante do líquido por evaporação. No Quadro 9 temos a soma produção total mês, média e a máxima para 1 dia dos Pilotos 1 e 2.

Quadro 9 - Produção de água dos Pilotos 01 e 02 entre março/2011 a julho/2011

CONDICIONANTES / Observações / Florianópolis SC						
	Piloto 01	Piloto 01	Piloto 01	Piloto 02	Piloto 02	Piloto 02
Produção	Prod. Total mês (L/m ²)	Prod. Média (L/m ² .d)	Prod. Máxima 1 dia (L/m ² .d)	Prod. Total mês (L/m ²)	Prod. Média (L/m ² .d)	Prod. Máxima 1 dia (L/m ² .d)
Meses/2011						
Março (1 AO 14 DIA)	36,20/14*	2,59	6,37	- x -	- x -	- x -
Abril	52,64/19*	2,78	5,46	24,94/21*	1,16	5,03
Maiο	63,58/20*	3,13	5,70	55,44/25*	2,24	6,12
Junho	42,54/13*	3,22	5,70	44,10/17*	2,63	2,04
Julho	47,83/15*	3,13	5,55	88,07/29*	3,03	8,71

Fonte: Do Autor (2012)

*período de dias sem comprometimento da coleta.

Outras informações agregam as pesquisas do LAPOÁ, como:

- Tecnologias adequadas para comunidades rurais ou isoladas, principalmente em regiões áridas;
- Produção de quantidade e qualidade de água potabilizada, a partir de água salobra, salgada e doce contaminada;
- Produção de água potável, dentro dos padrões de potabilidade da Portaria Nº 518/2004, a partir de águas salobras, salgadas e doce contaminada. Esta Portaria foi revogada pela Portaria No 2914/2011 do Ministério da Saúde.

3.2.7. Construção e testes em laboratório Pilotos 4 e 5

Os respectivos potabilizadores, Pilotos 4 e 5, Figura 28, foram construídos utilizando as condicionantes como economia da experiência da pesquisa na revisão bibliográfica, nas atividades do LAPOÁ, com potabilizadores e no funcionamento dos pilotos 01, 02 e 03. Segue, abaixo, resumo das condicionantes agregadas ao projeto:

- Produção média entre 1 a 10 L.m²/d.;
- Inclinação da cúpula entre 25° e 45°;
- Altura e manutenção da lâmina d'água inferior a 10 mm (quando menor maior a produção);
- Utilização de material metálico (canaleta em “L” alumínio);
- Anulação da reevaporação;
- Utilização do vidro em maior escala;
- Utilização da tecnologia em módulos;
- Produção em qualidade e quantidade (indissolubilidade) dentro dos padrões do Ministério da Saúde;

- Facilitação da limpeza periódica da tecnologia (bandeja);
- Cuidados no isolamento do sistema (perda de vapor ou entrada de água da chuva);
- Cuidados com o tipo de resina utilizada nas fibras em contato com a água;
- Utilização de materiais atóxicos.

O projeto teve como propósito desenvolver protótipos em escala real, conforme os desenhos e croquis (APÊNDICE B). Os Pilotos 04 – Figura 37 e o Piloto 5 – Figura 38 foram construídos nos meses de julho, agosto e setembro de 2012 nas dependências do LAPOÁ.

No mês de setembro, foi testada a viabilidade da bandeja flutuante (Piloto 4), bandeja fixa (Piloto 5) e a alimentação de ambas com água bruta. Optou-se por um conjunto de reservatórios para não permitir, durante os estudos, a falta de água no sistema. Uma caixa d'água de 100 litros abastece duas pequenas caixas (tanques) nas dimensões 25 cm x 25 cm x 80 cm, que regulam a entrada de água por uma válvula boia (boia de caixa d'água). Este sistema regula o nível d'água tanto do reservatório da bandeja flutuante - Piloto 4, quanto na bandeja fixa - Piloto 5.

No Piloto 4 para a bandeja flutuante com dimensão (1 m x 1 m x 0,04 m) que se localiza dentro do reservatório com água bruta (1,02 m x 1,02 m x 0,17 m), optou-se pela utilização de 2 pranchas de isopor (poliestireno expandido – EPS) medindo cada uma 50 cm x 100 cm x 1 cm, para manter a placa da bandeja de vidro de 4 mm flutuando. Utilizou-se também régua de alumínio nas 4 faces do reservatório de água bruta, o que garantiu a imersão da bandeja de vidro, proporcionando lâmina em torno de 10 mm.

Figura 37 - Construção dos Pilotos 4 e 5 (Foto 1)



Fonte: Do Autor (2012)

Figura 38 - Construção dos Pilotos 4 e 5 (Foto 2)



Fonte: Do Autor (2012)

3.2.8. Montagem in loco dos Pilotos 4 e 5

Os pilotos foram montados na cobertura do prédio do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – ENS, durante o mês de outubro e novembro de 2012, Figuras 39 e 40. Foi efetivado o fechamento estrutural do sistema da tecnologia, em partes, conforme montagem anterior no LAPOÁ. Segue Figura 41, Figura 42, Figura 43 e Figura 44, dos respectivos desenhos esquemáticos e croquis dos Pilotos 4 e 5. (APÊNDICE B)

Figura 39 - Piloto 4 – bandeja flutuante



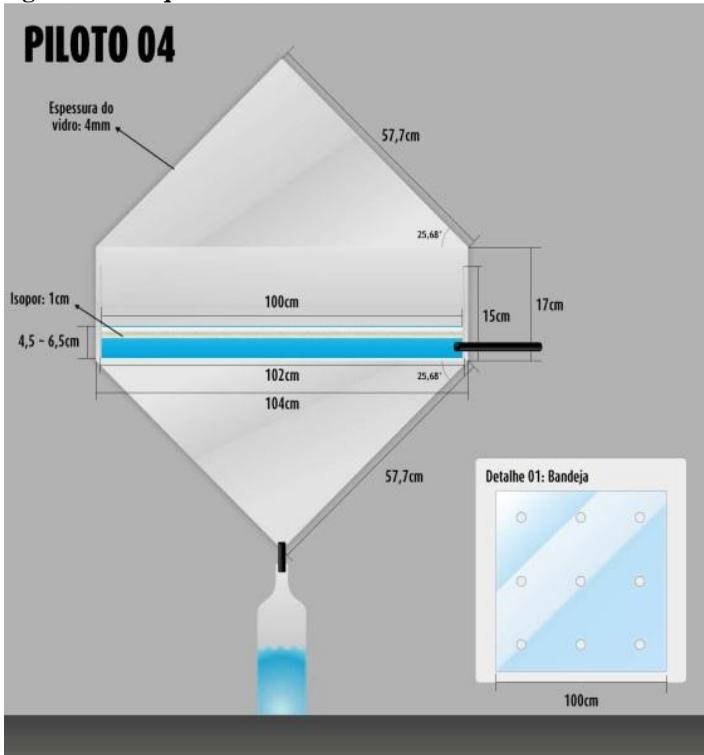
Fonte: Do Autor (2012)

Figura 40 – Piloto 5 – bandeja fixa



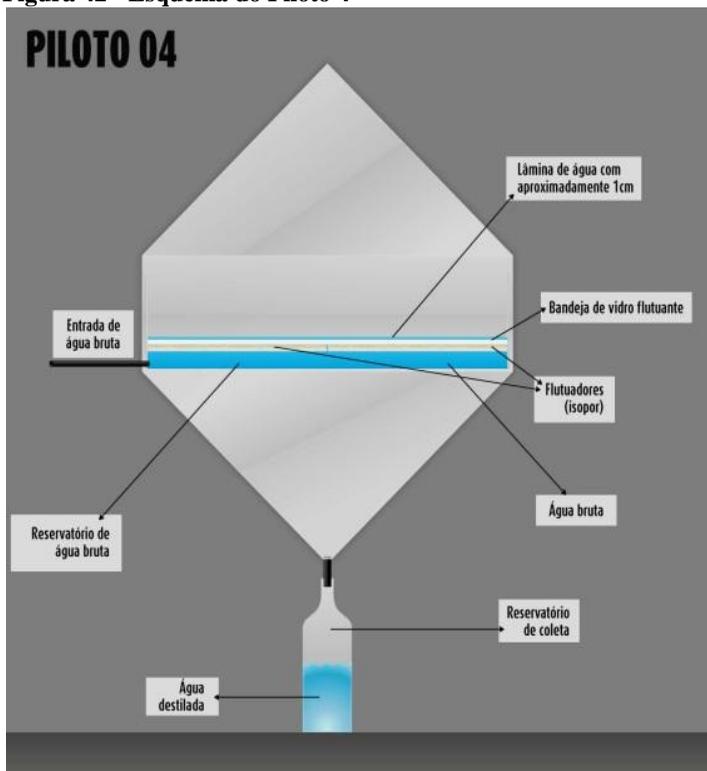
Fonte: Do Autor (2012)

Figura 41 – Esquema do Piloto 4



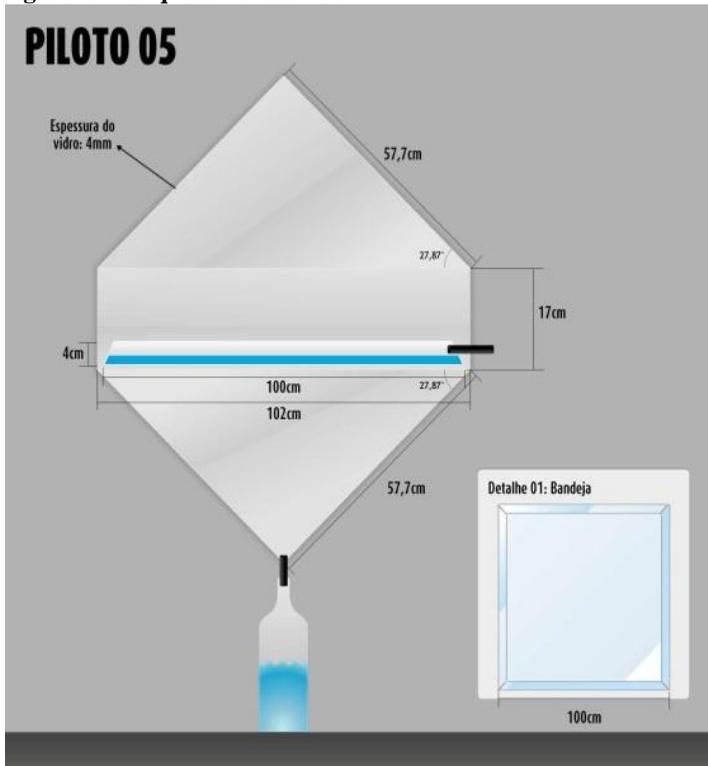
Fonte: Do Autor (2013)

Figura 42 - Esquema do Piloto 4



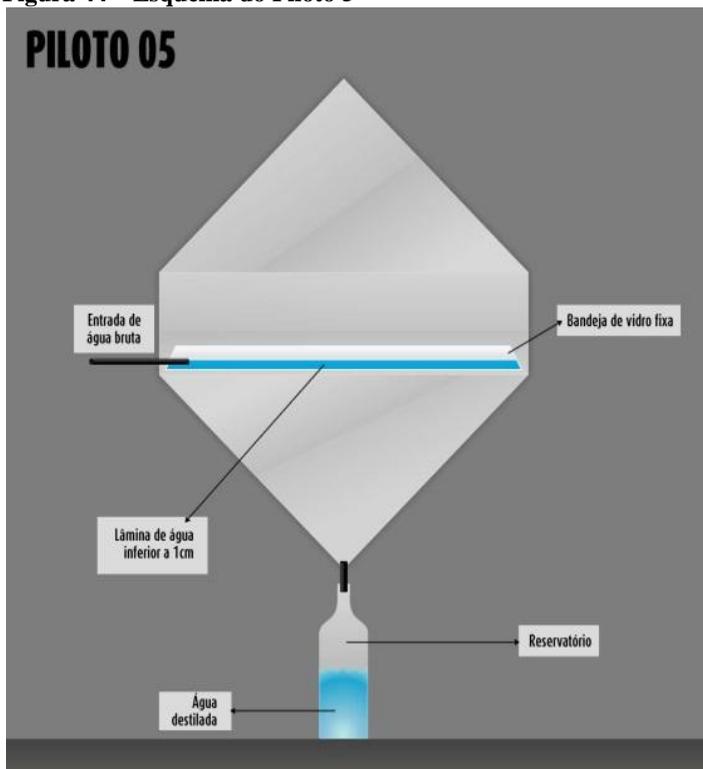
Fonte: Do Autor (2013)

Figura 43 - Esquema do Piloto 5



Fonte: Do Autor (2013)

Figura 44 – Esquema do Piloto 5



Fonte: Do Autor (2013)

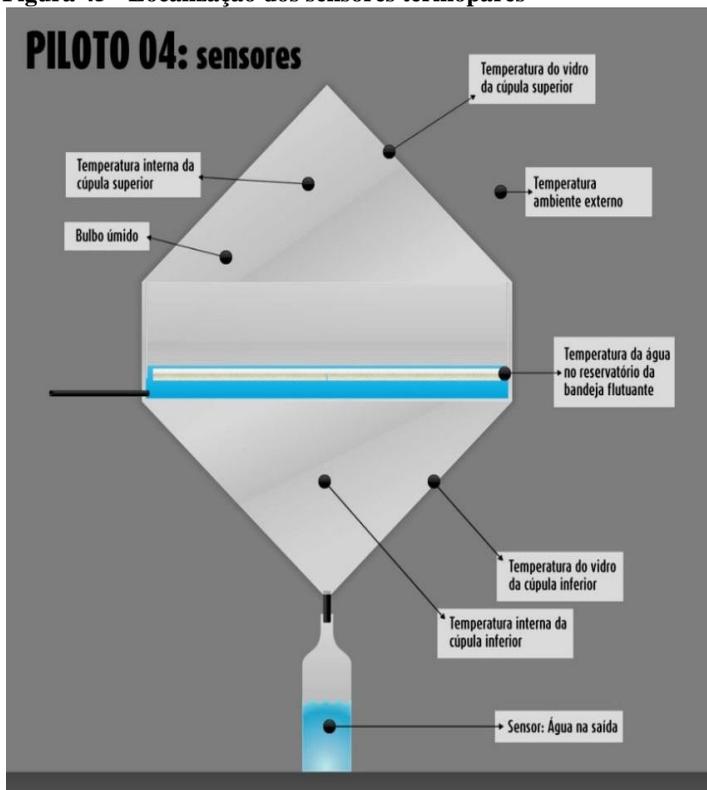
3.2.9. Análise Térmica

Nos balanços de energia efetivados, para os componentes, foram considerados os seguintes pontos:

- A estanqueidade no interior do destilador, sem fugas de vapor para o ambiente externo;
- Continuidade da massa de água no reservatório da bandeja flutuante;
- Inclinação da cobertura de vidro pequena – aproximadamente 27°;
- Temperaturas da cobertura superior e inferior de vidro são diferentes.

Para análise térmica do equipamento, inseriu-se, no Piloto 4 – Figura 45, sensores termopares para:

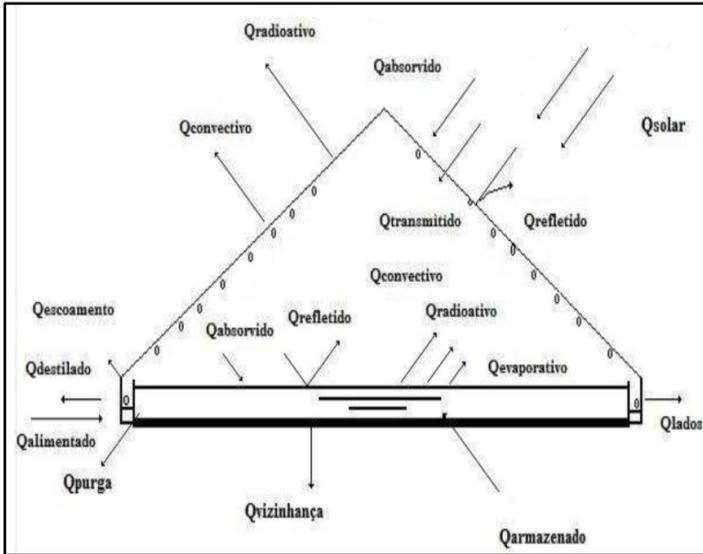
- *Temperatura:* Água no reservatório da bandeja flutuante;
- *Temperatura:* Água na saída - reservatório;
- *Temperatura:* Bulbo úmido;
- *Temperatura:* vidro da cúpula superior;
- *Temperatura:* vidro da cúpula inferior;
- *Temperatura:* ambiente externo;
- *Temperaturas:* interna da cúpula superior;
- *Temperaturas:* interna da cúpula inferior.

Figura 45 - Localização dos sensores termopares

Fonte: Do Autor (2013)

O modelo termodinâmico para destiladores solares de sistemas passivos, a partir de simulações, é desenvolvido a partir de equações de balanço de energia e componentes do sistema com o propósito de entender melhor os processos de transferência de calor e, conseqüentemente, a dinâmica da tecnologia do destilador solar (Figura 46).

Figura 46 - Mecanismos de transferência de calor em um destilador



Fonte: proposto por Talbert *et al.* (1970) adaptado por Duffie e Backman (1991)

3.2.9.1. Cálculos Transferência de Calor

Para os processos de transferência de calor, utilizar-se-à a área de espelho d'água (A_b) de $1,0 \text{ m}^2$ na parte superior e uma área (A_d) de $1,0 \text{ m}^2$ para parte inferior (fundo reservatório). Portanto:

$$A_b = A_d = 1 \text{ m}^2$$

3.2.9.2. Balanço de Energia

Para o cálculo experimental do balanço de energia, adotou-se um ponto na água do reservatório da bandeja flutuante. Tem-se as seguintes equações Eq.(21) e Eq.(21a):

[Energia de entrada] - [Energia de saída] = [Variação Energia]

$$E_{entra} - E_{sai} = \Delta E \text{ [Joules]}$$

$$Potência_{entra} - Potência_{sai} = \frac{\Delta E}{tempo} \left[\frac{\text{Joules}}{\text{seg}} \right] \rightarrow [\text{W}]$$

$$q_{entra} - q_{sai} = m_w \cdot L_w \frac{\partial T}{dt}$$

Logo temos:

$$\alpha_w \cdot \tau_c \cdot I_c \cdot A_{C\ Sup} + h_{tw} \cdot A_b (T_{C\ Sup} - T_w) + h_{I\ Inf} \cdot A_d (T_{I\ Inf} - T_w) = m_w \cdot L_w \cdot \partial T dt + h_{1g} \cdot A_{C\ Sup} \cdot T_{C\ Sup} - T_a \quad (21)$$

Chegou-se a seguinte equação:

$$\alpha_w \cdot \tau_c \cdot I_c \cdot A_{C\ Sup} + h_{tw} \cdot A_b (T_{C\ Sup} - T_w) + h_{I\ Inf} \cdot A_d T_{I\ Inf} - T_w = m_w \cdot L_w \cdot \partial T dt \quad (21a)$$

α_w – absorvidade do vidro

τ_c – transmitância do vidro

I_c – radiação solar incidente sobre a cúpula superior [W/m²]

$A_{C\ Sup}$ – área das faces da cúpula superior (m²)

h_{tw} – coef. transferência de calor: ponto na água e a cúpula superior vidro (W/m² °C);

A_d e A_b – área do espelho d'água da bandeja (m²)

T_w – temperatura da água (°C);

$T_{C\ Sup}$ – temperatura do vidro cúpula superior (°C);

$h_{I\ inf}$ – coef. transferência de calor: ponto na água e a cúpula inferior vidro ($W/m^2\ ^\circ C$);

$T_{I\ inf}$ – temperatura interna inferior ($^\circ C$);

m_w – taxa de condensação (kg/h);

L_w – calor latente de vapor da água ($J/Kg\ ^\circ C$) ou (J/Kg)

C_w – calor específico da água [$cal/g\ ^\circ C$]

$h_{I\ g}$ – coef. transferência de calor: ponto na água e a cúpula inferior vidro ($W/m^2\ ^\circ C$);

T_a – temperatura ambiente externo ($^\circ C$)

Para o coeficiente total de transferência de calor da superfície d'água para cobertura superior, (h_{tw}), será a soma dos coeficientes de radiação (h_{rw}), convecção natural (h_{cw}), e evaporação (h_{ew}), que representam as variáveis de transferência de calor no interior da cúpula (aplica-se para a cobertura inferior) onde teremos coeficiente total de transferência de calor da superfície d'água para cobertura inferior ($h_{I\ inf}$) Eq.(22).

$$h_{tw} = (h_{I\ inf}) = h_{rw} + h_{cw} + h_{ew} \quad (22)$$

3.2.9.3. Relação de Dunkle

Já a transferência de calor por convecção (convectivo) ocorre na mistura ar-vapor para a cobertura; a evaporação, processo água na bandeja – vapor e a condensação na mistura ar-vapor para cobertura, conforme a Relação de Dunkle (1961), com base no número *Grashof* (*Grashef*) modificado.

O calor é transportado através da maior parte da umidade do ar no interior do destilador, dentro do espaço entre a superfície da água e tampa de vidro, por convecção livre. Em convecção livre, o movimento do fluido é causado pela acção da flutuação (empuxo) por causa das forças resultantes da variação da densidade no espaço, por sua vez, existe sempre um gradiente de temperatura no fluido. No entanto, a convecção forçada surge devido ao gradiente de pressão aplicada externamente.

O ar úmido que tenha transportado o calor para a tampa de vidro libera sua entalpia à tampa de vidro ao entrarem em contacto, o que é, comparativamente, a uma temperatura inferior. O número do coeficiente de transferência de calor é geralmente relacionado com os números de Gr e Pr do seguinte modo:

$$Nu = f(Gr.Pr) \quad (23)$$

Para o fluxo de calor, a partir da superfície de água horizontal no sentido ascendente, isto é, contra as forças de gravidade, Jakob (1949,1957) sugeriu a seguinte relação ao correlacionar os dados experimentais de Muller and Reiher:

$$Nu = C(Gr.Pr)^n \quad (23a)$$

Eq.(21a) pode ser estendida, considerando Eq. (21b) como segue:

$$Nu = \frac{h_{ew} d}{k} = C(Gr.Pr)^n \quad (23b)$$

Aqui, C e n são constantes, cujos valores para vários intervalos de números Gr são dados como segue:

Para $Gr < 103$, $C=1$, $n=0$

Para $104 < Gr < 3.21 \times 10^5$, $C=0,21$, $n=1/4$

Para $3.2 \times 10^5 < Gr < 10^7$, $C=0,075$, $n=1/3$

No processo (a) acima, a magnitude de convecção é negligenciável. No processo (b), o fluxo de ar é laminar, e em (c), o fluxo de ar está em regime turbulento.

No caso de calor por convecção de ar úmido, na presença de transferência de massa de fluido de peso molecular mais baixo, ou seja, o vapor de água, torna-se necessário o uso de um número Grashof (Gr') especial. Por evaporação não isotermal

foi demonstrado por Sharpley e Boelter (1938) chegando na Eq.(24), onde ΔT é a diferença de temperatura equivalente.

$$(Gr') = \frac{x_1^3 \rho f^2 g B' \Delta T'}{u f^2} \quad (24)$$

Na relação de Dunkle (1961), para obter uma temperatura média do ar de 50°C, uma diferença de 17°C e ar saturado, assumindo temperatura equivalente. G_r' é aplicada a Eq.(22) é $2,81 \times 10^7$, x_1^3 . Ao longo do intervalo de temperatura de operação normal, para valores significativos, da água, para espaçamento x_1 , não sendo muito pequeno, G_r' pode estar compreendida no intervalo, para os quais $C = 0,075$ e $n = 1/3$ na Eq.(21). Para este valor do expoente n , o parâmetro de comprimento cancela, convenientemente, de modo a que o coeficiente de transferência de calor torne-se substancialmente independente da x_1 espaçamento.

Dunkle (1961) escolheu os valores do parâmetro físico (ocorrendo nas variáveis adimensionais), que é aplicável em toda a gama de funcionamento normal, chegando à relação:

$$q_{cw} = 0.884 * \left[T_w - T_c + \frac{(P_w - P_c) * T_w + 273}{268.9 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} * (T_w - T_c) \quad (25a)$$

$$q_{cw} = hc_w (T_w - T_c) \quad (25b)$$

$$h_{cw} = 0.884 * \left[T_w - T_c + \frac{(P_w - P_c) * T_w + 273}{268.9 \times 10^3 - P_w} \right]^{\frac{1}{3}} \quad (26)$$

q_{cw} = transferência de calor convectivo entre a base e o vidro;

h_{cw} = coeficiente convectivo

T_w – temperatura da água;

T_c – temperatura do vidro.

P_w – pressões parciais de vapor de água em função de T_w ;

P_c – pressões parciais de vapor de água em função de T_c .

$$\Delta T = \left[(T_w - T_c) + \frac{T_w (P_w - P_c)}{268.9 \times 10^3 - P_w} \right] \quad (27)$$

Com ΔT calcula-se o número de Rayleigh (Ra) modificado em função do produto dos números de Grashof (Gr) e Prandtl (Pr).

$$Ra = (\rho^2 \cdot g \cdot \beta \cdot Cp \cdot L^3 \cdot \Delta T) / \mu k \quad (28)$$

ΔT - diferença de temperatura equivalente;

Ra – Número de Reyleigh;

ρ – densidade da água (Kg/m^3);

g – aceleração da gravidade (m/s^2)

β – coeficiente de expansão do ar;

Cp – calor específico da água ($kJ/kg.k$)

μ – viscosidade da água ($Kg/s.m$);

k – coeficiente de condutividade ($W/m.k$) e,

L – espaço médio entre a água na bandeja de destilador e a superfície de condensação (m). = 18 cm ou 0,18 m.

O número de Rayleigh (Ra) pode ser utilizado para o cálculo no número de Nusselt (Nu) onde:

$$\text{Nu} = 0,075 (\text{Ra})^{1/3} \quad (29)$$

Beckman (1971) também utilizou pressupostos básicos e definiu um fator de permuta total entre os pares de superfícies enclausuradas, N-superfícies, de tal forma que o líquido de transferência de calor migra para uma superfície típica. Para o caso de um pequeno objeto convexo é dado por:

$$h_{rw} = \varepsilon_{eff} \sigma * (T_w^2 + T_c^2) * (T_w + T_c) \quad (30)$$

σ é a constante de Stefan-Boltzmann dada por:

$$\sigma = 5.67 \times 10^{-8} \text{ (W/m}^2\text{.k}^4\text{) e,}$$

ε_{ff} é a emissividade efetiva dada por:

$$\varepsilon_{ff} = \left[\frac{1}{\varepsilon_w} + \frac{1}{\varepsilon_c} - 1 \right]^{-1} \quad (31)$$

h_{rw} – coeficiente radioativo;

T_w – temperatura da água;

T_c – temperatura do vidro.

ε_w – emissividade da água = 0,98

ε_c – emissividade do vidro = 0,90

3.2.9.4. Modelo de Cooper e Dunkle

As pressões parciais de vapor de água, P_w e P_c em função da temperatura T_w e T_c são obtidas a partir do Modelo de Cooper e Dunkle (1961), traduzido de Tiwari & Tiwari (2008). O calor é transferido, a partir da superfície da água para a tampa de vidro por conta da transferência de massa do vapor de água, Eq.(32).

$$q_{cw} = h_{ew} (P_w - P_c) \quad (32)$$

A melhor representação dos fenômenos de transferência de calor de massa é obtida se o valor de h_{ew}/h_{cw} é feito para ser $16,273 \times 10^{-3}$. Deste modo, o calor transferido por unidade de área por unidade de tempo, por evaporação (coeficiente evaporativo) a partir da superfície da água para a cobertura de vidro pode ser dada por:

$$q_{ew} = 16,273 \times 10^{-3} * h_{cw} * (P_w - P_c) \quad (33)$$

$$h_{ew} = 0,016273 * h_{cw} * \frac{P_w - P_c}{T_w - T_c} \quad (34)$$

h_{ew} – coeficiente evaporativo;

h_{cw} – coeficiente convectivo;

P_w – pressões parciais de vapor de água em função de T_w

P_c – pressões parciais de vapor de água em função de T_c

T_w – temperatura da água;

T_c – temperatura do vidro.

Assim temos:

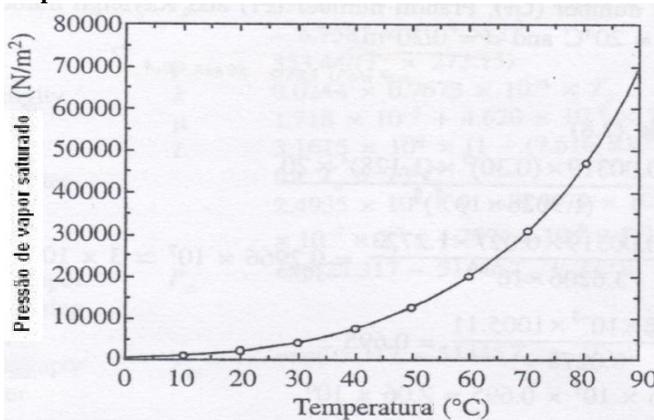
$$P_w = \exp \left[25.317 - \left(\frac{5144}{273 + T_w} \right) \right] \quad (35a)$$

e

$$P_c = \exp \left[25.317 - \left(\frac{5144}{273 + T_c} \right) \right] \quad (35b)$$

Onde a temperatura T é dada na unidade Kelvin e a pressão Pa em Pascal. Em seguida, a variação da pressão de vapor de saturação com a temperatura é mostrada no Gráfico 5.

Gráfico 5 - Variação da pressão de vapor de saturação com a temperatura



Fonte: Tiwari & Tiwari (2008)

Eq.(33) também pode ser escrita como:

$$q_{ew} = h_{ew} \cdot (T_w - T_c) \quad (36)$$

A taxa de transferência de massa:

$$m_{ew} = q_{ew} / L \quad (37)$$

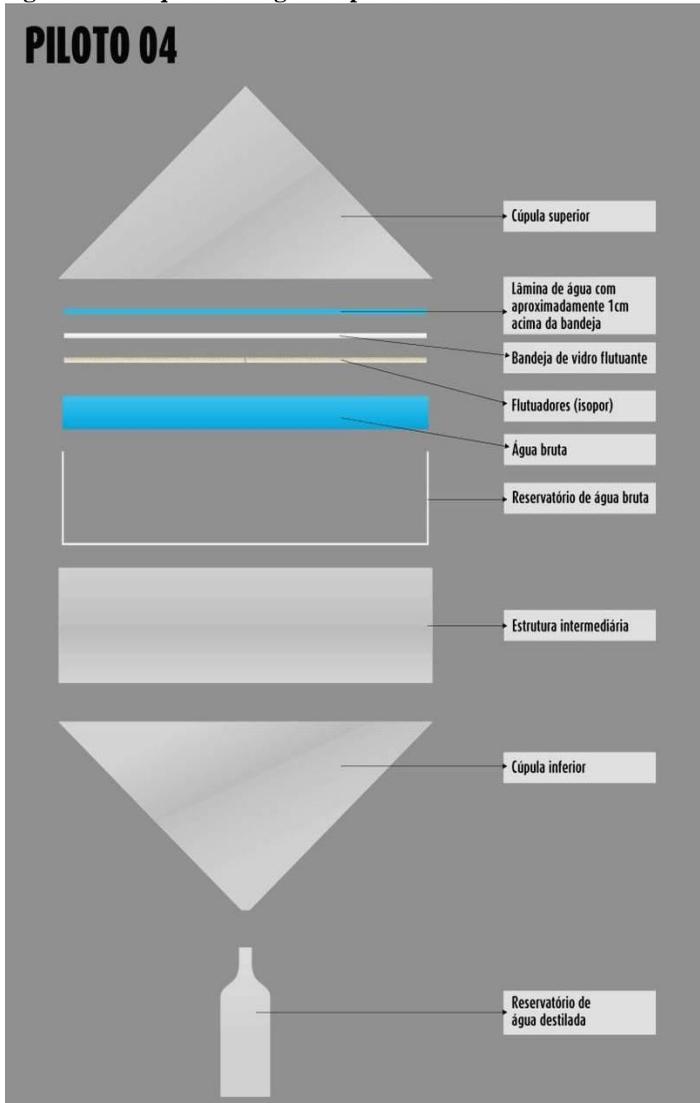
3.2.10. Descrição dos pilotos: materiais, parâmetros e instrumentação utilizados

3.2.10.1. Estrutura Piloto 4

O Piloto 4 (Figura 47) é constituído por:

- a) Uma cobertura de vidro na forma piramidal, que permite a passagem da radiação solar em todos os quadrantes para o interior da unidade e a face interior responsável pelo processo de evaporação e condensação da água;
- b) Reservatório para água bruta;
- c) Uma interface de vidro que sustenta a cúpula superior, ligada à cúpula inferior;
- d) Bandeja flutuante de vidro suportada por 2 chapas de isopor (0,50cm x 100cm x 1,0cm), dentro do reservatório de água bruta, que permitem controle da lâmina d'água;
- e) Um afastamento de 2 cm entre a lateral do Piloto 4 e a lateral externa do reservatório de água bruta que permite o direcionamento da recolha da água destilada na extremidade inferior da cobertura para a parte inferior inclinada; (pirâmide invertida – tipo funil);
- f) Pirâmide invertida de vidro com propósito de escoar rapidamente a saída do destilado para reservatório externo por um sifão de PVC, até uma bombona de 10 litros;
- g) As 4 inclinações de $25,68^\circ$ na cúpula superior e inferior;
- h) Entre as cúpulas, uma estrutura de vidro (104 cm x 104 cm x 17 cm)
- i) Internamente, o reservatório (de 102 cm x 102 cm x 15 cm), apoiado por suportes na cúpula invertida;
- j) Estrutura de madeira como suporte para o experimento do piloto.

Figura 47 - Esquema imagem explodida - Piloto 4



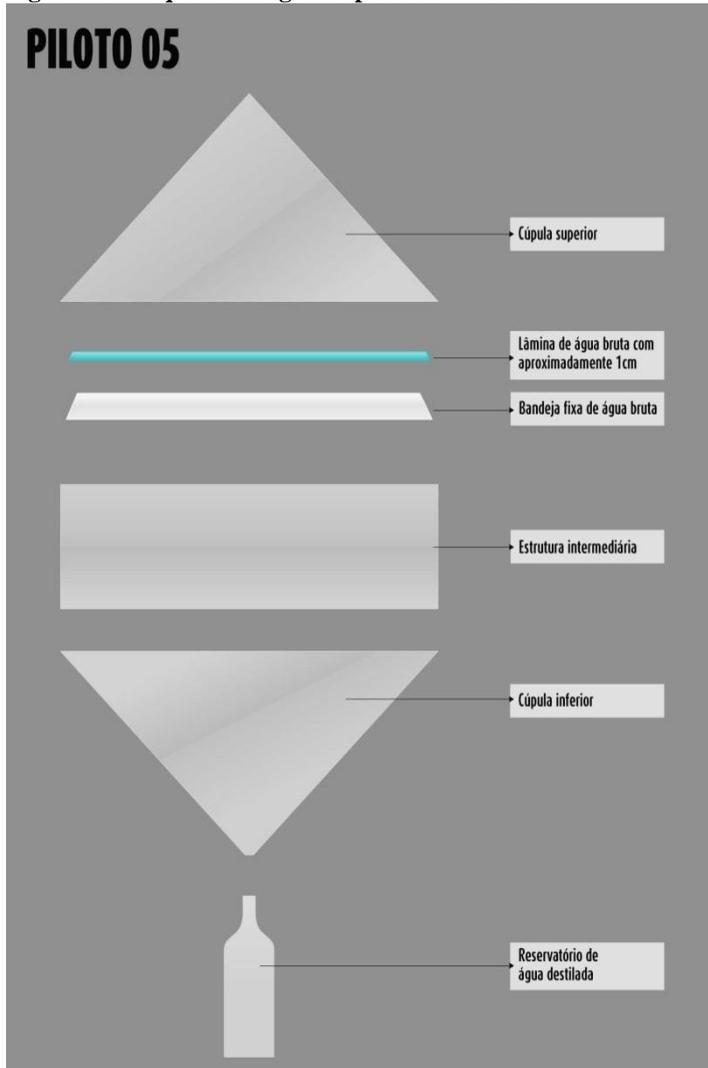
Fonte: Do Autor (2013)

3.2.10.2. Estrutura Piloto 5

O Piloto 5 (Figura 48) é constituído por:

- a) Uma cobertura de vidro na forma piramidal, que permite a passagem da radiação solar em todos os quadrantes para o interior da unidade e a face interior responsável pelo processo de evaporação e condensação da água;
- b) A bandeja de vidro para água bruta;
- c) Uma interface de vidro que sustenta a cúpula superior, ligada à cúpula e inferior;
- d) Uma calha na extremidade da bandeja, que permite o direcionamento da recolha da água destilada. Esta calha localiza-se na extremidade inferior da cobertura, direcionando a água destilada para a parte inferior inclinada (pirâmide invertida – tipo funil),
- e) Pirâmide invertida de vidro com propósito de escoar rapidamente a saída do destilado para reservatório externo por um sifão de PVC, até uma bombona de 10 litros;
- f) As 4 inclinações de $27,87^\circ$ na cúpula superior e inferior;
- g) Entre as cúpulas, uma estrutura de vidro (104 cm x 104 cm x 17 cm)
- h) Internamente, uma bandeja (de 100 cm x 100 cm x 5 cm), estes 5 cm de vidro possuem uma pequena inclinação para dentro) apoiada por suportes na cúpula invertida.
- i) Estrutura de madeira como suporte para o experimento do piloto.

Figura 48 - Esquema imagem explodida - Piloto 5



Fonte: Do Autor (2013)

3.2.11. Materiais utilizados

A tabela 22 e Tabela 23 apresentam a descrição dos materiais utilizados, quantidades e custos para construção dos Pilotos 4 e 5 em Florianópolis.

Tabela 22 - Materiais, quantidades e custos do piloto 4

Descrição	Unidade	Custo
placas de vidro triangulares com 57 cm de altura x 104 cm de base na espessura de 4 mm;	8	328,00
placa de vidro quadrada com 102 cm x 102 cm na espessura de 4 mm;	1	72,00
placa de vidro quadrada com 100 cm x 100 cm na espessura de 4 mm;	1	65,00
caixas d'água de fibra – 80 cm x 30 cm x 40 cm;	2	60,00
placas de vidro retangulares com 17 cm x 104 cm na espessura de 4 mm;	4	56,00
placas de vidro retangulares 17 cm x 102 cm na espessura de 4 mm;	4	56,00
tubos de silicone neutro	7	41,41
barras de alumínio "U";	6	29,25
barras de alumínio "U";	6	22,68
tubos de silicone	5	19,40
tubos de silicone (MEGAVED)	5	18,25
Fecho automático zincado (2ª compra)	4	16,85
Tubos silicone atóxico	2	16,50
Fecho automático zincado (1ª compra)	4	15,00
barras de alumínio "L";	6	11,70
barras de alumínio "L";	6	10,08
adaptador PVC soldável para caixa d'água com anel;	4	9,40
barras de alumínio "regua"	6	9,00
parafusos inox	32	6,87
Chapa de alumínio 400 cm x 0,05 cm x 15 cm;	1	5,85
registro esfera VS Rosca 1.½;	1	5,65
sifões 40 mm;	2	5,60
bóias para caixa d'água ¾;	2	5,15
placas de isopor – 50 cm x 100 cm x 1 cm;	2	5,15
caixa - 50 metros de veda rosca;	1	4,33
conexão com rosca para mangueira e ½;	9	3,25
bucha de redução PVC esgoto branco 50 x 40 mm;	2	1,65
luva de redução ½ para ¾;	2	1,45
metros de mangueira preta ¾;	8	1,41
tê ½;	1	1,10
luva ¾;	2	0,70
Arroelas inox	32	0,64
Porcas inox	32	0,64
nipel ½;	2	0,48
flange ¾;	2	0,48
adaptador soldável curto com bolsa e rosca para Reg. 25 mm x ¾;	2	0,35
joelho de 45º ½;	2	0,33
tubo de PVC ½ (50 cm);	1	0,25

Fonte: Do Autor (2012)

Custo Total 907,84

Tabela 23 – Materiais, quantidades e custos do piloto 5

Descrição	Unidade	Custo
placas de vidro triangulares com 56 cm de altura x 102 cm de base na espessura de 4 mm;	8	328,00
placa de vidro quadrada com 100 cm x 100 cm na espessura de 4 mm;	1	65,00
placas de vidro trapezoidais 100 cm x 94 cm x 5 cm na espessura de 4 mm;	4	60,00
caixas d'água de fibra – 80 cm x 30 cm x 40 cm;	2	60,00
placas de vidro retangulares com 17 cm x 102 cm na espessura de 4 mm;	4	56,00
tubos de silicone neutro	7	41,41
barras de alumínio "U";	6	29,25
barras de alumínio "U";	6	22,68
tubos de silicone	5	19,40
tubos de silicone (MEGAVED)	5	18,25
Fecho automático zincado (2ª compra)	4	16,85
Tubos silicone atóxico	2	16,50
Fecho automático zincado (1ª compra)	4	15,00
barras de alumínio "L";	6	11,70
barras de alumínio "L";	6	10,08
adaptador PVC soldável para caixa d'água com anel;	4	9,40
barras de alumínio "regua"	6	9,00
parafusos inox	32	6,87
Chapa de alumínio 400 cm x 0,05 cm x 15 cm;	1	5,85
registro esfera VS Rosca 1.½;	1	5,65
sifões 40 mm;	2	5,60
bóias para caixa d'água ¾;	2	5,15
placas de isopor – 50 cm x 100 cm x 1 cm;	2	5,15
caixa - 50 metros de veda rosca;	1	4,33
conexão com rosca para mangueira e ½;	9	3,25
bucha de redução PVC esgoto branco 50 x 40 mm;	2	1,65
luva de redução ½ para ¾;	2	1,45
metros de mangueira preta ¾;	8	1,41
tê ½;	1	1,10
luva ¾;	2	0,70
Arroelas inox	32	0,64
Porcas inox	32	0,64
nípel ½;	2	0,48
flange ½;	2	0,48
adaptador soldável curto com bolsa e rosca para Reg. 25 mm x ¾;	2	0,35
joelho de 45º ¾;	2	0,33
tubo de PVC ¾ (50 cm);	1	0,25

Fonte: Do Autor (2012)

Custo Total 839,84

3.2.12. Parâmetros construtivos

O Quadro 10 apresenta, abaixo, os parâmetros, unidades e os respectivos valores numéricos utilizados na construção dos Pilotos 4 e 5.

Quadro 10 - Parâmetros construtivos dos pilotos 4 e 5

Parâmetros	Unidade	Valores numéricos / ângulos	
		Piloto 4	Piloto 5
G_{SUP} - ângulo de inclinação cúpula superior	-x-	25,68 °C	27,87 °C
G_{INF} - ângulo de inclinação cúpula inferior	-x-	25,68 °C	27,87 °C
A_{TOTAL} - área total do piloto	m ²	3,76	3,64
$A_{C SUP}$ - área cúpula superior	m ²	1,34	1,30
A_I - área intermediária lateral	m ²	1,08	1,04
$A_{C INF}$ - área cúpula inferior	m ²	1,34	1,30
A_{AQ} - área reservatório de água da bandeja flutuante	m ²	0,15	- x -
A_{FACE} - área de uma face	m ²	0,065	0,065
$A_{TOTAL FACE}$ - área total das faces (8 faces)	m ²	0,52	0,52
$A_{B FLU}$ - área bandeja flutuante	m ²	1,00	- x -
$A_{B FIX}$ - área bandeja fixa	m ²	- x -	1,00
$A_{CX ENT}$ - área caixa de entrada	m ²	62,60	62,60
E_{VC} - espessura do vidro	mm	4,0	4,0
E_{AL} - espessura do alumínio	mm	1,0	1,0
E_I - espessura do isolamento	mm	1,0	1,0
ϵ -emissividade vidro	ϵ	0,90	0,90
$V_{C SUP}$ - volume cúpula superior	m ³	0,09	0,09
V_I - volume intermediária lateral	m ³	0,18	0,18
$V_{C INF}$ - volume cúpula inferior	m ³	0,09	0,09
V_{AQ} - volume reservatório bandeja flutuante	m ³	0,15	- x -
$V_{LAN H2O FIX}$ - volume da lâmina de água médio bandeja fixa	m ³	- x -	0,01
$V_{LAM H2O FLU}$ - volume da lâmina de água médio bandeja flutuante	m ³	0,01	- x -
$V_{H2O FIX}$ - volume de água na bandeja fixa	m ³	- x -	0,02
$V_{CX ENT}$ - volume caixa de entrada	m ³	0,06	0,06 m ³
V_{TOTAL} - volume total do piloto	m ³	0,36	0,35
R - Reservatório água bruta	m ³	0,06	0,06
C - Reservatório Principal - caixa d'água	m ³	0,2	0,2
B - Reservatório Móvel - Bombona plástica	m ³	0,02	0,02

Fonte: Do Autor (2012)

3.2.13. Descrição da Instrumentação

Os materiais e equipamentos utilizados para o monitoramento do Piloto 4 seguem no Quadro 11.

Quadro 11 – Equipamentos e instrumentação utilizados

Descrição equipamentos	Quantidade (unidades)
Datalogger - A202	1
Cabo Com. Termopar Tipo K	8
Termopares Tipo K - MTK-01	8
Conversor USB RS232/RS485	1
Cabo Com. AFD 1P 14AWG	1
Termômetro - MT-330	1
Computador - Intel® Corel™ Duo CPU E4500 @2.20GHz, 3,37GB de RAM	1
Proveta plástica graduada 1 Litro - J.Prolab	1

3.2.14. Operação dos Pilotos *In Loco*

Os pilotos foram alimentados com água da Companhia Catarinense de Águas e Abastecimento – CASAN, a qual atende a Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC. Além desta, foi utilizada água coletada da chuva eventualmente. A caixa d'água principal recebe uma quantidade de água e são distribuídas em pequenas caixas controladas por válvula de boia. Isso permite um segundo controle dos níveis d'água dos pilotos.

Os equipamentos Pilotos 4 e 5 foram operados diariamente, com recolhimento do destilado e controle no abastecimento do sistema. Para isso, observou-se o nível dos tanques de controle de entrada de água e a lâmina d'água APÊNDICE C – ARQUIVO 1.

Nos cálculos obtive-se as seguintes medidas de perda de água no sistema:

- Piloto 4 = 1,24 L/188 dias = 0,006 L/m².d
- Piloto 5 = 4,54 Litros/188 dias = 0,024 L/m².d

Para o Piloto 4, o monitoramento da temperatura deu-se com a instalação de 8 sensores termopares (Figura 45), ligados ao *datalogger* via conversor (Figura 49) e, este a um computador com os seguintes canais especificados no aplicativo no ambiente Windows (Figura 50).

- Canal 01: temperatura interna superior (sensor na atmosfera interna da cúpula);
- Canal 02: temperatura bulbo úmido (sensor com “gase cirúrgica” para reter umidade);
- Canal 03: temperatura do vidro superior (da cúpula superior);
- Canal 04: temperatura da água no aquário (sensor na interface massa d’água com a lâmina da bandeja);
- Canal 05: temperatura do vidro inferior (da cúpula inferior);
- Canal 06: temperatura interna inferior (sensor na atmosfera interna da cúpula);
- Canal 07: temperatura do ambiente externo;
- Canal 08: temperatura da água na saída.

Figura 49 - Conversor D501 e Datalogger (MasterLogger A202)



Fonte: Do Autor (2013)

Figura 50 - Painel de controle das temperaturas – aplicativo para computador



Fonte: Do Autor, 2013.

As temperaturas climáticas externas máxima, mínima e média, pressão atmosférica, umidade do ar, radiação total global, direção e velocidades dos ventos, precipitação, são obtidas nos laboratórios do Lepten-UFSC, LCQA/UFSC e EPAGRI. Além destes, outras informações são adquiridas, conforme o sistema METAR, observando a nebulosidade, comportamento da precipitação e o descritor da situação do tempo, como trovoadas, granizo entre outros fenômenos APÊNDICE C – ARQUIVO 2.

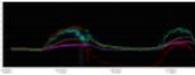
3.2.15. Tratamento - dados do datalogger

O Período das Coletas dos Pilotos 01 e 02 foram aproximadamente de dois anos e três meses, mais precisamente de 18 março de 2011 a 17 de julho de 2013. Porém, a título de construir as condicionantes, foram utilizados apenas os dados dos primeiros seis meses (18 março a 17 julho 2011). Os Pilotos

4 e 5 operaram seis meses com leituras efetuadas, diariamente, a partir de 12 de dezembro de 2012 até 13 junho de 2013. As leituras de produção de água (saída) e abastecimento do sistema (entrada) tinham como propósito o balanço de massa do sistema, ao qual se estava atento ao manter um controle de manutenção das lâminas d'água em ambos equipamentos.

Os dados de temperatura obtidos pelos sensores foram sistematizados em relatórios contendo data, cabeçalho, legenda das temperaturas (especificação dos sensores no piloto), máxima, mínima e média de cada canal, conforme a Figura 51. Os gráficos são visualizados com legenda no aplicativo como segue a Figura 52 e no relatório conforme a Figura 53. Eles foram tirados em períodos aleatórios de monitoramento, entre 1 e 30 dias, contendo um resumo dos dados diários de 10 em 10 minutos Figura 54. APÊNDICE C – ARQUIVO 3.

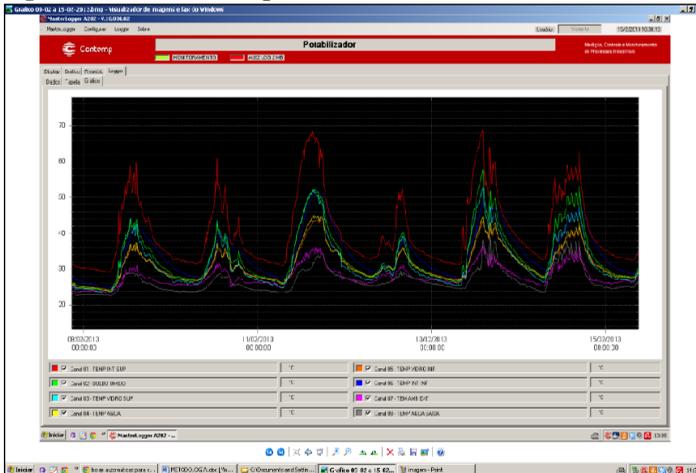
Figura 51 - Cabeçalho do relatório com médias, máximas e mínimas do período

	Data: 29/12/2012 11:26:38
	Radiação Global Solar (W/m²): :
	Direção e Velocidade do Vento (m/s): :
	Pressão Atmosfera (hPa): Umidade Relativa (%): :
	Precipitação Diária (mm): Eventos Extremos: :
	Produção de Água Diária (L.m²/d.): :

Colunas	Legenda	Mínimo	Média	Máximo	Unid.
Coluna 01:	Canal 01 - TEMP INT SUP	29,70	39,24	72,60	°C
Coluna 02:	Canal 02 - BULBO UMIDO	24,60	33,08	61,90	°C
Coluna 03:	Canal 03 - TEMP VIDRO SUP	23,90	31,22	57,80	°C
Coluna 04:	Canal 04 - TEMP AGUA	24,70	30,16	49,90	°C
Coluna 05:	Canal 05 - TEMP VIDRO INF	24,80	29,99	48,60	°C
Coluna 06:	Canal 06 - TEMP INT INF	25,00	32,96	56,50	°C
Coluna 07:	Canal 07 - TEM AMB EXT	23,40	27,00	43,90	°C
Coluna 08:	Canal 08 - TEMP AGUA SAIDA	22,60	25,67	38,40	°C

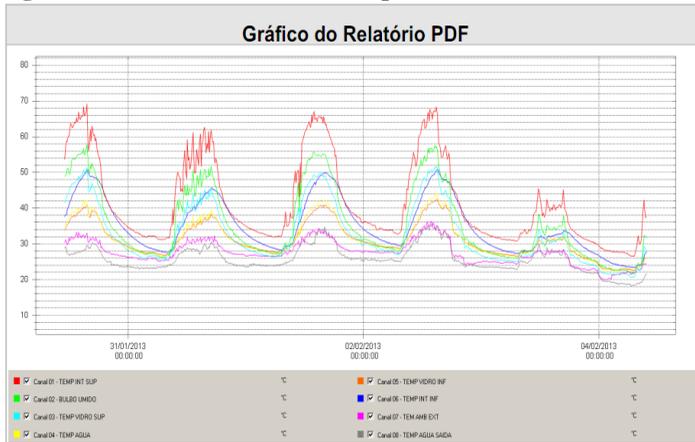
Fonte: Do Autor (2013)

Figura 52 - Gráfico no aplicativo



Fonte: Do Autor (2013)

Figura 53 - Gráfico do relatório do período



Fonte: Do Autor (2013)

Figura 54 - Cabeçalho do relatório, gráfico e resumos (dados 10 em 10 minutos)

Nº Linha	Data/Hora	01	02	03	04	05	06	07	08
1	30/01/13 11:06:12.0	53,7	48,8	41,4	34,7	33,7	37,6	30,2	28,6
2	30/01/13 11:16:12.0	57,1	49,1	42,4	35,2	34,3	38,1	31	29,2
3	30/01/13 11:26:12.0	58,7	49,8	42,9	35,9	34,9	38,2	30,3	28,2
4	30/01/13 11:36:12.0	58,6	50,9	43,3	36,3	35,2	39,3	29,7	27,3
5	30/01/13 11:46:12.0	60	51,1	44	36,7	35,6	40,1	30,1	27,1
6	30/01/13 11:56:12.0	60,1	49,8	44,5	37	35,9	40,9	31,7	26,7
7	30/01/13 12:06:12.0	61,7	49,3	45,3	37,5	36,4	41,6	30,7	26,6
8	30/01/13 12:16:12.0	63,6	50,3	45,8	38	36,9	42,1	31,2	27,1
9	30/01/13 12:26:12.0	63,3	53,2	46,7	38,7	37,4	42,9	31,8	27,1
10	30/01/13 12:36:12.0	62,4	53,5	46,8	38,8	37,6	43,4	31,9	27
11	30/01/13 12:46:12.0	62,7	53,8	46,7	38,8	37,5	44	31,3	27
12	30/01/13 12:56:12.0	63,5	53,8	47,2	39,2	37,7	44,4	31,6	27,1
13	30/01/13 13:06:12.0	64	53,5	46,9	38,4	37,8	44,6	31,5	27,5
14	30/01/13 13:16:12.0	63,9	53,9	47,2	38,9	37,6	45,4	32,3	27,2
15	30/01/13 13:26:12.0	65,2	54,3	47,8	39,4	38,1	45,9	33,1	27,3
16	30/01/13 13:36:12.0	64	54,8	48,1	39,6	38,5	46,4	32,5	27,6
17	30/01/13 13:46:12.0	64,6	54,8	48,1	39,5	38,5	46,8	31,6	27,7
18	30/01/13 13:56:12.0	66,8	55,1	48,8	40	39	47,1	33,2	27,7
19	30/01/13 14:06:12.0	65	54,9	48,1	39,5	38,7	47,6	32,3	27,6

Fonte: Do Autor (2013)

3.2.16. Sistematização dos dados

A metodologia para o tratamento estatístico pretende analisar e interpretar a frequência da ocorrência nos estudos observacionais, quanto ao experimento dos respectivos pilotos, possibilitando uma melhor compreensão desta tecnologia para atender as questões da pesquisa. Para isso, adentra-se a sistematização dos dados de análise térmica (datalogger), variáveis climáticas e seus respectivos métodos gráficos e estatísticos.

Para trabalhar os dados para construção de gráficos mensais, diários e horários, foram revistos a completude dos mesmos, sua consistência e a inserção de dados secundários, quando necessários.

Para os gráficos mensais, foram realizadas as análises pela média mensal, pois os meses de dezembro de 2012 e junho de 2013 não estão contribuindo com todos os seus dias. O período de pesquisa compreende os dias entre 12/12/2012 e 13/06/2013.

Foram listados, a seguir, passos do método utilizado, os agrupamentos ano/mês e os tipos gráficos dos respectivos meses utilizados, entre os anos 2012 e 2013. Observa-se que as variáveis estão em conformidade com os cálculos na análise térmica.

- a) Média dos coeficientes de transferência de calor radioativo - hrw_1 , convectivo - hcw_1 e evaporativo - hew_1 , na cúpula (cobertura) superior do potabilizador solar. Os dados foram agrupados por ano e mês;
- b) Média dos coeficientes de transferência de calor radioativo - hrw_2 e convectivo - hcw_2 na cúpula (cobertura) inferior do potabilizador solar. Os dados foram agrupados por ano e mês;
- c) Médias dos coeficientes de transferência de calor totais Hrw , Hcw e Hew e a soma da produção teórica da massa de vapor (m). Os dados foram agrupados por ano e mês;

- d) Média de fluxo de calor radioativo - q_{rw1} , convectivo - q_{cw1} e evaporativo - q_{ew1} na parte superior do potabilizador solar. Os dados foram agrupados por ano e mês;
- e) Média de fluxo de calor radioativo - q_{rw2} e convectivo - q_{cw2} na parte inferior do potabilizador solar. Os dados foram agrupados por ano e mês;
- f) Médias de fluxos de calor totais, radioativo - Q_{rw} , convectivo - Q_{cw} e evaporativo - Q_{ew} , considerando o mesmo tipo de agrupamento ano e mês;
- g) Desconsiderado o coeficiente de transferência de calor evaporativo e fluxo de calor evaporativo na cúpula (cobertura) inferior do potabilizador solar;
- h) Média dos coeficientes de transferência de calor total - H_t e fluxo de calor total - Q_t ;
- i) Gráficos de duas formas diferentes (barras e linhas) da precipitação ocorrida neste período de análise;
- j) Comparação entre a produção teórica da massa de vapor e a produção real do destilado, considerando o líquido coletado nos aparelhos Piloto 4 e Piloto 5.
- k) Gráficos das temperaturas ambientes máximas, médias e mínimas, ocorridas neste período de análise para cada agrupamento por ano e mês;
- l) Gráfico diário da radiação solar média observada entre 12/12/2012 e 13/06/2013.
- m) Outros gráficos intermediários para complemento das análises.

Dentro do período de pesquisa realizado, entre 12/12/2012 e 13/06/2013, foram selecionados alguns dias atípicos, por exemplo, o dia mais quente 26/12/2012, e o dia de maior produção de destilado 18/12/2012. Coincidentemente, o período mais quente dos 6 meses. Para isso, apresenta-se alguns resultados produzidos em cada hora do dia, entre as 6h e 23h, completando um total de 18 horas.

A seguir, apresenta-se os passos do método utilizado, os agrupamentos ano e mês para gráficos diários. Observa-se que as variáveis estão em conformidade com os cálculos na análise térmica:

- a) Soma dos coeficientes de transferência de calor radioativo - hrw_1 , convectivo - hcw_1 e evaporativo - hew_1 , na cúpula (cobertura) superior do potabilizador solar.
- b) Soma dos coeficientes de transferência de calor radioativo - hrw_2 e convectivo - hcw_2 na cúpula (cobertura) inferior do potabilizador solar;
- c) Soma total dos coeficientes de transferência de calor Hrw , Hcw e Hew e soma da produção teórica da massa de vapor (m). Os dados foram agrupados por ano e mês;
- d) Soma da produção teórica da massa de vapor e a produção média real do destilado coletado no potabilizador solar - Piloto 4. As médias foram consideradas 18 horas de produção;
- e) Soma do fluxo de calor radioativo - qrw_1 , convectivo - qcw_1 e evaporativo - qew_1 na parte superior do potabilizador solar;
- f) Soma do fluxo de calor radioativo - qrw_2 e convectivo - qcw_2 na parte inferior do potabilizador solar;
- g) Soma dos totais de fluxos de calor radioativo - Qrw , convectivo - Qcw e evaporativo - Qew ;
- h) Desconsiderado o coeficiente de transferência de calor evaporativo, conseqüentemente, o fluxo de calor evaporativo na cúpula (cobertura) inferior do potabilizador solar;
- i) Soma dos coeficientes de transferência de calor total - H_t e fluxo de calo total - Q_t .

Dentro do período de pesquisa realizado, entre 12/12/2012 e 13/06/2013 foram selecionadas algumas variáveis em função do horário em que foram coletadas ou calculadas. Os horários de coleta variam das 6h às 23 h.

A seguir, são listados os passos do método utilizado, os agrupamentos ano, mês e hora utilizados, para gráficos de horas. Observa-se que as variáveis estão em conformidade com os cálculos na análise térmica.

- a) Média da temperatura ambiente, média da temperatura no vidro superior e média de temperatura da água na bandeja;
- b) Média da temperatura da água na bandeja e média da radiação no período analisado. A partir do dia 16 de março, houve perda de dados de radiação solar. Obtiveram-se dados secundários, mas em nível diário, e não horário. Portanto, para este gráfico optou-se por retirar estes dados e apresentar a média horária dos casos coletados. Dias desconsiderados: 12/12/12 e 16/03/13 a 27/03/13.
- c) Soma de fluxo de calor total - Q_t e a média da radiação, agrupados por ano, mês e hora. Neste caso, usou-se o gráfico de barras verticais. Como no caso anterior, alguns dados de radiação foram desconsiderados.

3.2.17. Análise Estatística

A partir das variáveis climáticas, utiliza-se uma metodologia de análise estatística multivariada. Esta se preocupa com os métodos estatísticos para descrever e analisar dados multivariados. A necessidade de entender as relações entre diversas variáveis aleatórias faz da análise multivariada uma metodologia com grande potencial de aplicação. Ela permite o estudo de fenômenos complexos, pois realiza o tratamento simultâneo de diversas variáveis. Nesta metodologia, utiliza-se uma das técnicas da estatística multivariada, a análise fatorial.

Hair (2005) apresenta a análise fatorial como uma técnica multivariada de interdependência em que todas as variáveis simultaneamente são consideradas. Cada variável é

relacionada com as demais, a fim de estudar as interrelações existentes entre elas, buscando a redução ou sumarização dos dados.

Vicini (2005) considera a análise fatorial uma técnica estatística, pois pressupõe a existência de um modelo que permite que se façam interferências e cumpre com algumas pressuposições básicas sobre variáveis em análise. Pode-se entendê-la como uma classificação de objetos em grupos diferentes e, entre eles, deverá ter ou não uma distância.

As variáveis analisadas foram a radiação solar global, precipitação, umidade relativa (ar), pressão atmosférica, temperatura (ambiente) e velocidade média do vento em relação à produção do destilado para os Pilotos 1, 2, 4 e 5. As denominações no gráfico são representadas pelas variáveis climáticas, como descritas, e a produção pela terminologia Piloto, isto é, Piloto significa a produção de destilado, conforme a numeração 1,2, 4 e 5.

Assim, foram comparadas todas as variáveis climáticas com a produção de água nos quatro equipamentos pilotos, ocorrida no período de 12/12/2012 a 13/06/2013. Para isso, foram verificadas duas situações distintas, para o período de 188 dias (6 meses):

- a) Considerando todas as variáveis climáticas, totalizando um período de 75 dias, na interrelação com a produção de água nos Pilotos 1,2,4 e 5, considerando apenas os dias em que ocorreu precipitação (dias chuvosos). Para esta situação é retirada a variável precipitação;
- b) Considerando todas as variáveis climáticas, totalizando um período de 113 dias, na interrelação com a produção de água nos Pilotos 1,2,4 e 5, considerando apenas os dias sem precipitação (dias não-chuvosos). Para esta situação é retirada a variável precipitação.

Com as duas situações analisadas, primeiramente, procura-se verificar o que ocorre em regiões com a precipitação mais intensa. Em segundo lugar, verificar a situação que não há predominância de chuvas frequentes, como exemplo de certas zonas na região do Semi-árido brasileiro.

Nos resultados, opta-se por trabalhar apenas com os escores fatoriais representados no fator 1 e fator 2 das variáveis do modelo, entendendo serem suficientes para explicar o fenômeno. Já o Gráfico dos escores fatoriais, representados nos três primeiros fatores (gráfico 3D) para consultas futuras, encontra-se no APÊNDICE C – ARQUIVO 6.

Assim, entende-se que o objetivo da análise fatorial é a parcimônia, procurando definir o relacionamento entre as variáveis de modo simples e usando um número de fatores menor que o número original de variáveis.

O método de análise fatorial segue alguns passos para interpretar os gráficos de fatores:

1º) Análise do fator 1 entre uma linha divisória central, separando os espaços em duas partes, superior e inferior, e em 4 partes subsequentes (1º, 2º, 3º e 4º quadrantes);

2º) Análise do fator 2 entre uma linha divisória central, separando os espaços em duas partes, esquerda e direita, e em 4 partes subsequentes (1º, 2º, 3º e 4º quadrantes);

3º) Análise, primeiramente, fator 1 e depois do fator 2;

4º) Para os dois fatores, verificar se há grupos de variáveis no mesmo quadrante, podendo identificá-las, se suas interrelações são mais ou menos intensas em relação à variável proposta (Pilotos 1,2,4 e 5);

5º) Para os dois fatores, verificar se há variáveis no quadrante oposto, em diagonal, em relação ao ponto (0,0), o que

poderá apontar uma influência ou interrelação mais ou menos intensa, contrária à variável principal – Pilotos 1,2,4 e 5);

6º) Verificação de ortogonalidade entre as variáveis dos quadrantes laterais, em relação à variável principal (Piloto), tendo como referencial o ponto (0,0). Caso positivo, não há interrelação alguma com a variável principal;

7º) Observação, sempre ao grau de intensidade das interrelações;

8º) Quando perto da origem (0,0), tem baixa representatividade;

9º) Observação à porcentagem de variância de cada fator.

O valor de variância total, dado em percentagem e presente lateralmente nos gráficos de fatores, avalia a contribuição do modelo construído pela análise fatorial. Quando a explicação da variância pelo fator for alta, existe uma alta explicação desse fator ao modelo, e quando baixa, existe uma baixa explicação do fator ao modelo.

Outro método de avaliação utilizado, foi o modelo matemático de dispersão para análise econômica. O modelo de dispersão é chamado de simples quando envolve uma relação causal entre duas variáveis. Já, quando é multivariado, envolve uma relação causal com mais de duas variáveis. Os modelos acima referidos simulam relacionamentos entre as variáveis que poderão ser do tipo linear (equação da reta ou do plano) ou não linear (equação exponencial, geométrica).

3.2.18. Análise econômica

Para a análise econômica foram utilizados os dados de saída de produção diária do destilado dos Pilotos 4 e 5, APÊNDICE C – ARQUIVO 7. Utilizou-se um valor (R\$/Litros) como referencial para a conversão da produção coletada diária em valor monetário gerado. Desta forma, visualizou-se o tempo necessário para a diluição total dos custos fixos iniciais. A partir destes, foram construídos gráficos para melhor representar a análise da relação valor gerado e tempo.

Na pesquisa realizada por valores do litro de água, deparou-se com informações do Centro de Estudos e Pesquisas Econômicas – IEPE (2012), da UFRGS, que comenta sobre o aumento de preços da água em períodos de temperatura elevadas. Encontra-se no texto uma pesquisa realizada pela multinacional anglo-holandesa Unilever que apresenta sobre o aumento das vendas dos garrafões de água. Afirma que o consumo médio por uma família de três pessoas é de, aproximadamente, 3 litros por dia. Em oito meses consome-se 38 galões de 20 Litros de água, o que corresponde mais de R\$ 260, 00 em água neste período, se tivermos como base o preço médio de R\$ 7,00 por unidade. Neste referencial de cálculos, adotou-se o valor de R\$ 0,35 por 1 (um) litro de água.

Além dos valores adotados, a análise econômica da produção de destilado dos Pilotos 4 e 5 partem dos cálculos dos materiais utilizados. (Tabelas 22 e 23).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

No presente capítulo são apresentados os principais resultados da pesquisa, realizada durante o período de setembro de 2009 a dezembro de 2013, com suas respectivas discussões. O presente trabalho procurou contribuir para o avanço das pesquisas relativas aos “Potabilizadores Solares”, em forma de pirâmide, com sistema interno de destilação solar direta. As informações contidas na base de dados foram organizadas em tabelas de Excel, e tratadas estatisticamente. Foram construídos gráficos de linha, dispersão e de análise fatorial (Análise Estatística Multivariada), na busca de melhor visualização das informações. O Piloto 4, com estrutura do reservatório de água bruta com bandeja flutuante ou reservatório de bandeja flutuante (RBF), inclui os dados adquiridos no *datalogger* e seus sensores, complementando o empírico com a análise térmica pela transferência de calor do sistema destilador solar, com os cálculos dos seus coeficientes, taxas de fluxo e número adimensionais.

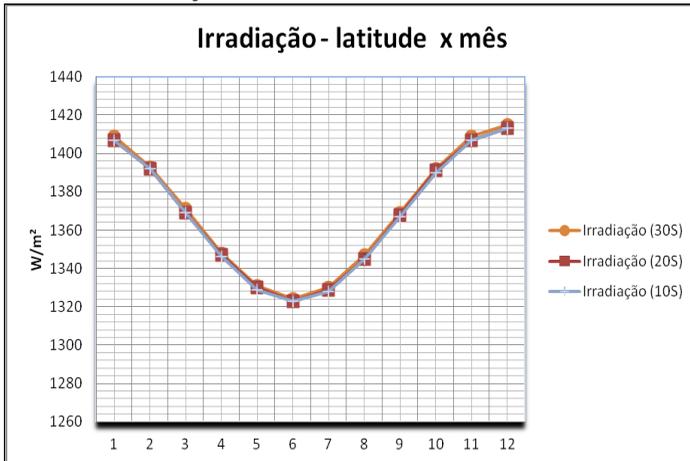
Para melhor atender as questões da pesquisa, introduz-se um diálogo com o artigo de Chuerubim (2012), que propôs uma análise da variabilidade da radiação solar na superfície terrestre a partir do cálculo da irradiância para diferentes latitudes, 10° S, 20° S e 30° S APÊNDICE C – ARQUIVO 8. Como os estudos empreendidos encontram-se entre a latitude 20°S e 30°S, especificamente, na latitude 27,59° Sul, respondem algumas questões de potencial da energia solar.

Na Figura 60, apresenta-se um gráfico da relação com a radiação solar incidente no topo da atmosfera terrestre com a constante solar no valor de 1367,86 W/m², sendo que 1412 W/m² para o Periélio e 1322 W/m² para o Afélio e a Radiação Solar Global para os anos de 2011, 2012 e 2013, compondo 27 meses de dados coletados. Como o valor da insolação solar na superfície terrestre aproxima-se de 342 W/m², isto é, ¼ da constante solar, e conforme Uriarte (2008), deste ¼ há uma perda refletida da superfície terrestre pelo continente e oceanos, reduzindo 30% sua incidência, isto é, 102 W/m², mais 70 W/m²

absorvida pelos gases e nuvens (materiais em suspensão na troposfera), chegando à superfície terrestre aproximadamente 170 W/m^2 para sua absorção.

Os dados plotados no Gráfico 6 comprovam a variabilidade de incidência de Radiação Solar Global dentro dos parâmetros teóricos, aproximando de 170 W/m^2 .

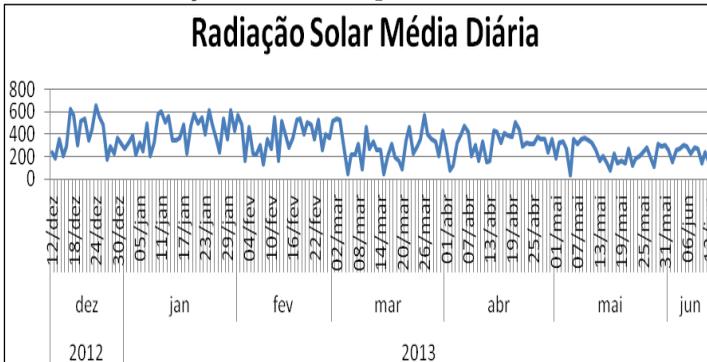
Gráfico 6 - Radiação Solar Global – Anual



Fonte: Adaptado de Chuerubim (2012)

Os valores de Radiação Solar Global (Gráfico 7) mensal, para os meses de abril a setembro de 2011 e 2012, apontam uma similaridade de comportamento da radiação incidente, junto com os meses de março, abril, maio e junho de 2013. A tendência do fenômeno confirma a proximidade com o valor teórico de 170 W/m^2 . Já, os meses de janeiro a março de 2011 e 2013 demonstram uma elevação da radiação, coincidindo com os meses de verão, todos acima de 200 W/m^2 . O meses de outubro, novembro e dezembro de 2012 apresentam variações, mas antecipam as elevações, adentrando o ano de 2013, e este, de janeiro a abril. Pode-se observar o comportamento nos 6 meses no Gráfico 7.

Gráfico 7 - Radiação Solar Global para 6 meses



Fonte: Do Autor (2013)

Outro fator que se deve mencionar neste trabalho é a espectrometria. Conforme Kreith (1977), como o sol emite energia abaixo de $3 \mu\text{m}$ (ondas curtas), o que facilita a passagem pelo vidro da radiação deste comprimento de onda, impede a saída de radiação quando absorvida. Duffie e Beckman (1991) afirmam que a radiação de ondas longas é originária de fontes de temperatura próxima à temperatura ambiente, e os comprimentos de onda, nesse caso, superiores a $3 \mu\text{m}$. As radiações de ondas longas são emitidas pela atmosfera ou qualquer outro corpo. Portanto, as ondas aprisionadas dentro do Potabilizador solar, mais precisamente dentro das cúpulas, são consideradas ondas longas, isto é, acima de $3 \mu\text{m}$.

A estrutura proposta apresenta-se conforme cada questão de pesquisa. Portanto, tem-se 3 questões a serem discutidas com seus respectivos desdobramentos que serão apresentadas nas seções a seguir.

4.1. PRIMEIRA QUESTAO DE PESQUISA

Respondendo a questão de pesquisa “Como aumentar a eficiência do Potabilizador Solar no processo de produção de água potável, considerando atender uma família de 4 a 8 pessoas?”, faz-se interessante salientar os pontos a seguir.

Os Pilotos 1, 2, 4 e 5, funcionaram simultaneamente, sendo que os Pilotos 1 e 2, iniciaram a experimentação de 18/03/2011, completando 27 meses. Os Pilotos 4 e 5, construídos posteriormente, foram colocados em funcionamento de 12/12/2012 a 12/06/2013. Os Pilotos 4 e 5 possuem medidas semelhantes e materiais iguais em sua estrutura, diferenciados apenas, pelas suas bandejas; uma fixa, idêntica ao sistema do Piloto 1, e a outra, um reservatório de água bruta, com bandeja flutuante (RBF), uma inovação nesta pesquisa. Analisou-se, estatisticamente, suas variáveis e suas relações com a produção de destilado para cada Piloto.

Numa perspectiva de economia da experiência, pesquisas anteriores no LAPOÁ avançaram na comprovação desta etapa com o sistema de destilação solar com os artigos: Remoção de coliformes, cistos de giárdia e ovos de helmintos por processo de destilação solar direta – publicada na Revista Saneamento Ambiental em 2012 e Water purification by direct solar distillation process in isolated households (Potabilização de Água por Processo de Destilação Solar Direta para Residências Isoladas) – publicada na Revista Acta Scientiarum Technology no 1º semestre de 2014. APÊNDICE C – ARQUIVO 8.

A eficiência do Potabilizador Solar apresenta, como produto final, sua melhor produção de destilado, associado a diversas variáveis que atuam no sistema. Optou-se por aplicar o método estudado na relação dessas variáveis, com a produção dos Pilotos 1, 2, 4 e 5. Para isso, analisou-se os dados coletados no período de 188 dias. O uso de análise estatística multivariada com uma técnica de análise fatorial possibilitou qualificar melhor as relações entre as variáveis que atuam no sistema e a sua relação com a produção de cada Piloto. Na produção de

destilado, portanto, é representada nos gráficos como: Piloto 1; Piloto 2; Piloto 4 e Piloto 5.

A Tabela 24 apresenta os respectivos dias sem chuva (113), com chuva (75), total de dias (188), e o percentual de ocorrência dos respectivos casos.

Tabela 24 - Frequência de casos e percentual

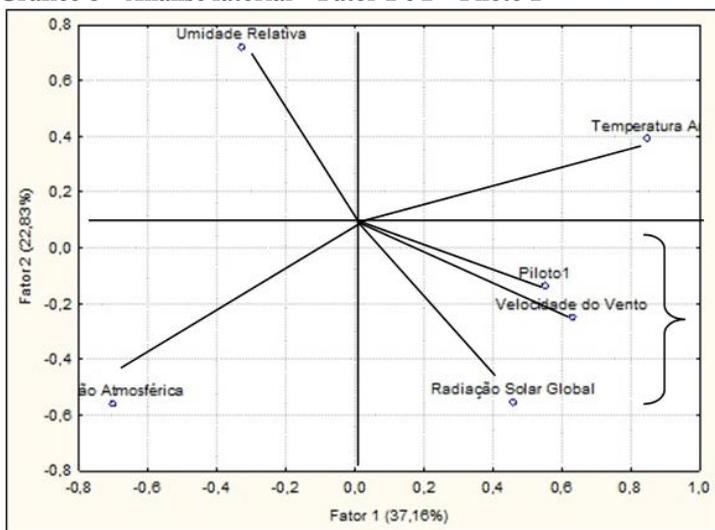
Dias	Frequência	(%)
Sem chuva	113	60.11%
Com chuva	75	39.89%
Total	188	100.00%

Fonte: Do Autor (2013)

4.1.1. Resultados para dias sem chuva

O Gráfico 8 com as variáveis climáticas e a produção do Piloto 1, individualmente para os dias sem precipitação nos 6 meses, com ocorrência de 113 casos, é interpretada a seguir:

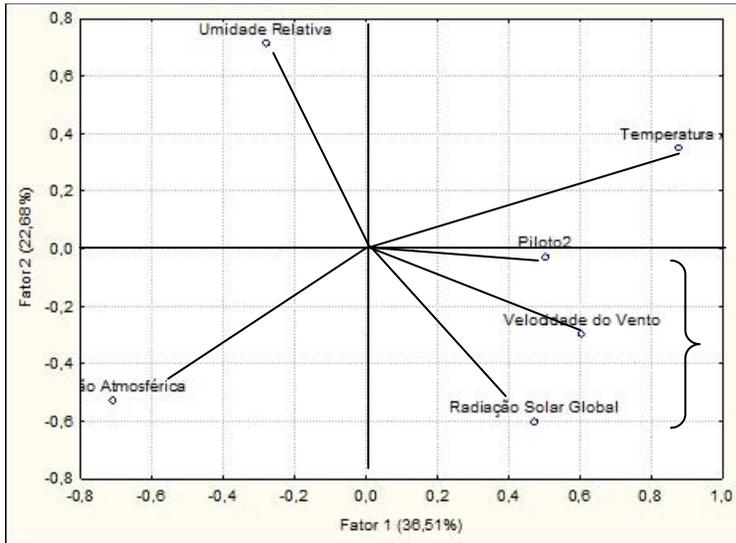
Grupo de variáveis - fator 1 e fator 2: pode-se identificar, na sua parte inferior direita, uma concentração de variáveis com intensidade baixa de velocidade do vento e Radiação Solar Global, junto ao Piloto 1. Isso indica que estas variáveis apresentam uma interrelação significativa por estarem próximas e agrupadas neste quadrante. Como a umidade relativa está oposta a esse grupo, percebe-se uma influência com intensidade elevada e inversa à produção de destilado – Piloto 1. Tanto as temperaturas do ar como a pressão atmosférica, apresentam uma tendência à ortogonalidade em relação ao ponto 0,0, indicando ausência de interrelação.

Gráfico 8 – Análise fatorial – Fator 1 e 2 – Piloto 1

Fonte: Adaptado pelo Autor (2013)

A máxima variância das variáveis é de 37,16% para o fator 1, 22,83% para fator 2 e 15,40% para fator 3 APÊNDICE C - ARQUIVO 6.

O Gráfico 9 com as variáveis climáticas e a produção do Piloto 2, individualmente, para os dias sem precipitação nos 6 meses, com ocorrência de 113 casos, é interpretado igual ao Gráfico 8 para o grupo de variáveis do piloto 1, respectivamente nos fatores 1 e 2.

Gráfico 9 – Análise fatorial – Fator 1 e 2 - Piloto 2

Fonte: Adaptado pelo Autor (2013)

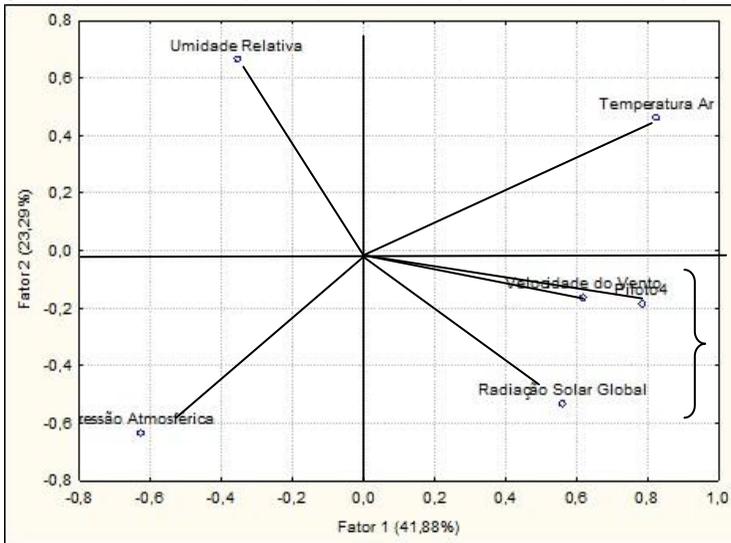
A máxima variância das variáveis observadas é de 36,51% para o fator 1, 22,68% para fator 2 e 15,58% para fator 3 APÊNDICE C - ARQUIVO 6.

O Gráfico 10 com as variáveis climáticas e a produção dos Pilotos 4, individualmente, para os dias de precipitação nos 6 meses, com ocorrência de 113 casos, é interpretada a seguir:

Grupo de variáveis - fator 1: identificou-se, na sua parte inferior direita, uma concentração de variáveis com intensidade baixa entre velocidade do vento e Radiação Solar Global, junto ao Piloto 4. Isso indica que estas variáveis apresentam uma interrelação significativa por estarem próximas e agrupadas neste quadrante. Como a umidade relativa está oposta a esse grupo, percebe-se uma influência com intensidade elevada contrária à produção de destilado – Piloto 4. Tanto a temperatura, como a pressão atmosférica apresentam uma tendência à ortogonalidade, em relação ao ponto 0,0, dando insignificância nesta interrelação.

Grupo de variáveis - fator 2: apresenta também uma concentração de variáveis, da velocidade do vento e Radiação Solar Global, junto ao Piloto 4, em um mesmo quadrante, constatando suas interrelações com elevada intensidade; o que difere do fator 1 é que a intensidade é menor. A umidade relativa encontra-se oposta à produção de destilado – Piloto 4, o que remete a uma contribuição contrária a essa mesma produção do destilado, porém com intensidade baixa. A temperatura e a pressão atmosférica apresentam, novamente, uma tendência à ortogonalidade, apontando uma não correlação destas variáveis.

Gráfico 10 – Análise fatorial – Fator 1 e 2 - Piloto 4



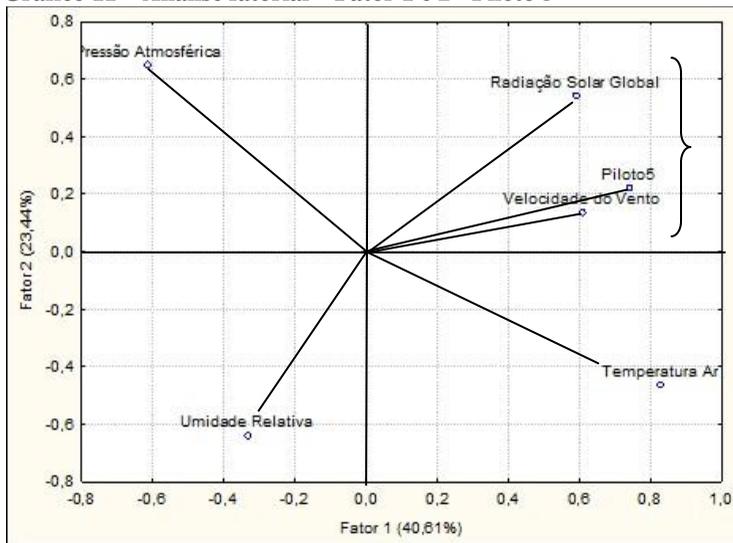
Fonte: Adaptado pelo Autor (2013)

A máxima variância das variáveis observadas é de 41,88% para o fator 1, 23,29% para fator 2 e 12,27% para fator 3 APÊNDICE C – ARQUIVO 6.

O Gráfico 11, com as variáveis climáticas e a produção do Piloto 5, individualmente, para os dias de precipitação nos 6 meses, com ocorrência de 113 casos, é interpretada a seguir:

Grupo de variáveis - fator 1: identifica-se, na sua parte superior direita, uma concentração de variáveis com intensidade alta entre velocidade do vento e Radiação Solar Global, junto ao Piloto 5 e apresentam uma interrelação significativa por estarem agrupadas neste quadrante. Como a umidade relativa está oposta a esse grupo, percebe-se uma influência com intensidade baixa contrária à produção de destilado – Piloto 5. Tanto as temperaturas, como a pressão atmosférica apresentam uma tendência à ortogonalidade em relação ao ponto 0,0, dando insignificância nesta interrelação.

Grupo de variáveis - fator 2: apresenta também uma concentração de variáveis no quadrante da parte superior direita do gráfico, com a velocidade do vento e Radiação Solar Global; junto ao Piloto 5, suas interrelações possuem elevada intensidade, o que não difere do fator 1. A umidade relativa encontra-se oposta à produção de destilado – Piloto 5, o que remete a uma contribuição contrária a essa mesma produção do destilado, porém com intensidade baixa. A temperatura e a pressão atmosférica apresentam uma tendência à ortogonalidade, apontando uma não correlação destas variáveis.

Gráfico 11 – Análise fatorial – Fator 1 e 2 - Piloto 5

Fonte: Adaptado pelo Autor (2013)

A máxima variância das variáveis observadas é de 40,61% para o fator 1, 22,44% para fator 2 e 13,56% para fator 3 APÊNDICE C – ARQUIVO 6.

4.1.2. Resultados para dias com chuva

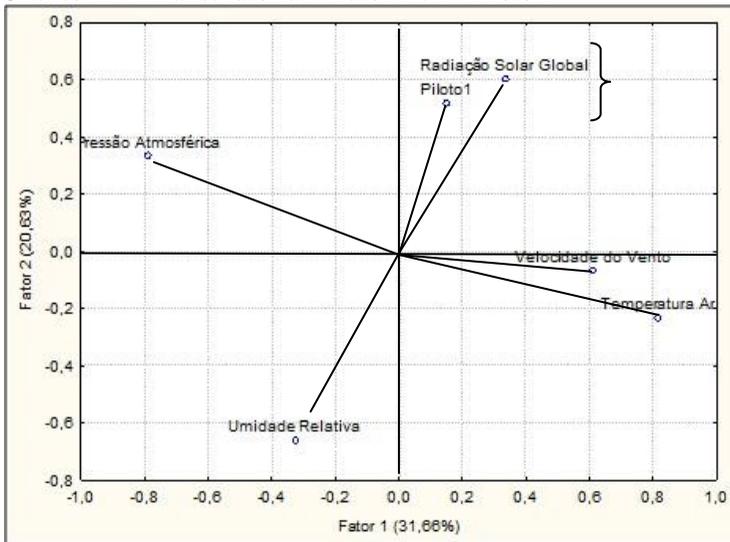
O Gráfico 12, com as variáveis climáticas e a produção dos Pilotos 1, individualmente, para os dias de precipitação nos 6 meses, com ocorrência de 75 casos, é interpretada a seguir:

Grupo de variáveis - fator 1: identificou-se na sua parte superior direita, uma concentração da variável Radiação Solar Global com intensidade alta, junto ao Piloto 5, o que apresenta uma interrelação significativa por estarem agrupadas neste quadrante. A umidade relativa está oposta a esse grupo, sua influência é de intensidade baixa contrária à produção de destilado – Piloto 1. A velocidade do vento, temperatura e a pressão atmosférica apresentam uma tendência à ortogonalidade

em relação ao ponto 0,0, dando insignificância nesta interrelação.

Grupo de variáveis - fator 2: apresenta também uma concentração de variáveis no quadrante da parte superior direita do gráfico, com a variável Radiação Solar Global, junto ao Piloto 1. Sua interrelação é de elevada intensidade, que não difere do fator 1. A umidade relativa encontra-se oposta à produção de destilado – Piloto 1, o que remete a uma contribuição contrária à produção do destilado, porém com intensidade baixa. A velocidade do vento, temperatura e a pressão atmosférica apresentam uma tendência à ortogonalidade, apontando uma não correlação destas variáveis.

Gráfico 12 – Análise fatorial – Fator 1 e 2 - Piloto 1



Fonte: Adaptado pelo Autor (2013)

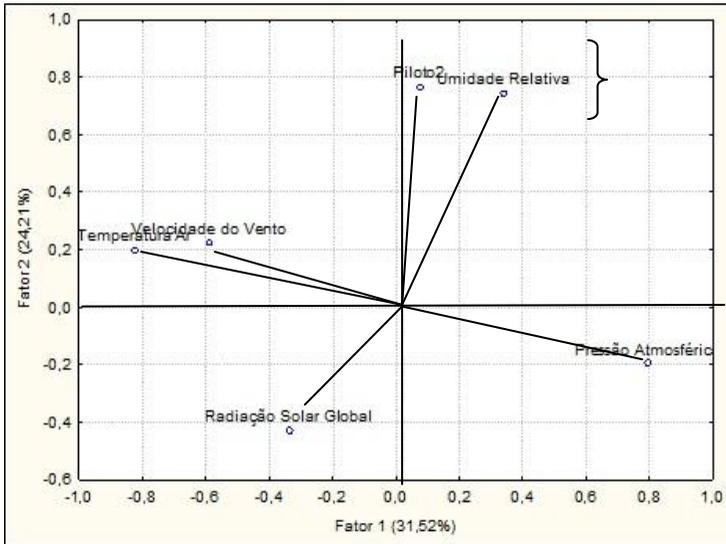
A máxima variância das variáveis observadas é de 31,66% para o fator 1, 20,63% para fator 2 e 18,35% para fator 3 APÊNDICE C – ARQUIVO 6.

O Gráfico 13, com as variáveis climáticas e a produção dos Pilotos 2, individualmente, para os dias de precipitação nos 6 meses, com ocorrência de 75 casos, é interpretada por:

Grupo de variáveis – fator 1 : identifica-se, na sua parte superior direita, uma concentração da variável umidade relativa com intensidade alta, junto ao Piloto 2, o que apresenta uma interrelação significativa por estarem agrupadas neste quadrante. A Radiação Solar Global está oposta a esse grupo; sua influência é de intensidade baixa contrária à produção de destilado – Piloto 1. A velocidade do vento, temperatura e a pressão atmosférica apresentam uma tendência à ortogonalidade em relação ao ponto 0,0, dando insignificância nesta interrelação.

Grupo de variáveis - fator 2: apresenta também uma concentração de variáveis no quadrante da parte superior direita do gráfico, com a variável umidade relativa, junto ao Piloto 2; sua interrelação é de elevada intensidade, ao que não difere do fator 1. A Radiação Solar Global encontra-se oposta à produção de destilado – Piloto 2, o que remete a uma contribuição contrária à produção do destilado, porém com intensidade baixa. A velocidade do vento, a temperatura e a pressão atmosférica apresentam uma tendência à ortogonalidade, apontando uma não correlação destas variáveis.

Observa-se que houve uma inversão das variáveis da radiação solar global e a umidade relativa, em relação a todos os gráficos dos Pilotos no período com precipitação, com trocas de quadrante e, logo, de intensidades para os fatores 1 e 2. Esta mudança revela que este Piloto tem uma maior representatividade nas interrelações dos dados de umidade relativa do ar, com alta intensidade e da radiação solar uma interferência de baixa intensidade, ambas para os dois fatores.

Gráfico 13 – Análise fatorial – Fator 1 e 2 - Piloto 2

Fonte: Adaptado pelo Autor (2013)

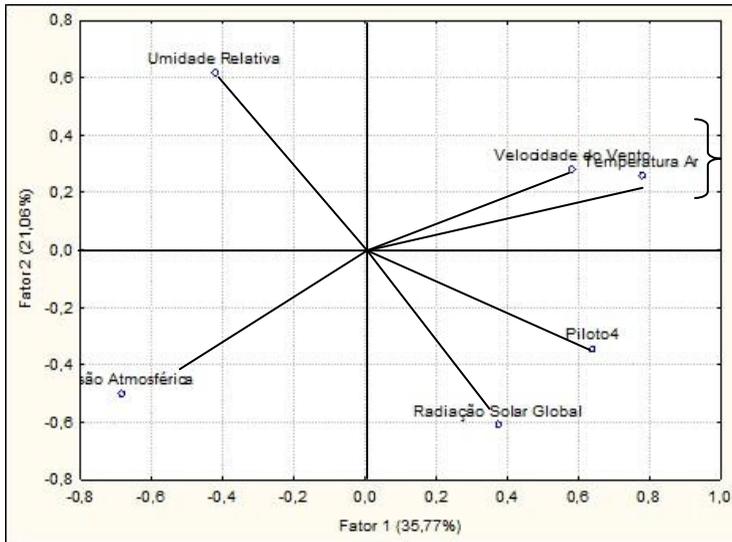
A máxima variância das variáveis observadas é de 31,52% para o fator 1, 24,21% para fator 2 e 17,24% para fator 3 APÊNDICE C – ARQUIVO 6.

O Gráfico 14, com as variáveis climáticas e a produção dos Pilotos 4, individualmente, para os dias de precipitação nos 6 meses, com ocorrência de 75 casos, é interpretada abaixo:

Grupo de variáveis - fator 1: identificou-se, na sua parte inferior direita, uma concentração de variáveis com intensidade baixa entre e Radiação Solar Global e o Piloto 4. Isso indica que estas variáveis apresentam uma interrelação significativa por estarem próximas e agrupadas neste quadrante. Como a umidade relativa está oposta a esse grupo, percebe-se uma influência com intensidade elevada contrária à produção de destilado – Piloto 4. A velocidade do vento, temperatura e pressão atmosférica apresentam uma tendência à ortogonalidade em relação ao ponto 0,0, dando insignificância nesta interrelação.

O grupo de variáveis - fator 2: apresenta também uma concentração de variáveis de Radiação Solar Global e Piloto 4, em um mesmo quadrante, constatando suas interrelações com elevada intensidade. A umidade relativa encontra-se oposta à produção de destilado – Piloto 4, o que remete a uma contribuição contrária a essa mesma produção do destilado, porém com intensidade baixa. A velocidade do vento, temperatura e pressão atmosférica apresentam novamente uma tendência à ortogonalidade, apontando uma não correlação destas variáveis.

Gráfico 14 – Análise fatorial – Fator 1 e 2 - Piloto 4



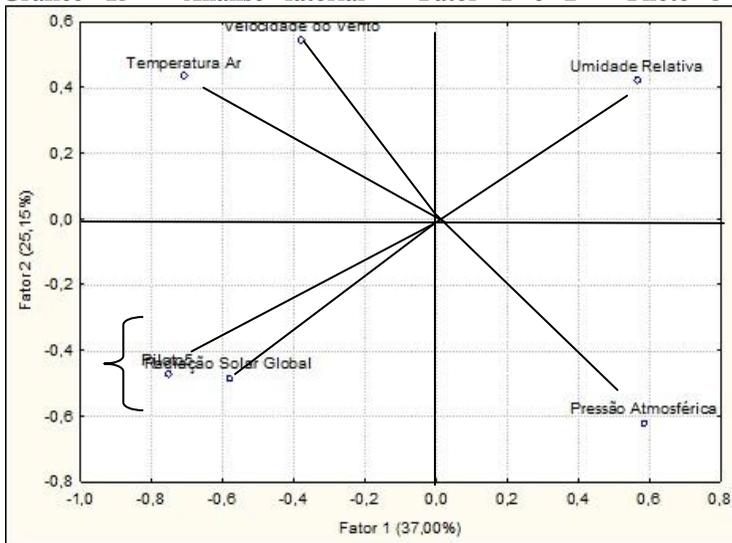
Fonte: Adaptado pelo Autor (2013)

A máxima variância das variáveis observadas é de 35,77% para o fator 1, 21,06% para fator 2 e 16,60% para fator 3 APÊNDICE C – ARQUIVO 6.

O Gráfico 15, com as variáveis climáticas e a produção dos Pilotos 5, individualmente para os dias de precipitação nos 6 meses, com ocorrência de 75 casos, interpretados a seguir:

Grupo de variáveis - fator 1: identifica-se, na sua parte inferior esquerda, uma concentração de variáveis indicando uma interrelação, intensidade baixa significativa por estarem próximas e agrupadas neste quadrante, entre a variável de Radiação Solar Global e o Piloto 5. Como a umidade relativa está oposta a esse grupo, percebe-se uma influência com intensidade elevada contrária à produção de destilado – Piloto 5. A velocidade do vento, temperatura e pressão atmosférica apresentam uma tendência à ortogonalidade, em relação ao ponto 0,0, dando insignificância nesta interrelação.

Grupo de variáveis - fator 2: apresenta, igualmente, uma concentração de variáveis de Radiação Solar Global e Piloto 5, em um mesmo quadrante, constatando suas interrelações de intensidade baixa. A umidade relativa encontra-se oposta á produção de destilado – Piloto 5, o que remete a uma contribuição contrária a essa mesma produção do destilado, porém com intensidade alta. A velocidade do vento, temperatura e a pressão atmosférica apresentam novamente uma tendência à ortogonalidade, apontando uma não correlação destas variáveis. Ressalta-se a inversão de quadrante o que modifica as intensidades comparados com os gráficos anteriores no período com precipitação.

Gráfico 15 – Análise fatorial – Fator 1 e 2 - Piloto 5

Fonte: Adaptado pelo Autor (2013)

A máxima variância das variáveis observadas é de 37,00% para o fator 1, 25,15% para fator 2 e 15,92% para fator 3 APÊNDICE C – ARQUIVO 6.

Para todos os casos de 113 dias não chuvosos, observa-se que as produções do Piloto 1, 2 e 4 apresentam as mesmas variáveis, velocidade do vento e radiação solar global no mesmo quadrante, com intensidade baixa para o fator 1 e elevada para fator 2. Já as produções do Piloto 5 mostram uma inversão de intensidades das interrelações. Uma elevação da intensidade da radiação solar global e velocidade do vento, em função do Piloto 5 para fator 1, e uma permanência de intensidade em relação ao fator 2. Ao fator 1 se dá uma elevação, comparando com a similaridade de comportamento dos Pilotos 1,2 e 4.

Para todos os casos de 75 dias chuvosos, as produções de Piloto 1 são inter-relacionadas com a radiação solar global com intensidade elevada para ambos os fatores, 1 e 2. O Piloto 2 está

interrelacionado com a umidade relativa, bem como a intensidade elevada para ambos os fatores, 1 e 2. O Piloto 4 está interrelacionado com a radiação solar global, porém com o fator 1, intensidade baixa, e fator 2, com intensidade alta. O Piloto 5 apresenta a radiação solar global em sua interrelação, mas com intensidade baixa para ambos os fatores. Segue resumo dos escores conforme fatores (Quadro12).

Quadro 12 - Resumo dos escores fatoriais e intensidade conforme tipos de dias

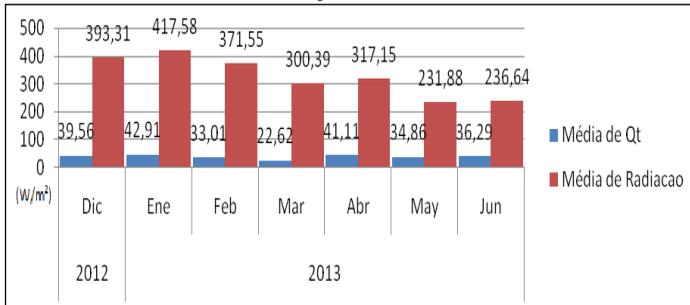
Dias	Radiação solar		Temp. ar e Pressão atm		Umidade relativa		Velocidade vento	
	Fator1	Fator2	Fator1	Fator2	Fator1	Fator2	Fator1	Fator2
113 s/chuva								
Piloto1	-0,4 a -0,6	0,4 a 0,6	-x-	-x-	0,6 a 0,8	-0,2 a -0,4	-0,2 a -0,4	0,6 a 0,8
Piloto2	-0,6	0,6 a 0,8	-x-	-x-	0,6 a 0,8	-0,2 a -0,4	-0,2 a -0,4	0,6
Piloto4	-0,4 a -0,6	0,4 a 0,6	-x-	-x-	0,6 a 0,8	-0,2 a -0,4	0,0 a -0,2	0,6 a 0,8
Piloto5	0,4 a 0,6	0,4 a 0,6	-x-	-x-	-0,2 a -0,4	-0,2 a -0,4	0,6 a 0,8	0,6 a 0,8
75 c/ chuva								
Piloto1	0,6	0,2 a 0,4	-x-	-x-	-0,6 0a 0,8	-0,2 a -0,4	-x-	-x-
Piloto2	-0,4 a -0,6	-0,2 a -0,4	-x-	-x-	0,6 a 0,8	0,2 a 0,4	-x-	-x-
Piloto4	0,6 a 0,8	0,2 a 0,4	-x-	-x-	0,6 a 0,8	-0,4 a -0,6	-x-	-x-
Piloto5	-0,4 a -0,6	-0,6 a -0,8	-x-	-x-	0,4 a 0,6	0,4 a 0,6	-x-	-x-

Fonte: Do Autor (2013)

Para os 113 dias sem chuva, as variáveis de produção - Piloto 1, 2 e 4 apresentam comportamentos semelhantes entre as variáveis radiação solar e velocidade do vento com intensidade baixa no fator 1 e intensidade alta no fator 2. A variável produção - Piloto 5, acompanha esta tendência, porém, a radiação solar apresenta intensidade alta no fator 1, além do fator 2; umidade relativa com intensidade baixa no fator 1, e a velocidade do vento com intensidade alta no fator 1 e 2.

Para os 75 dias sem chuva, as variáveis de produção - Piloto 1 e 4 apresentam intensidades elevadas para radiação solar em ambos os fatores, 1 e 2. A umidade relativa apresenta intensidade baixa em ambos os fatores sobre as variáveis de produção - Piloto 1. Assim, pode-se concluir que a variável radiação solar é mais expressiva para a produção - Piloto 1. A variável umidade relativa apresenta uma influência de intensidade baixa para variável produção - Piloto 4, em relação ao fator 2, porém com intensidade alta no fator 1. A variável produção - Piloto 2 e 5 para ambas variáveis, a intensidade é baixa na radiação solar e a intensidade é alta na umidade relativa.

O Gráfico 16 – apresenta os números da média de radiação solar global, em cada mês, e a média do fluxo de calor total no sistema. A média do fluxo de calor dado em W/m^2 é bem inferior à disponibilidade de Radiação Solar Global, também dado em W/m^2 .

Gráfico 16 – Média de Radiação e Média Fluxo de Calor - 6 meses

Fonte: Do Autor (2013)

Na Tabela 25, observam-se os valores de radiação solar global e taxa de transferência de calor convertidos em quantidade de energia KWh/m². Isto é, a energia a ser consumida por m² de área útil de absorção da água na bandeja flutuante. Pode-se ter um parâmetro, conforme Fuentes e Roth (1997), que afirmam em suas pesquisas que o índice de radiação solar no nordeste brasileiro, particularmente no Estado da Paraíba, é de 5,2 KWh/m².dia (valor sem considerar as perdas térmicas).

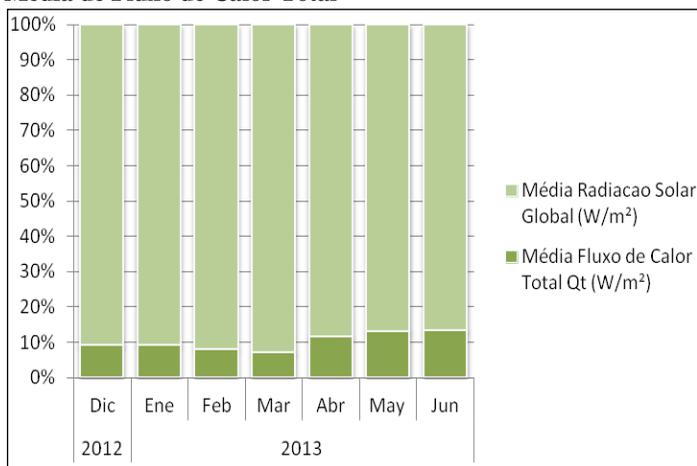
Tabela 25 - Radiação solar global, taxa e quantidade de Energia

Meses	Radiação Solar Global (W/m ²)	Energia (KWh/m ²)	Taxa Transf. Calor Q (W/m ²)	Energia (KWh/m ²)
Dez	393,31	9,44	39,56	0,95
Jan	417,58	10,02	42,91	1,03
Fev	371,55	8,92	33,01	0,79
Mar	300,39	7,21	22,62	0,54
Abr	317,15	7,61	41,11	0,99
Mai	231,88	5,56	34,86	0,84
Jun	236,64	5,68	36,29	0,87
TOTAL	2268,50	54,44	250,36	6,01

Fonte: Do Autor (2013)

Observou-se, no Gráfico 16, o quanto de radiação solar global disponível é aproveitada em relação à média do fluxo de calor, medidas em W/m^2 . Dos 100% de radiação solar incidente mensal sobre o equipamento potabilizador solar, apresentam um valor transformado em fluxo de calor, com um aproveitamento pequeno, em torno de 10% (Gráfico 17).

Gráfico 17 – Porcentagem entre Média de Radiação Solar Global e Média de Fluxo de Calor Total



Fonte: Do Autor (2013)

Conclui-se que os dados de radiação solar global, umidade relativa e velocidade do vento compõem as variáveis confiáveis para aumentar a efetividade na produção de água. Das três variáveis, podemos apontar a radiação solar global que atinge ao equipamento Potabilizador Solar, como um ponto a ser trabalhado, visto que, com os cálculos de fluxo de calor, podemos perceber a parcela de perda de energia em relação a totalidade, minimizando-as, para uma melhor efetividade do sistema no aproveitamento desta energia disponível.

4.2. SEGUNDA QUESTAO DE PESQUISA

Para responder a segunda questão de pesquisa, “Como avançar na compreensão da transferência de calor em Potabilizadores Solares, considerando o uso de um reservatório com bandeja flutuante?”, parte-se dos dados adquiridos no período de 6 meses de monitoramento, através de sensores termopares ligados ao *datalogger*, colocados no Piloto 4, como referido anteriormente. Após o tratamento destes dados, consegue-se calcular os coeficientes de transferência de calor e seus respectivos fluxos de calor, além da massa de vapor teórico. Seguem na Tabela 26, os valores mínimos, médios e máximos do período entre 12/12/12 a 11/06/2013.

Tabela 26 – Temperaturas max, mín e méd – sensores Piloto 4

Legenda	Mínimo	Média	Máximo	Unidade
T1 - Canal 01 TEMP INT SUP	14,7	39,3	72,6	°C
T2 - Canal 02 BULBO UMIDO	9,9	33,4	61,9	°C
T3 - Canal 03 TEMP VIDRO SUP	8,6	30,7	57,8	°C
T4 - Canal 04 TEMP AGUA	13,5	30,3	49,9	°C
T5 - Canal 05 TEMP VIDRO INF	13,6	29,8	48,6	°C
T6 - Canal 06 TEMP INT INF	14,7	33,6	56,5	°C
T7 - Canal 07 TEM AMB EXT	11,6	25,8	43,9	°C
T8 - Canal 08 TEMP AGUA SAIDA	10,5	25,0	39,6	°C

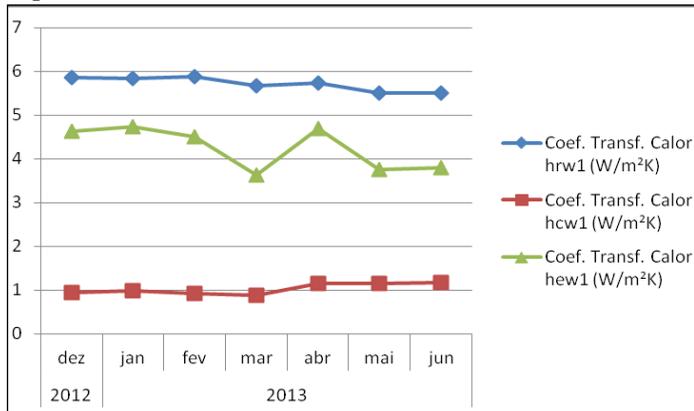
Fonte: Do Autor (2013)

Com os números adimensionais em processos de destilação solar direta implica a convecção livre – natural ou forçada. Para saber qual se processa no sistema destilador solar pesquisado, utiliza-se um método proposto na Relação de Dunkle. Assim, para saber qual fluxo, laminar, turbulento ou em repouso, deve-se calcular o número de Grashof (Gr) e Prandtl (Pr); mediante estes, encontra-se Rayleigh e assim calcula-se o Número de Nusselt (Nu). Como o cálculo resultou igual a 1, o que indica que o fluxo está em repouso. Para isso, Dunkle (1961), com seu modelo propôs para estas situações (fluxo em repouso) o cálculo do número de Grashof modificado (Gr') ou especial, chegando ao número de Rayleigh modificado (Ra) inferior a $Ra < 10^9$. No sistema estudado de destilação, o $Ra < 10^6$ confirmando que a convecção é do tipo livre ou natural. Sendo assim, foi aplicado na Equação Nusselt, $Nu = 0,075 (Ra)^{1/3}$, resultando números elevados, o que indica que a transferência de calor do fluido é convectivo. Quando baixo, a transferência de calor do fluido é condutivo APÊNDICE C – ARQUIVO 1. Com o cálculo de ΔT , chegou-se aos valores dos coeficientes de transferência de calor e fluxo de calor respectivamente.

Para a parte superior do potabilizador solar (cobertura superior), analisou-se o Gráfico 18, e observou-se que o coeficiente de transferência de calor radioativo é mais significativo com relação ao evaporativo e convectivo. No mês de março, houve um aumento na precipitação (Gráfico 26), comparado com os demais meses e pode ter sido um dos fatores para a diminuição do coeficiente de evaporação, mesmo com um aumento de radiação solar global no período. No mês seguinte, abril, o coeficiente transferência de calor radioativo tem uma pequena elevação, assim como os demais coeficientes, e a radiação solar global disponível ao sistema diminuiu (Gráfico 7). A partir de maio, as curvas apontam um equilíbrio em todos os coeficientes de transferência de calor, mesmo com a a radiação solar global continuando diminuindo. O vento é outra variável que pode contribuir com os resfriamentos do vidro, ocasionando interferências significativas que iremos

analisar no Gráfico 25. Nos meses de abril, maio e junho, o coeficiente de transferência de calor convectivo aumenta, mas sua efetividade, junto com a evaporação, só pode ser observado com mais precisão no coeficiente de transferência de calor convectivo e evaporativo total no Gráfico 20.

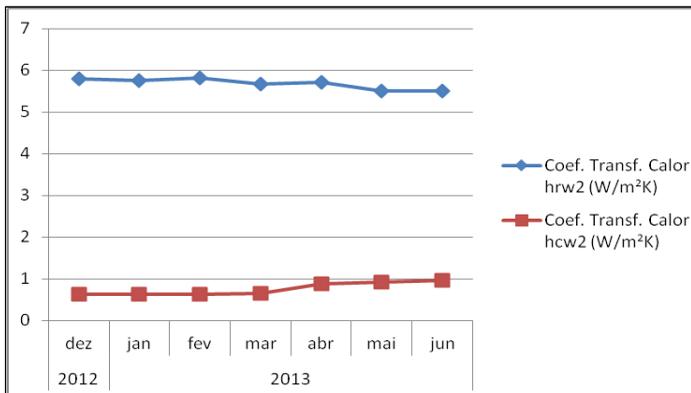
Gráfico 18 – Coeficiente de transferência de calor – Parte Superior Potabilizador



Fonte: Do Autor (2013)

Observa-se no Gráfico 19, parte inferior do potabilizador solar (cobertura inferior), que o coeficiente de transferência de calor radioativo apresenta-se menor nos 6 meses, em comparação com a parte superior. Isto sucede, porque a parte inferior do equipamento não estava exposta diretamente, como a parte superior à radiação solar global. Há um suporte do equipamento que bloqueia os raios solares. O coeficiente de transferência de calor convectivo também diminui em relação ao da parte superior. Este fenômeno pode estar associado à estrutura do potabilizador solar, já que a bandeja está localizada para cima, sujeita à radiação solar global, concentrando maior energia em forma de calor. Entende-se que há mais movimentos na região água-ar-vapor, na parte superior, potencializando os processos convectivos e, em menor escala, na parte inferior.

Gráfico 19 - Coeficiente de transferência de calor – Parte Inferior Potabilizador

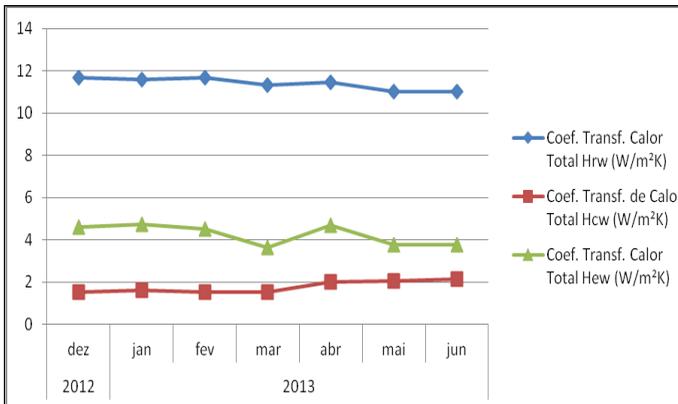


Fonte: Do Autor (2013)

No Gráfico 20, há a possibilidade de analisar os coeficientes de transferência de calor radioativo, convectivo e evaporativo no sistema de destilação do potabilizador solar, em sua totalidade, no que se propõe abordar. A radiação solar global apresenta uma curva mais significativa, já que está diretamente relacionada com as temperaturas da água bruta do reservatório da bandeja flutuante, da cobertura de vidro e da emissividade, tanto da água, como do vidro. O coeficiente de transferência de calor convectivo está condicionado ao movimento do fluido por forças de flutuação, resultante das variações de densidade, devido ao aumento de temperatura do fluido, isto é, há movimentos do fluido deslocando-se vertical ou horizontalmente. O fluido mais frio se torna mais denso que o fluido aquecido e afunda; Recordando que o número de *Nusselt*, próximo de 1, só faz transferência por condução, isto é, estaria em repouso. Mas não é esse o caso: há um movimento que, pela Relação de *Dunkle* para transferência de calor convectivo, o número de *Nusselt* pode ser calculado, explicita quando está ocorrendo transferência por condução ou convecção. Já o coeficiente de transferência de calor evaporativo total à curva, no gráfico, tende a ser mais sensível

às mudanças de temperatura, pois depende da tensão superficial do líquido, quando as moléculas de água ganham energia suficiente para a mudança ao estado de vapor. Como observado nos Gráficos 18 e 19, os coeficientes de transferência de calor total, Gráfico 20, apresentam comportamentos semelhantes ao longo do período, principalmente para os coeficientes de transferência de calor de radiação e convecção, mas analisando todos os meses, há uma queda sensível de energia no coeficiente de transferência de calor radioativo e evaporativo. Já, no coeficiente de transferência de calor convectivo é diferente, equilibra-se no mês de março e eleva-se no mês de abril, acompanhando os coeficientes de transferência de calor radioativo e evaporativo total. Nos meses de maio e junho, de baixa temperatura, todos os coeficientes de transferência de calor total, radioativo, evaporativo e convectivo se estabilizam.

Gráfico 20 – Coeficiente de Transferência de Calor Totais do Sistema

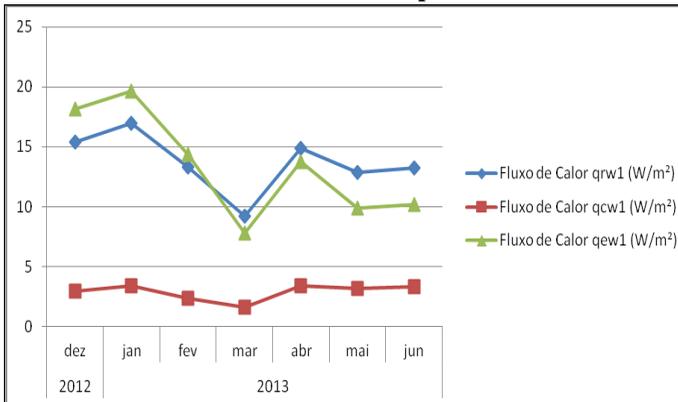


Fonte: Do Autor (2013)

Os fluxos de calor da parte superior do potabilizador solar (Gráfico 21) apresentam um comportamento semelhante para os fluxos de calor por radiação e evaporação em todos os meses. Observando o gráfico, percebe-se uma inversão entre os

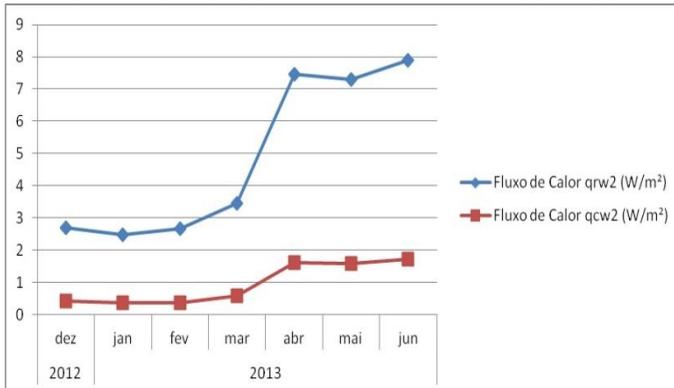
fluxos radioativo e evaporativo. Este fenômeno ocorre exatamente nos meses mais chuvosos, fevereiro e março. O que se pode afirmar é que há uma diminuição de energia no sistema, isto é, uma baixa na quantidade de radiação solar global disponível neste período Gráfico 7. Outro fator constatado, é que a partir de fevereiro, há uma diminuição das temperaturas (Gráfico 27), o que favorece a inversão dessas curvas, permanecendo até o mês de junho. Nota-se que, além da radiação solar global, a temperatura também diminui ao longo dos 6 meses. Essas duas variáveis são determinantes no comportamento dos fluxos de calor.

Gráfico 21 - Fluxo de Calor – Parte Superior Potabilizador



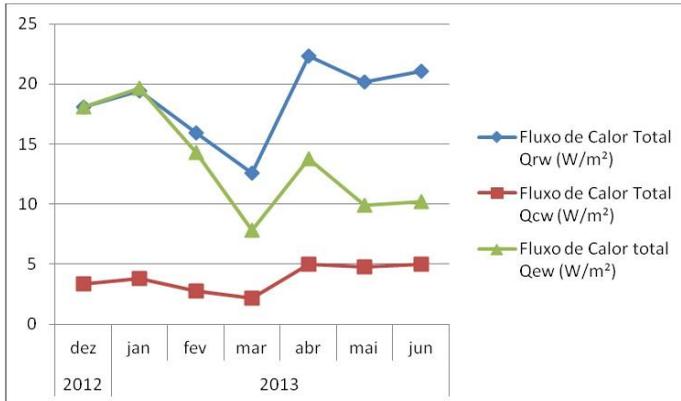
Fonte: Do Autor (2013)

O Gráfico 22 mostra o fluxo de calor radioativo e convectivo da parte inferior do potabilizador, em conformidade com os coeficientes de ambos. Nota-se um comportamento diferenciado, com um aumento dos fluxos em fevereiro até junho. Este período compreende as baixas temperaturas em relação aos meses anteriores, fato este por estar associado à proteção da estrutura de suporte, como comentado, sendo que a parte inferior está abrigada das chuvas, o que ajudaria a não perder energia pela cobertura inferior de vidro.

Gráfico 22 - Fluxo de Calor – Parte Inferior Potabilizador

Fonte: Do Autor (2013)

Com o Gráfico 23 dos fluxos totais, pode-se analisar o sistema de destilação do potabilizador solar integralmente, quantificando a energia térmica do processo. A taxa de energia térmica (calor) transferida é maior no período de dezembro de 2012 e janeiro de 2013. Nestes meses, obtive-se as temperaturas mais elevadas dos 6 meses, chegando a 43,9°C, e uma temperatura mínima de 23,4°C, chegando a uma amplitude térmica no mesmo dia de 20,5°C Tabela 26. No mês de fevereiro, a principal variável que atua neste sistema é a precipitação que alcançou 184 mm em fevereiro e 310 mm em março Gráfico 18. A radiação solar global diminui numa curva descendente, do mês de janeiro para fevereiro e março Gráfico 7. Outra observação é que durante os meses de janeiro, fevereiro e março, as rajadas de vento atingiram entre 30 a 60 km/h, diariamente, sendo atípicos esta periodicidade em Florianópolis Gráfico 25, e podem ter contribuído na diminuição dos valores do fluxo de calor e, conseqüentemente, na massa de vapor (taxa de vapor condensada).

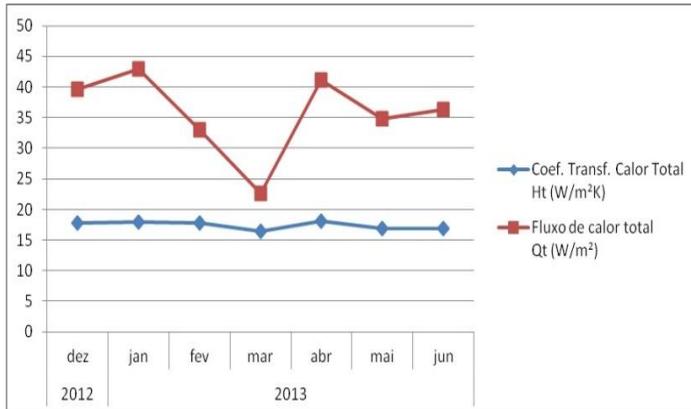
Gráfico 23 - Fluxo de Calor Totais

Fonte: Do Autor (2013)

O dia com maior temperatura foi de 43,9°C e a água bruta no reservatório da bandeja flutuante alcançou 49,9°C Tabela 26. Boučekima (2002) com seu estudo de destilador na Argélia, com temperaturas médias, no verão, em torno de 40°C, atingiu na água a marca de 65 a 75°C. Observou que o aumento da produção de água destilada estava diretamente influenciado pela radiação solar e temperatura da água, inclusive no período da noite, onde ocorreu um resfriamento da água na base (bandeja) do Piloto 4.

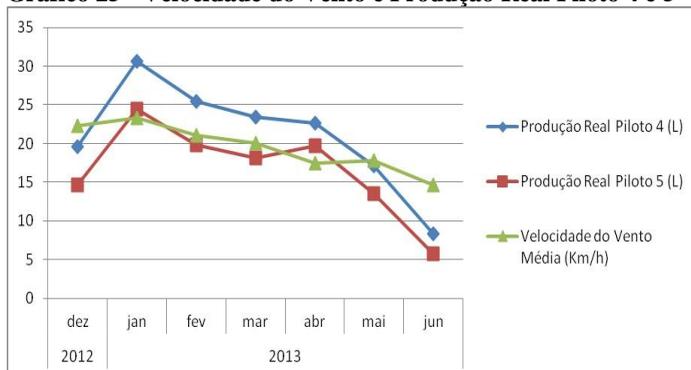
No Gráfico 24, apresenta-se o gráfico do coeficiente de transferência de calor total e o fluxo de calor total adquirido no sistema nos seis meses, para uma melhor visualização dessas curvas. Ambas comportam-se decendentemente no mês de março. Há diversas variáveis que compõem o sistema e contribuem para isso. As principais são a precipitação, que atua pontualmente nos meses de fevereiro e março, e explicitada com uma pequena queda no gráfico (Gráfico 26), e as mudanças de estação, com as variações de temperatura do ambiente. O coeficiente de transferência de calor total é menos sensível entre dezembro a fevereiro, mesmo apresentando temperaturas elevadas, o que não acontece na curva do fluxo de calor total, que diminui sensivelmente de janeiro a março e de abril a maio.

Gráfico 24 – Coeficiente de Transferência de Calor Total e Fluxo de Calor Total



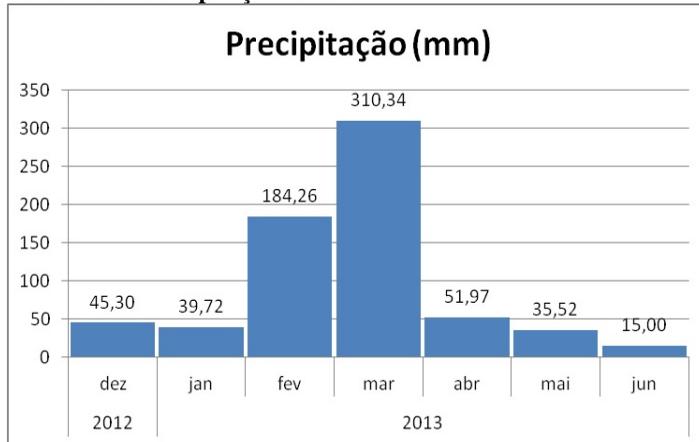
Fonte: Do Autor (2013)

O resfriamento da cobertura de vidro pelo vento, com rajadas atípicas (30 a 60 km/h) nos meses de janeiro, fevereiro e março, Gráfico 25, podem ter contribuído com uma parcela de perda térmica. Observa-se uma diminuição das velocidades dos ventos nos meses posteriores. Outra influência é demonstrada no fluxo convectivo, com sensível diminuição ao longo do período de 6 meses, demonstrado também pela curva do coeficiente de transferência de calor convectivo Gráfico 24, embora a curva de fluxo de calor total decaia, nestes meses, contribuindo para a diminuição da massa condensada (Gráfico 21 e 22).

Gráfico 25 - Velocidade do Vento e Produção Real Piloto 4 e 5

Fonte: Do Autor (2013)

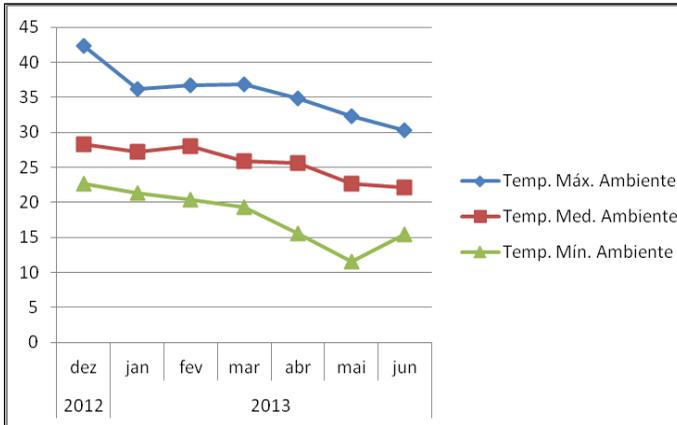
O Gráfico 26, revela um aumento da precipitação nos meses de fevereiro e março. Este fato, na pesquisa realizada, ocorre no resfriamento, principalmente, da cúpula superior de vidro (cobertura) de nosso equipamento. Este resfriamento, se perpetuando durante os 2 meses, devido à diminuição da energia radiante disponível ao sistema (Radiação Solar Global) Gráfico 7, dissipado pelas nuvens e materiais particulados na atmosfera (espalhamento). Já nos meses de dezembro, janeiro, abril, maio e junho somados, a precipitação alcançou aproximadamente 187 mm, o equivalente ao mês de fevereiro.

Gráfico 26 - Precipitação Mensal

Fonte: Do Autor (2013)

As temperaturas máximas, médias e mínimas do ambiente externo, que atuam sobre o sistema destilador solar, apresentam uma constância na declinação de suas curvas no Gráfico 27, entre o período mais quente para o mais frio. A tendência na diminuição da amplitude pode ser observada, principalmente, no mês de junho, fato este comum para os meses de inverno.

Gráfico 27 - Temperaturas Ambiente Mínima, Máxima e Média Mensal

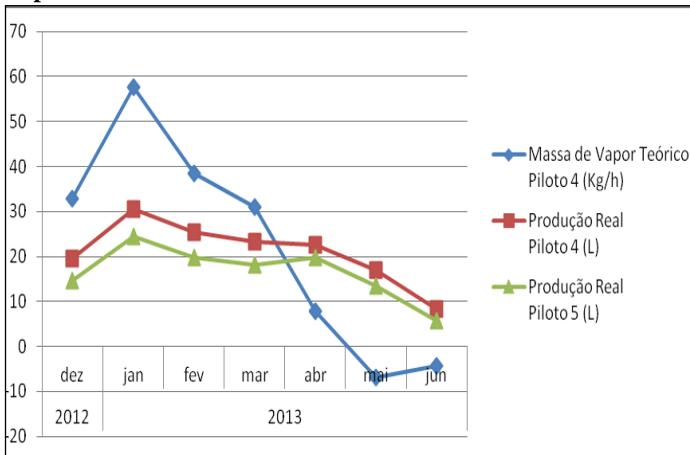


Fonte: Do Autor (2013)

A análise do Gráfico 28 permite a verificação das curvas de balanço de energia de nosso sistema. Uma relativa a cada produção real de destilado coletado em litros por dia dos Pilotos 4 e Piloto 5 e, outra, a produção de massa de vapor teórica dentro do sistema de destilação dada em Kg/h. Observa-se uma similaridade de comportamento de ambas as curvas de produção real, com uma tendência de aproximação nos meses mais frios. Com relação à massa de vapor teórica, com todos os valores (positivos e negativos), a curva no gráfico apresentou um comportamento diferenciado, ascendendo de dezembro a janeiro e declinando de janeiro até maio, sendo que de abril a junho apresenta valores negativos. Uma das observações foi que todos os valores negativos encontram-se no período entre 6 e 9 horas, 16 e 23 horas. Nos dias quentes, este fato ocorre apenas entre as 6 e 8 horas, 22 e 23 horas. Podemos afirmar que os dias de inverno são mais curtos em disponibilidade solar, o que propiciaria uma inversão de temperaturas com mais valores negativos na soma total da massa de vapor teórico mensal como observa-se a partir de abril. Estes valores negativos informam que não há produção de massa de vapor teórico. Nos mês de

dezembro até março, os dias são mais longos e percebemos uma produção de destilado com valores positivos bem definidos. Os valores da massa de vapor e do destilado produzido tendem a uma aproximação no mês de junho, exatamente no período de temperaturas mais baixas (inverno). O outro fator importante é a velocidade dos ventos com rajadas diárias entre 30 e 60 km/h atípicos nos meses de janeiro Gráfico 25. Isto pode ter ocasionado o resfriamento da cobertura de vidro, contribuindo para o aumento da massa de vapor e, conseqüentemente, da condensação. Este período também coincide com a maior disponibilidade de radiação solar global e com o comportamento de pico de massa de vapor no mês de janeiro. Após este mês, a curva da produção real decai junto com a diminuição da disponibilidade de radiação solar global Gráfico 7 ao longo do período de 6 meses.

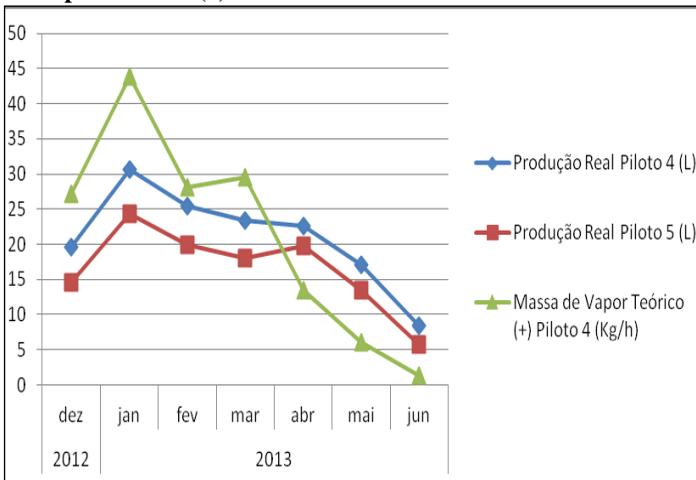
Gráfico 28 - Produção Real Destilado Piloto 4 e 5 e Massa de Vapor Teórico



Fonte: Do Autor (2013)

Os valores no Gráfico 29, da curva de massa de vapor teórico com valores apenas positivos, isto é, quando há produção de massa de vapor no sistema entre as horas com disponibilidade de radiação solar global e influência de variáveis de velocidade do vento, precipitação e temperatura ambiente, apresentam uma curva descendente. O comportamento entre o mês de março e abril também sofre influência de valores próximos de zero, devido aos dias mais curtos e frios. Este comportamento também está associado ao gradiente de temperatura dos coeficientes de transferência de calor que variam menos à medida que se caminha para dias com temperaturas baixas.

Gráfico 29 - Produção Real Destilado Médio - Piloto 4 e 5 e Massa de Vapor Teórico (a)

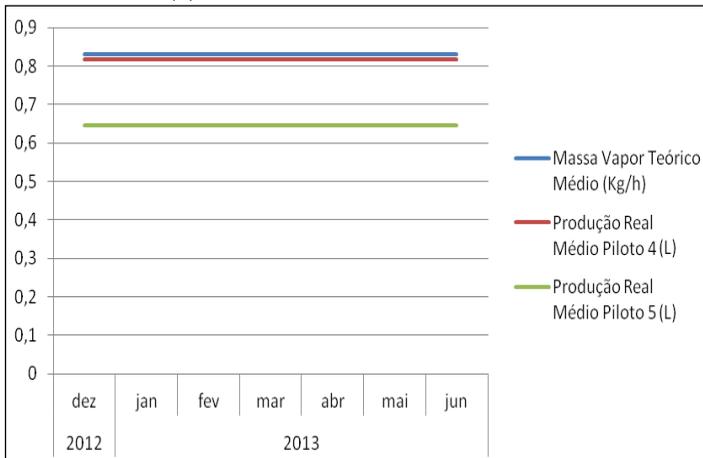


Fonte: Do Autor (2013)

No Gráfico 30, a partir da curva de massa de vapor teórico, apresenta-se a linha média produzida e a linha média de produção real dos Pilotos 4 e 5. Construiu-se o gráfico para um comparativo do balanço de energia do processo de destilação solar direta. Efetivou-se com os valores, horários (6h as 23h)

dos 188 dias de produção dos Pilotos 4 e 5, e optou-se por linhas médias para melhor representar este fenômeno junto a produção de massa de vapor. Os valores indicam uma produção de destilado total com 147,02 litros para o Piloto 4, e de 115,93 litros para Piloto 5. Já, a produção superior de 149,49 Kg/h para massa de vapor reflete que os cálculos aproximam-se do propósito objetivado.

Gráfico 30 - Produção Real Médio - Piloto 4 e 5 e Massa de Vapor Teórico Médio (b)

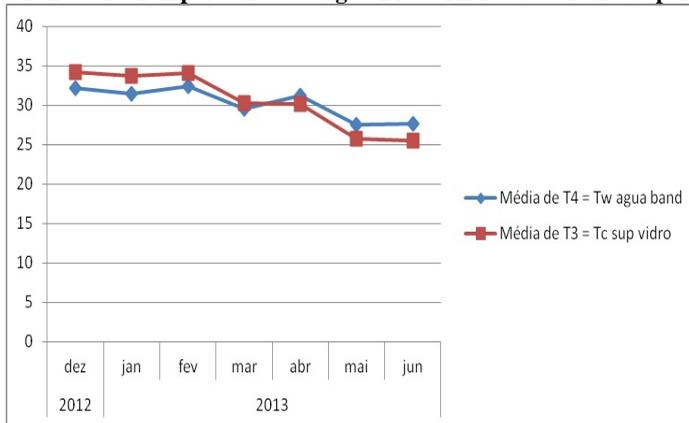


Fonte: Do Autor (2013)

Nos Gráficos 31 e 32, observou-se a temperatura da água bruta no reservatório da bandeja flutuante e sua relação com a temperatura da cobertura superior e inferior de vidro. Ambas as curvas, nos gráficos, demonstram inversões no período do mês de março. Em outras palavras, a temperatura ambiente diminui ao longo de 6 meses Gráfico 27. Isso é demonstrado a partir do mês de fevereiro e março, meses com maior precipitação Gráfico 26, adentrando o período mais frio, com dias mais curtos, influenciado pela menor disponibilidade de radiação solar (Gráfico 7). Bezerra (2004) afirma que os parâmetros que mais influenciam a produtividade são o gradiente de

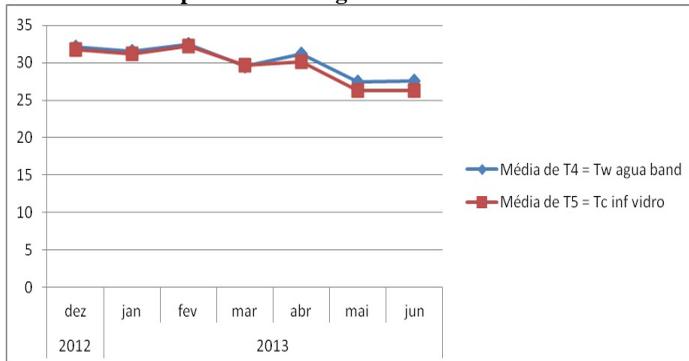
temperatura entre a água e a cobertura onde ocorrerá a condensação. Esta variação de temperatura, nos gráficos, confirma a influência da variação entre ambas temperaturas, água bruta e coberturas de vidro (superior e inferior), negativando ou diminuindo os valores das variáveis e alterando o comportamento dos gráficos de produção de massa de vapor teórico e produção do destilado Gráficos 28 e 29.

Gráfico 31 - Temperaturas da Água Bruta RBF e Cobertura Superior



Fonte: Do Autor (2013)

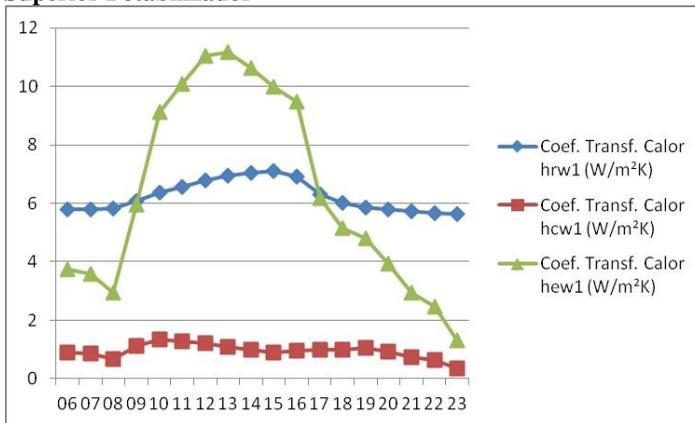
Gráfico 32 - Temperaturas da Água Bruta RBF e Cobertura Inferior



Fonte: Do Autor (2013)

Nos estudos efetuados optou-se por analisar o dia 26/12/2012, por ter apresentado a temperatura mais elevada do período de 188 dias. Como se pode observar, no Gráfico 33, houve um aumento na transferência de calor radioativo e convectivo em relação à média mensal Gráfico 10, demonstrando que as transferências de calor são sensíveis ao aumento da temperatura que atingiu 43,9°C. Pode-se perceber que a transferência de calor evaporativo teve uma elevação diferenciada e bem definida quando observa-se como referencial a média mensal.

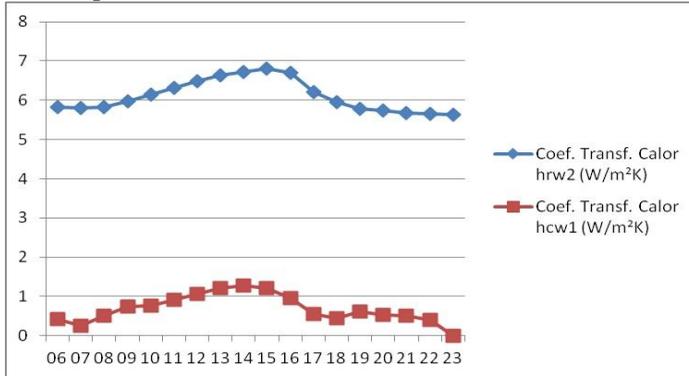
Gráfico 33 - Coeficientes de Transferência de Calor – Parte Superior Potabilizador



Fonte: Do Autor (2013)

No Gráfico 34, o coeficiente de transferência de calor radioativo expressa-se bem próximo à curva do Gráfico 33. Supõe-se que, quando a temperatura está elevada, há uma tendência em estabilizar os coeficientes de transferência de calor radioativo em ambas as coberturas, superior e inferior. O coeficiente de transferência de calor convectivo também assemelha-se ao comportamento, demonstrando também uma tendência nas curvas, em ambas as coberturas.

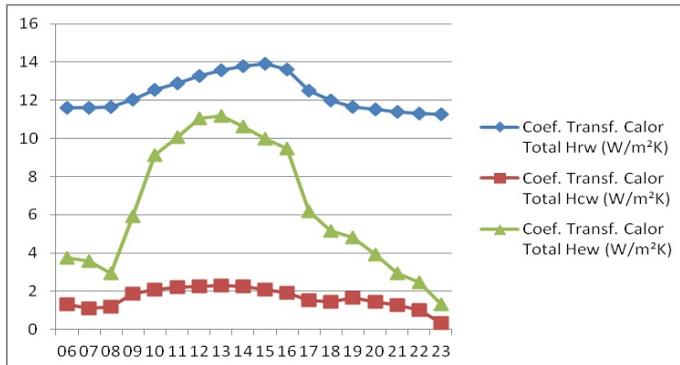
Gráfico 34 - Coeficientes de Transferência de Calor – Parte Inferior potabilizador



Fonte: Do Autor (2013)

A transferência de calor radioativo e convectivo total apresenta um aumento significativo, principalmente entre as 8 horas e 23 horas Gráfico 35. Este período coincide com o comportamento do coeficiente de transferência de calor evaporativo total, com um pico neste período, o que podemos supor ter influenciado o período bem definido da produção de massa de vapor (Gráfico 40).

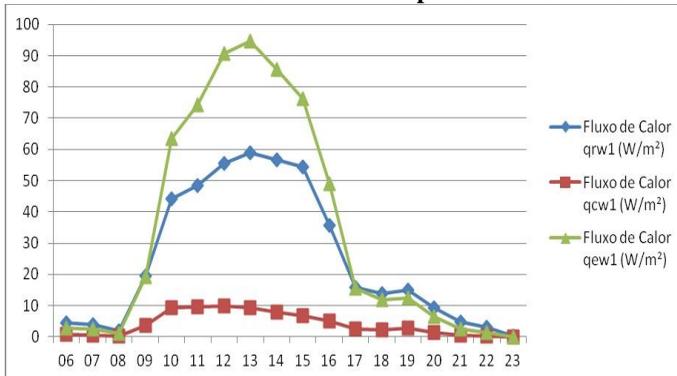
Gráfico 35 - Coeficientes de Transferência de Calor Total



Fonte: Do Autor (2013)

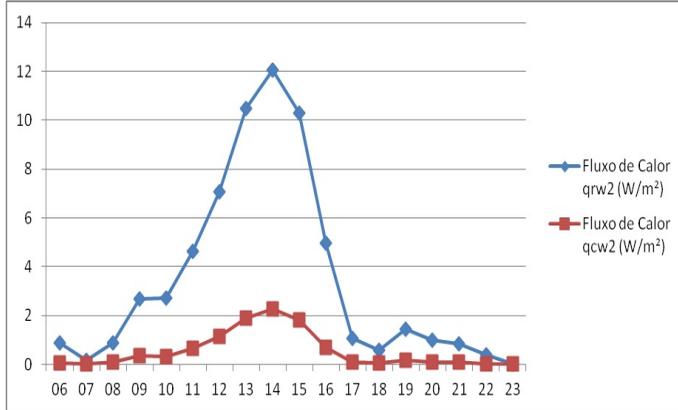
Observa-se, no Gráfico 36, que o fluxo de calor evaporativo e radiativo na parte superior comporta-se semelhantemente antes das 9 horas e depois das 17 horas. Durante estes intervalos há um pico evaporativo onde o fluxo de energia, em forma de calor, é mais significativo. Já o fluxo de calor convectivo é o maior contribuinte na parte superior do potabilizador, determinando o comportamento do fluxo de calor total. Ele ainda é bem expressivo das 8 horas às 17 horas, compreendendo o período de maior fluxo de calor convectivo.

Gráfico 36 - Fluxo de Calor – Parte Superior Potabilizador



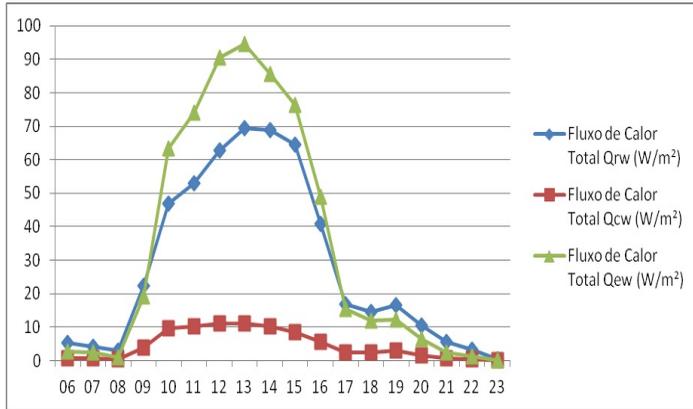
Fonte: Do Autor (2013)

No Gráfico 37, observou-se que o fluxo de calor radioativo e convectivo, na parte inferior da cúpula, contribuiu muito pouco para o processo comparado com a cúpula superior. Este indicador possibilita reflexão quanto à necessidade cúpula inferior.

Gráfico 37 - Fluxo de Calor – Parte Inferior Potabilizador

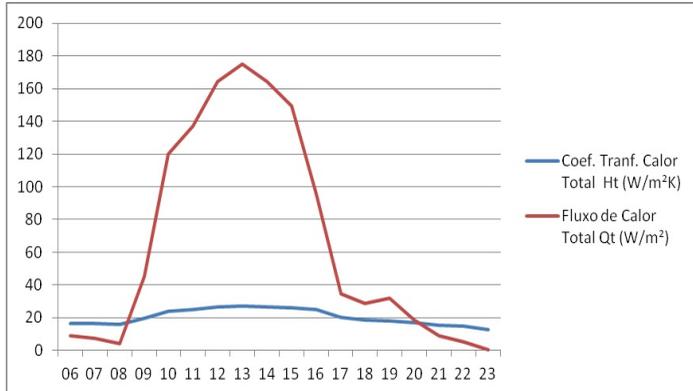
Fonte: Do Autor (2013)

O comportamento do fluxo de calor total (Figura 38) para todo o potabilizador aponta um comportamento similar para os três fluxos, principalmente entre as 8 horas e 17 horas. Depois deste período, há uma aproximação dos três fluxos com um amortecimento até as 22 horas. Este último comportamento da curva demonstra a energia em forma de calor contida no sistema até as 22 horas aproximadamente; como se analisa, o período com temperatura mais elevada. Isto inclui dias mais longos que no inverno, além de explicitarem a conservação dessa energia no sistema, coincidentemente até às 23 horas, período limite de nossos recortes diários, demonstrando que o sistema pode trabalhar durante 15 horas para nossa latitude.

Gráfico 38 - Fluxo de Calor Total

Fonte: Do Autor (2013)

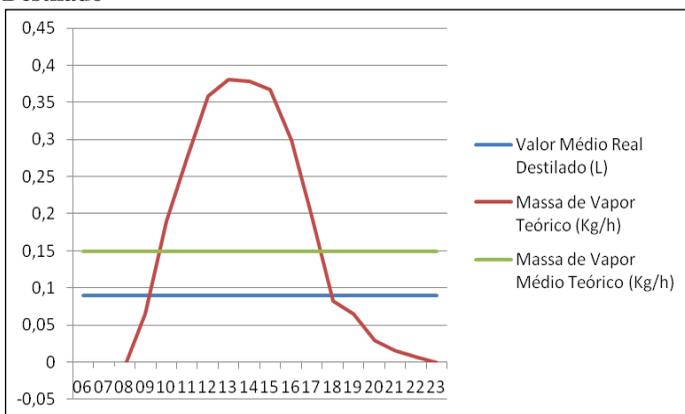
O Gráfico 39 nos apresenta o comportamento das transferências de calor no sistema com um pico entre as 12 horas e 14 horas. Pode-se apontar um aumento na conservação de energia, onde a curva do fluxo de calor manter-se ascendente das 8 horas, aproximando das 14 horas e ascendente até as 23 horas, o que apresenta uma diminuição de energia no sistema.

Gráfico 39 – Coeficiente de Transferência de Calor e Fluxo de Calor

Fonte: Do Autor (2013)

Para o dia mais quente do período, a massa de vapor teórico produzida está entre as 8 horas e 23 horas Gráfico 40. Ao se transportar para a massa de vapor médio teórico, para a comparação com a produção média real do destilado, ambos diários, observou-se que há uma produção de massa de vapor média teórico maior do que a produção média real do destilado. Isso permite fazer algumas suposições sobre a eficiência no sistema destilador solar: a) pode haver perda para o ambiente externo no processo de massa de vapor; b) há uma possibilidade de permanência de massa de vapor no sistema, não completando o escoamento do líquido condensado e; c) há uma perda da produção do destilado até a bombona (vazamento).

Gráfico 40 - Massa de Vapor Teórico e Produção Média Real Destilado

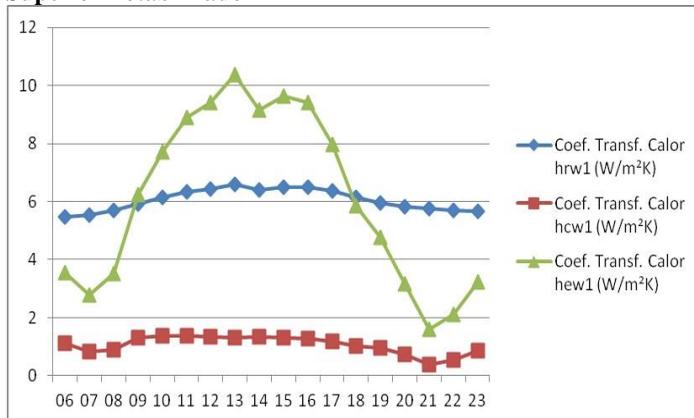


Fonte: Do Autor (2013)

Outro recorte, que se propôs analisar, foi o dia de maior produção de destilado 18/12/12, com o valor de 1,98 L/m².d. Conforme o Gráfico 33, relativo as análises gráficas do dia 26/12/12, observou-se um comportamento semelhante dos coeficientes radiativo convectivo e evaporativo, na parte superior da cúpula, em relação ao dia de maior produção. Destaca-se o fenômeno da curva dos coeficientes de

transferência de calor evaporativo, transpondo no gráfico a curva do coeficiente de transferência de calor radioativo. Embora este período apresente os dias mais quentes do período estudado, vale ressaltar que o coeficiente de transferência de calor evaporativo declina até as 23 horas enquanto no Gráfico 41, constata-se que o coeficiente evaporativo declina até às 21 horas, o que pode ter sido ocasionado por uma chuva de verão, pois a curva tende a subir posteriormente.

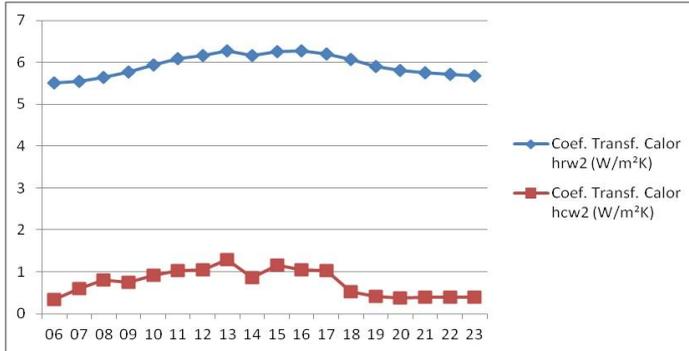
Gráfico 41 – Coeficiente de Transferência de Calor – Parte Superior Potabilizador



Fonte: Do Autor (2013)

Comparando os Gráficos 42 e 43, observou-se a contribuição bem maior dos coeficientes de transferência de calor radioativo e convectivo na parte superior do sistema destilador solar, repetindo uma tendência com os gráficos do dia 26/12/12.

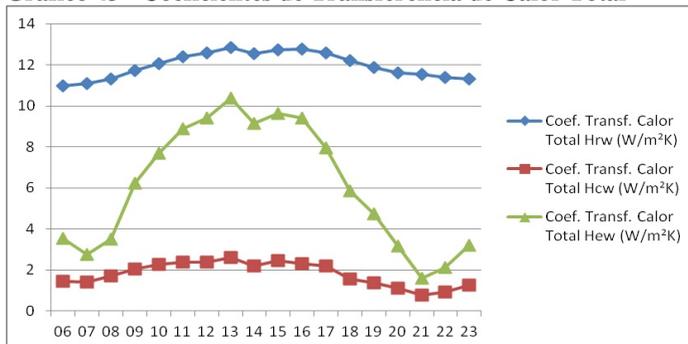
Gráfico 42 - Coeficiente de Transferência de Calor – Parte Inferior Potabilizador



Fonte: Do Autor (2013)

A transferência de calor radioativo e convectivo total apresenta um aumento significativo, principalmente entre as 7 horas e 21 horas Gráfico 43. Este período coincide com o comportamento do coeficiente de transferência de calor evaporativo total com um pico às 13 horas e outro às 15 horas. Às 14 horas, registrou-se nos três coeficientes uma pequena queda na curva, o que se supõe ser uma precipitação pontual, chuva de verão, já que posterior a esse evento há uma elevação de todos os coeficientes, dando sentido à curva até às 21 horas.

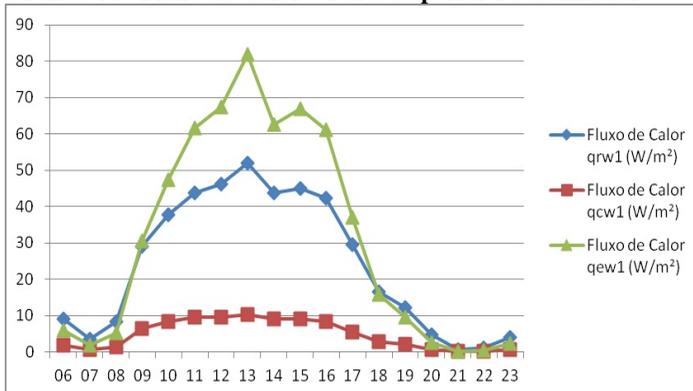
Gráfico 43 - Coeficientes de Transferência de Calor Total



Fonte: Do Autor (2013)

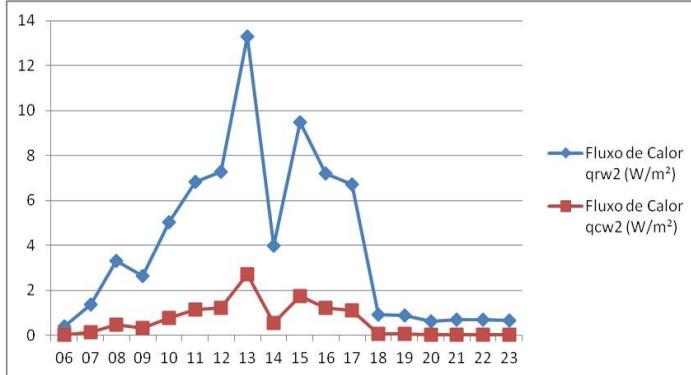
O Gráfico 44 representa o fluxo de calor na parte superior evaporativo, radiativo e convectivo comportando-se semelhantemente durante todo o período, havendo uma elevação às 7 horas e descendência na curva até as 21 horas. Durante estes intervalos, há um pico evaporativo e radioativo às 13 horas e às 15 horas, onde o fluxo de energia em forma de calor é mais significativo. Já o fluxo de calor convectivo é o maior contribuinte na parte superior do potabilizador, determinando o comportamento do fluxo de calor total, conforme Gráfico 38. Ele ainda é bem expressivo das 7 horas às 21 horas compreendendo o período de maior fluxo de calor convectivo.

Gráfico 44 - Fluxo de Calor – Parte Superior Potabilizador



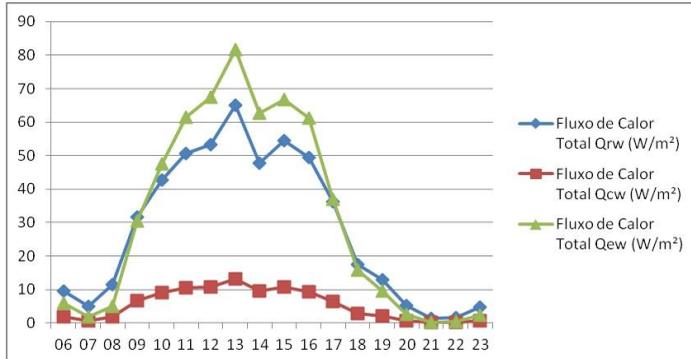
Fonte: Do Autor (2013)

O fluxo de calor, no Gráfico 45, representa um acontecimento às 14 horas, que provavelmente está associado a uma precipitação pontual, chuva de verão. Observa-se, no Gráfico 47, o comportamento em todo sistema de destilação solar.

Gráfico 45 - Fluxo de Calor – Parte Inferior Potabilizador

Fonte: Do Autor (2013)

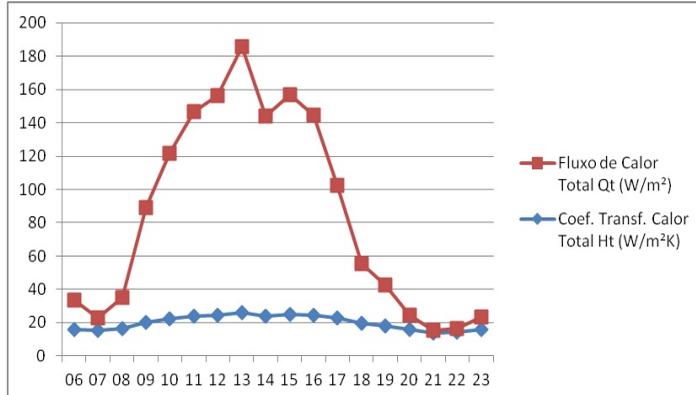
A curva de fluxo de calor evaporativo, Gráfico 46, para dia com mais produção, comporta-se acima da curva do coeficiente de calor radioativo. Não se observa esse comportamento na média mensal para os 6 meses estudados. Aponta-se que a temperatura ambiente elevada contribui significativamente no fluxo de calor evaporativo, radioativo e convectivo, resultando em uma maior produção de destilado, chegando a 1,98 L/m².

Gráfico 46 - Fluxo de Calor Total

Fonte: Do Autor (2013)

O comportamento do gráfico, conforme o Gráfico 47, apresenta um fluxo de calor total elevado entre as 7 horas e 20 horas deste dia. Já o coeficiente transferência de calor total apresenta, sensivelmente, elevação no período.

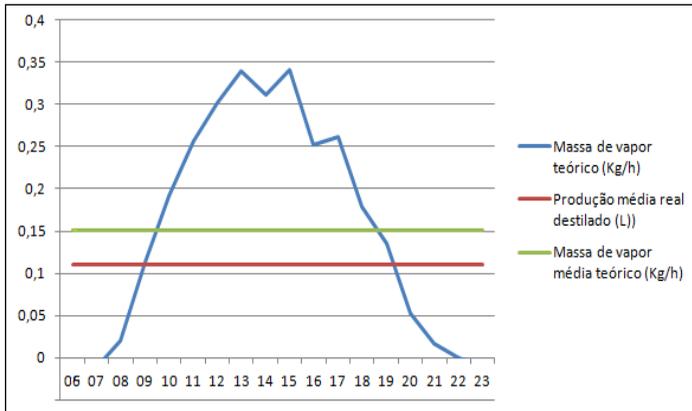
Gráfico 47 – Coeficiente de Transferência de Calor e Fluxo de Calor



Fonte: Do Autor (2013)

O dia de maior produção, coincidentemente, é o período que está dentro dos 15 dias mais quentes do período estudado. A massa de vapor teórico produzida está entre as 7 horas e 22 horas Gráfico 48. Ao transportar para a massa de vapor médio teórico, para a comparação com a produção média real do destilado, ambos diários, observa-se que há uma produção de massa de vapor média teórico maior do que a produção média real do destilado. Há O comportamento é semelhante ao dia 26/12/2012 (Gráfico 40) o que permite supor novamente a eficiência no sistema destilador solar: a) pode haver perda para o ambiente externo no processo de massa de vapor; b) há uma possibilidade de permanência de massa de vapor no sistema não completanto o escoamento do líquido condensado e; c) há uma perda da produção do destilado até a bombona (vazamento).

Gráfico 48 - Massa de Vapor Média Teórico e Produção Média Real Destilado

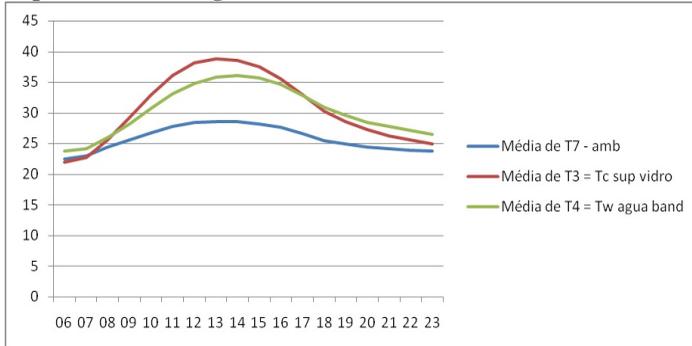


Fonte: Do Autor (2013)

Às 14 horas é possível observar uma pequena queda na curva de todos os gráficos dos coeficientes de transferência de calor, fluxo de calor, massa de vapor teórica e produção média de destilado desde o Gráfico 41 a 48. Não houve precipitação de chuva neste horário e, o mais provável, é a passagem de uma nuvem, em que o sistema de destilação solar, por estar em uma hora de pico, demonstra sensibilidade a tais fenômenos.

No Gráfico 49, a seguir, apresenta-se o comportamento das temperaturas ambiente externo ao potabilizador, da cobertura do vidro superior e da água bruta do reservatório da bandeja flutuante. A média, para todos os casos, das 6 horas às 23 horas demonstra a inversão, a partir da 17 horas, da temperatura da cobertura e da água bruta e a permanência, em sua totalidade, de temperaturas mais altas internamente no sistema de destilação, em relação à temperatura ambiente.

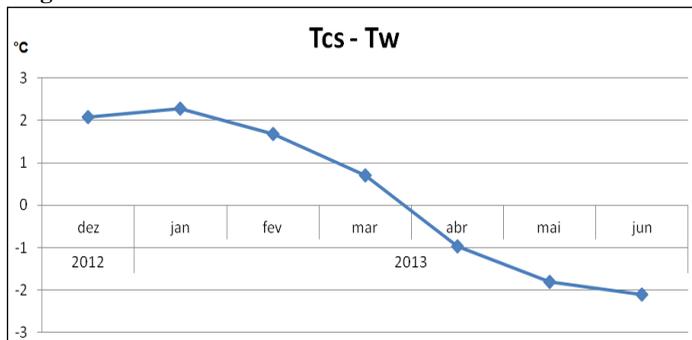
Gráfico 49 - Médias Temperatura Ambiente, da Cobertura Superior Vidro e Água Bruta do Reservatório



Fonte: Do Autor (2013)

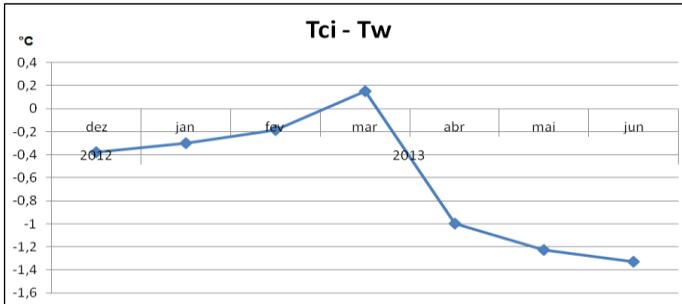
Nos Gráficos 50 e 51, apresenta-se as curvas da diferença da cobertura do vidro superior e inferior com a água bruta do reservatório da bandeja flutuante. Nota-se que há uma descendente em ambas as curvas, invertendo no período do mês de março. Como a temperatura da cobertura inferior sempre foi bem menor que a superior, entende-se que o comportamento do Gráfico 43 é anômalo.

Gráfico 50 - Diferença Temperatura Cobertura de Vidro Superior e Água Bruta do Reservatório



Fonte: Do Autor (2013)

Gráfico 51 - Diferença Temperatura Cobertura de Vidro Inferior e Água Bruta do Reservatório



Fonte: Do Autor (2013)

Na análise térmica, com o cálculo dos números adimensionais foi possível o cálculo dos coeficientes de transferência de calor e fluxos de calor, radioativo, convectivo e evaporativo a partir do modelo de Dunkle, equações de transferência de calor e da física em geral. Os fluxos internos foram calculados com objetivo de quantificar a massa de vapor teórica. As perdas para o ambiente e as transferências de calor da cobertura para ambiente externo não foram calculadas. Observa-se os resultados dos fluxos de calor, para todos os 188 dias nos Gráficos 23 e 24. Para o dia de maior temperatura, Gráficos 38 e 39; o dia de maior produção do destilado, Gráficos 46 e 47.

Com a análise dos gráficos de precipitação, radiação solar global, velocidade do vento, relações de temperatura, coeficientes de transferência de calor, fluxos de calor, massa de vapor e destilado produzido, apresentaram comportamentos variados com perdas de energia dentro e fora do sistema, sejam elas por vazamentos, perdas térmicas para meio externo ou retorno por gotejamento interno. Todas sujeitas as memas condições meteorológicas. Isso, possibilitou-nos, não só mensurar tais perdas, como perceber a necessidade de mudanças nos Pilotos como reduzir a parte inferior, aproveitar mais a radiação solar disponível e aprofundar estudos na direção de novos modelos de análise.

4.3. TERCEIRA QUESTAO DE PESQUISA

Para se construir as respostas da questão “Como propor um Potabilizador Solar que atenda os requisitos de simplicidade na sua replicabilidade e viabilidade econômica, considerando uma economia de experiência?”, utilizar-se-ão os dados obtidos durante o processo empírico, com as condicionantes utilizadas na construção dos Pilotos 4 e 5 como uma economia de experiência. Salienta-se que, durante o processo construtivo, optou-se por agregar aos protótipos dos pilotos alguns ajustes para seu funcionamento, devido à dificuldade de encontrar material bibliográfico dos passos construtivos. Também, nesta etapa, aumentou nossa percepção no processo de funcionamento do sistema potabilizador solar, entrando no chamado “processo criativo” com *insights*, originando o reservatório de água bruta com bandeja flutuante.

Antes do processo construtivo, foram estabelecidos os seguintes passos como uma economia da experiência.

- a) Utilização de vidro em sua totalidade no sistema de destilação;
- b) Dimensionamento do equipamento (largura) em tamanho aproximado de 1 m²;
- c) Sistema com água bruta, permanentemente ligada a uma caixa de abastecimento reserva, passando por uma caixa de controle de nível com boias para cada piloto;
- d) Definição do design (inclusão da pirâmide invertida para coleta);
- e) Construção de um Piloto 5, idêntico ao Piloto 1;
- f) Construção de um Piloto 4, para comparativo com Piloto 5;
- g) Compra dos materiais e preparação dos mesmos para montagem conforme croquis;
- h) Execução do projeto efetivado com apoio do LAPOÁ e seus membros.

Entende-se que para ser acessível a comunidades isoladas e rurais, no contexto do estresse hídricos, necessita-se de um fractal com estes três pontos distintos, sendo que o item c foi abordado na resposta da 1ª Questão da pesquisa.

- a) Simplicidade na sua replicabilidade;
- b) Viabilidade econômica para construção, instalação e manutenção;
- c) Efetividade na produção de água potável em qualidade e quantidade.

Um dos fatores inseridos na tecnologia, especificamente, dentro do sistema de destilação solar, foi o cuidado de manter o reservatório da bandeja flutuante isolado do contato com as paredes laterais e fundo, minimizando a perda para o ambiente apenas pelo vidro das coberturas (superior e inferior). Esta opção, ao se construir o potabilizador solar, está em conformidade com Malik, et al. (1982) que afirma que a absorção de energia solar pelo vidro deve ser mínima, e as perdas de calor pelo fundo, e as paredes externas, devem ser minimizadas para que a água condensada possa ser removida rapidamente para não dissipar o calor.

Outro ponto diferenciado no sistema foi a construção do reservatório de água bruta com a bandeja flutuante. Duffie e Beckman (1991) afirmam que bacias podem ter profundidades entre 10 e 20 mm, chamadas bacias rasas. As com 100 mm ou mais, são denominadas bacias profundas com larguras entre 1 e 2 metros e, comprimentos até 100 metros aproximadamente. O reservatório de água bruta se assemelharia com as bacias profundas com mais de 100 mm, porém a inclusão de uma bandeja de vidro, propiciando 10 mm de lâmina, poderia ser enquadrada como bacias rasas e atende pesquisas anteriores do LAPOÁ. Esta lâmina de água, que possui um espelho d'água de 1 m², é responsável pela absorvidade da radiação solar global que passa pela cobertura de vidro do potabilizador. Sartori (1996) aponta, ainda, uma diferença entre a temperatura da água bruta na bandeja e a temperatura no vidro da cobertura, sendo

esta última menor. Observa que a radiação absorvida pelo vidro vai emissivamente para água, o que produz o efeito estufa.

A afirmação de Sartori (1996), fazendo um paralelo com o comportamento da curva de massa de vapor nos Gráficos 28 e 29, influenciado, como se pode observar, nos Gráficos 31 e 32, cujas curvas apresentam inversões entre a temperatura da cobertura de vidro e a água bruta. No experimento feito, as temperaturas elevadas nos dias longos (verão) e baixas, em dias curtos (inverno), podem produzir interferências significativas na produção, tais como fenômenos de variabilidade climáticos, exemplificados nas constantes rajadas de vento de 40 a 60 Km/h, em janeiro de 2012, e nas precipitações elevadas de fevereiro e março, com tempo de recorrência pequeno, propiciando variações bruscas na temperatura da cobertura.

O protótipo do equipamento, Potabilizador Solar, também agrega uma economia da experiência do LAPOÁ na utilização do vidro, além de diversos pesquisadores de destiladores solares. Ghoneyem e Ileri (1997) afirmam que um destilador solar com cobertura de vidro de espessura com 3 mm poderia agregar um acréscimo de 16.5% na produção, em um comparativo com uma espessura de 6mm. Eles verificaram que a transferência de calor pela cobertura aumenta com a diminuição da espessura do vidro e com o aumento da condutividade térmica da mesma. O material mais utilizado e indicado para cobertura é o vidro, devido suas características para a eficiência do equipamento.

COSTA (2008) argumenta que o ângulo de inclinação da cobertura de vidro tem influência na quantidade de radiação solar que entra no destilador. Quanto mais ortogonal à superfície do vidro for esse ângulo de incidência, melhor. Se para ângulos de incidência de 90°, cerca de 90% da radiação é transmitida, para ângulos de 20° quase nenhuma radiação direta atravessa o vidro. Entretanto, como as latitudes brasileiras vão de 0° a aproximadamente 35°, esse problema é minimizado. Em pesquisas anteriores do LAPOÁ, já se havia avançado nas discussões da inclinação da cobertura para o interior do equipamento, em relação ao gotejamento. Pretende-se enfatizar,

nesta pesquisa, o cuidado com problemas que se pode ter quando se aborda, nos cálculos, planos horizontais ou inclinados de absorção da radiação. A questão do vidro entraria como mais um item a ser estudado. Na pesquisa, utiliza-se um índice de transmitância corrigindo a não utilização de possíveis perdas por reflexão e outras variáveis. Observe-se que o equipamento construído possui um diferencial, que são 4 lados de vidro na forma piramidal, enquanto que a maioria das investigações estão em conformidade com uma cobertura de destilador com uma ou duas faces.

Para um Modelo simples e viável, agregando uma economia da experiência sobre o tema, a partir das condicionantes, autores com pesquisas envolvidas e o empírico da pesquisa com os Pilotos 1, 2, 4 e 5, possibilita propor elementos para um Modelo de Potabilizador Solar como segue:

- a) **Uso da fibra de vidro:** este produto demonstrou resistência às intempéries e numa perspectiva de produção em quantidade, seria mais simples de produzir em escala. Sua estrutura corresponderia à pirâmide invertida (parte inferior) responsável pelo escoamento direto sem perda por reevaporação utilizando reservatórios finais móveis. Essa estrutura possibilitaria uma sustentação à cobertura de vidro (parte superior). Outro produto importante é com a tinta a ser aplicada internamente, pois em contato com elevadas temperaturas pode comprometer a qualidade da água produzida. Assim, sugere-se resinas tipo gel coats que são próprias para proteger das intempéries, com acabamento liso e brilhante na superfície, e propriedades físico-químicas que não deixam gosto nem cheiro na água potável. A base de fibra de vidro, em forma de pirâmide invertida, pode ser adaptada com uma estrutura de apoio ao solo, ao qual poderia utilizar areia ou brita (material disponível) e de baixo custo, tornando-o fixo o suficiente para não haver movimento da estrutura provocada pelo o vento, evitando a formação de ondas

como na bandeja fixa, o que comprometeria o destilado. Isto foi verificado no Piloto 1 e comprovado na estabilidade dos Pilotos 4 e 5, com suas estruturas estáticas.

- b) **Cobertura de vidro:** a cobertura mais eficiente é o vidro, conforme alguns autores afirmam em diversas pesquisas sobre destiladores solares. Adota-se o vidro de 4 mm de espessura, por ser mais econômico e de fácil afeiçãoamento e encontrado em qualquer vidraçaria. Isso implica fácil acesso em caso de fratura do mesmo. O vidro em placas e na forma triangular sempre é uma desvantagem no seu manuseio devido a fragilidade do material.
- c) **Estrutura metálica da cobertura:** canaletas de alumínio na forma de “L” são utilizadas. Este material de fácil manuseio facilitou a montagem da estrutura da cobertura. Utilizou-se também, o silicone atóxico para firmar o vidro ao alumínio, o que torna a cúpula de vidro hermeticamente fechada, para não haver perda de vapor para o meio externo. Na parte inferior não foi eficiente, pois houve fratura do vidro.
- d) **Reservatórios externos:** para diminuir os custos e facilitar o direcionamento do destilado o mais rápido possível, optou-se por reservatório tipo bombonas de água (10 a 20 litros), pois, torna simples o processo de manuseio e transporte das bombonas de água. Deste modo, também se conseguiu diminuir perdas por vapor d'água e líquido no processo.
- e) **Limpeza das bandejas e do reservatório:** deve ser realizada 4 a 6 meses conforme a qualidade da água bruta, condicionada ao fechamento hermético do sistema para não haver comprometimento do destilado.
- f) **Reservatório água bruta da bandeja flutuante:** a inserção no equipamento do reservatório com bandeja flutuante teve um aumento da produção de destilado no período com temperaturas elevadas em relação ao equipamento com bandeja fixa de água bruta.

- g) **Bandeja flutuante:** sugere-se que esta bandeja seja de um material diferente do vidro e mais leve; que possa ser utilizada com temperaturas elevadas, sem comprometimento de gostos e odores. Ela proporcionou um melhor aquecimento de lâmina d'água constatado com o sensor de água bruta. Entende-se que necessita de mais estudos com sensores em pontos diversos, para melhor definição de seu comportamento. Diaz (2007) trabalhou a área da bandeja com a cor preta. Esta sugestão deve ser ponderada quando destilar água salgada ou salobra, pois gera um acúmulo de sal na totalidade da bandeja.
- h) **Flutuadores - isopor:** o polistireno expandido – EPS, mais conhecido como isopor, utilizado como flutuador da bandeja, embora tenha propriedades que não comprometam o gosto e odor na água, não atendeu os princípios de flutuação. Por ser um material expandido, seus espaços vazios, após um período prolongado, saturou-se de água, provocando instabilidade na bandeja. Já se havia pesquisado, no LAPOÁ; o uso do mesmo na interface da bandeja - reservatório, o que também demonstrou problemas no contato com água potável, além do derretimento pelas altas temperaturas do Piloto 1.
- i) **Cúpula inferior:** propõe-se uma cúpula inferior para que o escoamento do destilado produzido seja direcionado com mais rapidez para o reservatório externo, evitando a perda por reevaporação. Observa-se que este espaço pode ser minimizado, diminuindo a perda de energia ao eliminar a área exposta para ambiente externo. Isto, inclui a troca do vidro pelo uso de fibra de vidro, proporcionando uma economia nos custos.
- j) **Distanciamento entre a cúpula de vidro e a água da bandeja:** No experimento, Piloto 4, a média ficou, aproximadamente, em 18 cm, podendo ser melhor explorado, uma vez que os estudos de Costa (2008) para que a distância entre o vidro e a superfície da água não deve ser maior que 5 cm ou 6 cm, de modo que o

destilador opere com maior eficiência. À medida que a distância entre o vidro e a água aumenta, as perdas térmicas por convecção também aumentam e a eficiência do destilador diminui.

- k) **Qualidade da água bruta:** verificar turbidez da água bruta que pode influenciar no processo;
- l) **Outros fatores:** economia da experiência do LAPOÁ e demais pesquisadores da revisão bibliográfica:
 - Fechamento hermético do sistema é fundamental para sua eficiência;
 - Sistema de abastecimento por bebedouro de pássaro;
 - Lâmina d'água inferior a 10 mm para bandeja fixa;
 - Inclinação da cúpula em torno de 20 a 45 graus;
 - Um manual de montagem e funcionamento.

Recomenda-se o uso de potabilizadores com bandeja flutuante para regiões com temperaturas elevadas. Esta última consegue conservar energia na massa de água por mais tempo, fazendo o sistema produzir mais destilado, o que inclui o período noturno. A.K. Tiwari (2008) refere que o melhor rendimento da destilação solar passiva está relacionado com a profundidade mínima da bandeja (bacia), onde a eficiência diminui com o aumento da profundidade. Outras pesquisas de A. K. Tiwari & G. N. Tiwari (2006 e, 2008); Tripathi & G. N. Tiwari (2006); G. N. Tiwari, Dimri e Chel (2009), demonstraram que a profundidade da bacia é inversamente proporcional à produção da unidade. Nesta pesquisa, utiliza-se uma profundidade maior que 50 mm, porém se utiliza uma bandeja flutuante que propicia um mecanismo de aquecimento na parte superior da água bruta, já que se colocou isopores como flutuadores, o que pode ter contribuído para um aumento de produção do destilado. Murugavel, Chockalingam e Srithar (2008) indicam que para aumentar a taxa de evaporação, há uma técnica de inserção de uma placa para separar a camada superior de água da camada inferior.

Rahim (2001) defende que com bandejas menores em profundidade, a capacidade térmica da água é menor, mesmo quando a temperatura da água é maior. Quanto acontece este fenômeno, a taxa de evaporação é elevada, aumentando a produção de destilado. Observa que isso não ocorre com as bacias profundas. Nas bacias rasas, a alteração da radiação solar afeta de imediato a temperatura da água, e essa, a produção. Afirma ainda que, para bacias rasas, a produção à noite diminui sensivelmente.

Observa-se que Costa (2005), comenta que a lâmina d'água em geral, varia entre 1,5 cm e 2,5 cm, correspondente a uma bacia rasa (badeja rasa), e apoia-se em Al-Hayek, que afirma que com estas medidas obtém-se melhor eficiência de calor e que destiladores de mesma largura, mas com profundidades diferentes, não apresentam a mesma eficiência. O destilador de menor profundidade tem maior eficiência. Em conformidade com o autor referido, o aumento da lâmina de água é dificultados da produtividade de um destilador e propõe que, para iniciar um processo de destilação, deve-se recorrer a dados experimentais anteriores a fim de definir qual lâmina de água deve ser usada em cada tipo de destilador solar e em cada região. Sugere-se mais pesquisas com a bandeja flutuante, pois alguns autores defendem que o uso de lâminas maiores é inversamente proporcional à boa produção de destilado.

Outro fator não é abordado é a dimensão das bandejas. Optou-se neste estudo, por bandeja de 1 m². O autor que aborda este assunto com mais propriedade é Costa (2005), afirmando que os tamanhos mais comuns desses equipamentos variam entre 0,50 m e 2,50 m de largura, e com comprimento de até 100 m, podendo perfazer uma área superior a 60 m². Indica que os mais usuais podem ter 0,65 m a 0,90 m de largura, por comprimento na faixa de 2 m ou 3 m. Apresenta-se uma economia da experiência, conforme Tabela 27 e Tabela complementar APÊNDICE C – ARQUIVO 8.

Tabela 27 – Temperaturas max, mín e méd – sensores Piloto 4

Autor	Ano	Inclinação Cobertura (GRAUS)	Tipo de Cobertura	Produção (L/m ² .dia)	Área Espelho d'água (m ²)	Local
Gomella	1973	-x-	-x-	6,0	-x-	-x-
Cometta	1977	-x-	-x-	4,0	1	-x-
Vaz de Piña	2004	-x-	-x-	10	1	
Soares	2003 e 2004	-x-	Pirâmide	3,0 a 3,7	1	Natal/Brasil
Soares	2003 e 2004	-x-	Pirâmide	3,1 e 3,7	1	Fpolis/Brasil
Soares	2004	-x-	Pirâmide	8	2	Fpolis/Brasil
Qiblawey & Banat	2006 e 2007	-x-	-x-	4,0 a 5,0	2	-x-
Murakami	2005	25°	Pirâmide invertida	0,88		
Reif	2006	25°	Pirâmide	1,3 e 1,9		
Ferrari	2008	25° e 45°	Pirâmide	1,5 e 2,4	2	
Lenzi	2009	25°	Pirâmide	0,3	0,18	
Saviato Dias	2012	(P4) 30 ⁰ (P5) 30 ⁰	Pirâmide Pirâmide	(P1)0,9(11h) (P2)0,6(11h)	0,20 0,20	Foz de Iguaçu
Nandwani	2009	-x-		3,0 a 5,0	1,1	-x-
Díaz	2011	-x-	-x-	5,6	-x-	-x-
Piloto 4 e 5 Cardoso da Silva/2013	2012 2013	(P4)25,68 ⁰ (P5)26,98 ⁰	Pirâmide Pirâmide	(P4) 0,80 (P5) 0,63	(P4) 1 (P5) 1	Fpolis/Brasil
Piloto 1 e 2 Cardoso da Silva/2013	2011 2012 2013	-x- -x-	Pirâmide Pirâmide	(P1) 3,29 (P2) 3,26	(P1)2,0164 (P2)0,7350	Fpolis/Brasil

Fonte: Adaptação de Soares (2004) e Do Autor (2013)

Observou-se que a maior produção deu-se no Piloto 1. Porém, construiu-se um Piloto 5 idêntico ao Piloto 1, com medidas diferentes. Todos os Pilotos permaneceram em condições idênticas climáticas e de Radiação Solar Global. Os Pilotos 1, 2 e 5, com bandeja fixa, e Piloto 4, com bandeja flutuante, permaneceram com lâminas de 10 mm aproximadamente. A produção do destilado no Piloto 4, com bandeja flutuante, foi bem superior em todo o período dos 6 meses em relação ao Piloto 5.

Na economicidade, o custo total construtivo do Piloto 1 e 2 foi de R\$ 2.500,00 e R\$ 3.500,00 respectivamente. Já os valores do Piloto 4 ficaram na ordem de R\$ 907,84 com participação dos materiais em porcentagem (Tabela 28), e do Piloto 5, em R\$ 839,84 com participação dos materiais em porcentagem (Tabela 29). Não foram considerados os instrumentos utilizados, subsídios do LAPOÁ e a mão de obra da construção.

A produção de destilado no Piloto 1 e 2 alcançaram a média mensal, em 27 meses, de 3,29 L/m².d e 3,26 Lm².d. Os Pilotos 4 e 5 atingiram a média mensal de 0,80 L/m².d e 0,63 L/m².d, respectivamente, para os 6 meses finais. Observa-se que as dimensões são diferentes entre todos os Pilotos, sendo que o Piloto 5 é uma réplica do Piloto 1, porém nas mesmas metragens que o Piloto 4, diferenciando apenas as bandejas, uma fixa (Piloto 5) e outra flutuante (Piloto 4). O Piloto 2 difere dos demais por ter 6 lados.

Pode-se, deste modo, concordar com Tiwari (2008) sobre o processo de destilação passiva, quando afirma que “é mais econômico do que outros processos de destilação, devido aos seguintes pontos:

a) custo grátis de energia e disponibilidade; b) custos operacionais reduzidos; c) simplicidade no design e; d) não é necessário mão-de-obra especializada para construção e manutenção”. Aponta, ainda, que este processo convencional de destilação solar elimina, efetivamente, todos os agentes transmitidos pela água, como do mar e metais pesados, trazendo

benefícios imediatos na redução de problemas de saúde associados a doenças transmitidas pela água. Entende-se, aqui, a amplitude que a economia pode atingir, quando possibilita o não prejuízo à sociedade com enfermidades à população.

Costa (2008) afirma que o ideal é a construção de destiladores de pequeno porte, pois desta forma garante a produtividade, além de facilitar as operações, manutenções, limpeza e o transporte do equipamento. Sugere, também, a construção de módulos por serem mais fáceis de adicionar e subtrair em conjunto, caso necessite de interrupção do processo. Alega, ainda, que por serem menores, possuem uma maior eficiência por área.

A Tabela 28, referente aos custos fixos e participação acumulada do Piloto 4, apresenta a discriminação dos materiais, com cada item e suas respectivas quantidades, custo médio e total, além da porcentagem do custo acumulada e custo individual com o custo total. Observa-se que se tem o acumulado de 63,56% o que representa mais da metade dos custos do equipamento em materiais “placas de vidro”. (APÊNDICE A – Tabela 28)

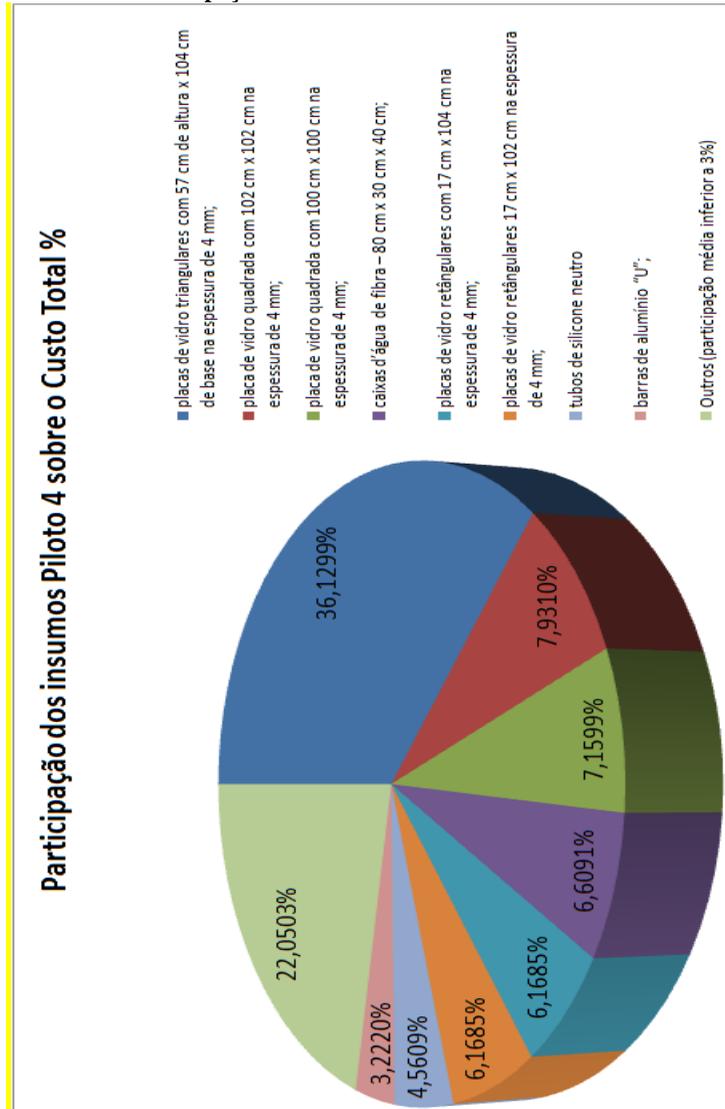
Tabela 28 - Custos Fixos - Participação dos materiais sobre o Custo Total – Piloto 4

Descrição	und	Qtd	Custo Médio (R\$)	Custo Total (R\$)
Placas de vidro triangulares com 57 cm de altura x 104 cm de base na espessura de 4 mm;	und	8	41,00	328,00
Placa de vidro quadrada com 102 cm x 102 cm na espessura de 4 mm;	und	1	72,00	72,00
Placa de vidro quadrada com 100 cm x 100 cm na espessura de 4 mm;	und	1	65,00	65,00
Placas de vidro retangulares com 17 cm x 104 cm na espessura de 4 mm;	und	4	14,00	56,00
Placas de vidro retangulares 17 cm x 102 cm na espessura de 4 mm;	und	4	14,00	56,00
Caixas d'água de fibra – 80 cm x 30 cm x 40 cm;	und	2	30,00	60,00
Tubos de silicone neutro	und	7	5,92	41,41
Barras de alumínio "U";	m	6	4,88	29,25
Barras de alumínio "U";	m	6	3,78	22,68
Tubos de silicone	und	5	3,88	19,40
Tubos de silicone (MEGAVED)	und	5	3,65	18,25
Fecho automático zincado (2ª compra)	und	4	4,21	16,85
Tubos silicone atóxico	und	2	8,25	16,50
Fecho automático zincado (1ª compra)	und	4	3,75	15,00
Barras de alumínio "L";	m	6	1,95	11,70
Barras de alumínio "L";	m	6	1,68	10,08
Adaptador PVC soldável para caixa d'água com anel;	und	4	2,35	9,40
Barras de alumínio "regua"	m	6	1,50	9,00
Parafusos inóx	und	32	0,21	6,87
Chapa de alumínio 400 cm x 0,05 cm x 15 cm;	und	1	5,85	5,85
Registro esfera VS Rosca 1.½;	und	1	5,65	5,65
Sifões 40 mm;	und	2	2,80	5,60
Bóias para caixa d'água ¾;	und	2	2,58	5,15
Placas de isopor – 50 cm x 100 cm x 1 cm;	und	2	2,58	5,15
Caixa - 50 metros de veda rosca;	und	1	4,33	4,33
Conexão com rosca para mangueira e ½;	und	9	0,36	3,25
Bucha de redução PVC esgoto branco 50 x 40 mm;	und	2	0,83	1,65
Luva de redução ½ para ¾;	und	2	0,73	1,45
Metros de mangueira preta ½;	m	8	0,18	1,41
Tê ½;	und	1	1,10	1,10
Luva ½;	und	2	0,35	0,70
Arroelas inóx	und	32	0,02	0,64
Porcas inóx	und	32	0,02	0,64
Nipel ½;	und	2	0,24	0,48
Flange ½;	und	2	0,24	0,48
Adap.sold. curto c/ bolsa e rosca p/Reg.25 mm x ¾;	und	2	0,18	0,35
Joelho de 45° ½;	und	2	0,17	0,33
Tubo de PVC ½ (50 cm);	und	1	0,25	0,25
TOTAL				907,84

Fonte: Do Autor (2013)

Para uma melhor visualização, o Gráfico 52 apresenta a distribuição dos insumos de maior peso sobre custo total em porcentagem do Piloto 4. Os de menor participação, inferior a 3%, estão agrupados no item “Outros”, compondo 22%. Observa-se que, no gráfico, as placas triangulares correspondem a pouco mais de 36% de participação no custo total.

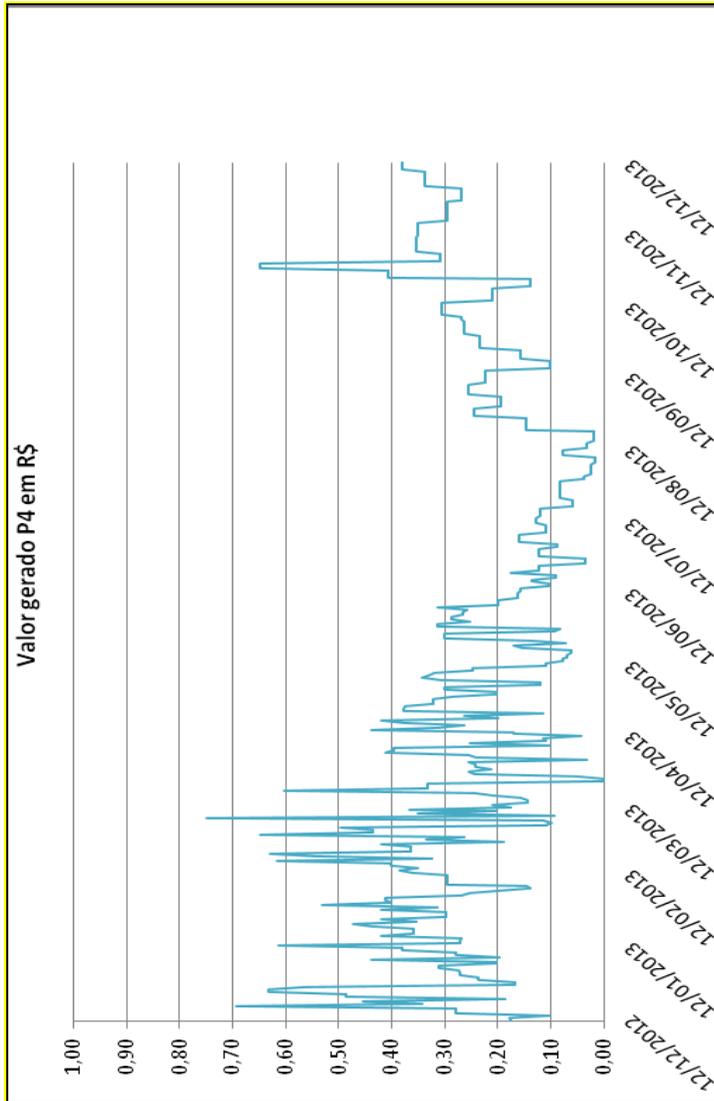
Gráfico 52 - Participação dos Insumos Piloto 4 sobre o Custo Total %



Fonte: Do Autor (2013)

No Gráfico 53, pode-se observar que há um valor adicionado no decorrer dos meses. O período com maior produção de destilado proporciona um maior valor gerado em reais (R\$). Pode-se verificar que, nos meses de maio a agosto, meses com temperatura mais baixa, a produção diminui, o que gera um valor baixo. Já os meses de dezembro de 2012 a março de 2013 é o período de maior produção e, conseqüentemente, maior valor gerado. A partir do mês de agosto de 2013, a produção de destilado novamente começa a aumentar, podendo-se afirmar, nesta tendência, o aumento do valor gerado. Neste período, entre agosto e dezembro de 2013, como a pesquisa continua *in loco*, optou-se por agregar estes dados para uma melhor compreensão da análise econômica. O Piloto 4 começou a funcionar no dia 12/12/2012 e, na análise econômica do mesmo, considerando a diluição do custo fixo em relação ao tempo de produção, verificou-se que não concluiu seu próprio pagamento em 11/12/2013. Há uma estimativa para novembro de 2019.

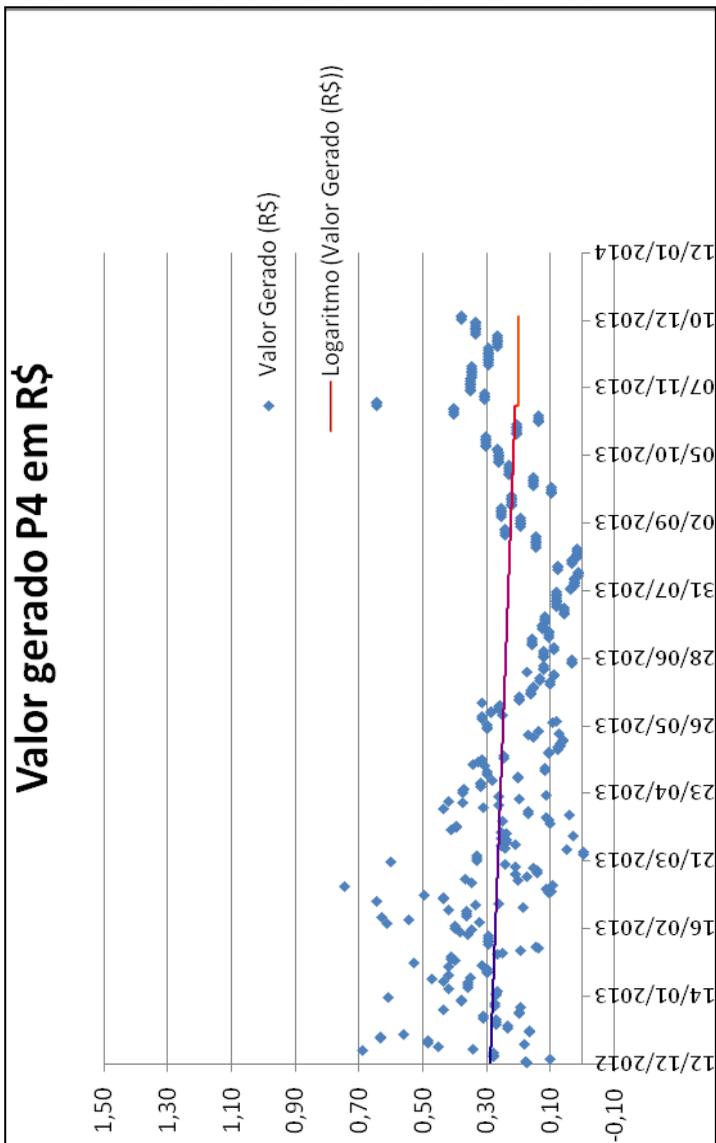
Gráfico 53 - Valor Gerado Piloto 4 em R\$ - 1 Ano



Fonte: Do Autor (2013)

No Gráfico 54, pode-se observar uma dispersão dos valores gerados. A linha de tendência demonstra redução do valor adicionado no período. Com a temperatura ambiente elevada, entre dezembro de 2012 a março de 2013, os pontos no gráfico apresentam uma maior instabilidade. Supõe-se que chuvas de verão ou rajadas de vento constantes, neste intervalo, possam ter influenciado uma dispersão dos pontos como representado. Já no período de março a agosto, as médias se mantêm de maneira mais comportada, embora com valores gerados baixos de produção. De agosto em diante, os dados demonstram um aumento do valor gerado mantendo esse comportamento em média.

Gráfico 54 - Linha de Tendência do Valor Gerado - Piloto 4



Fonte: Do Autor (2013)

A Tabela 29, referente aos custos fixos e participação acumulada do Piloto 5, apresenta a discriminação dos materiais, com cada item contendo suas respectivas quantidades, custo médio e total, além da porcentagem do custo acumulada e custo individual com o custo total. Observa-se que se tem o acumulado de 60,60%, o que representa também mais da metade dos custos do equipamento nos itens “placas de vidro”. (APÊNDICE A – Tabela 29)

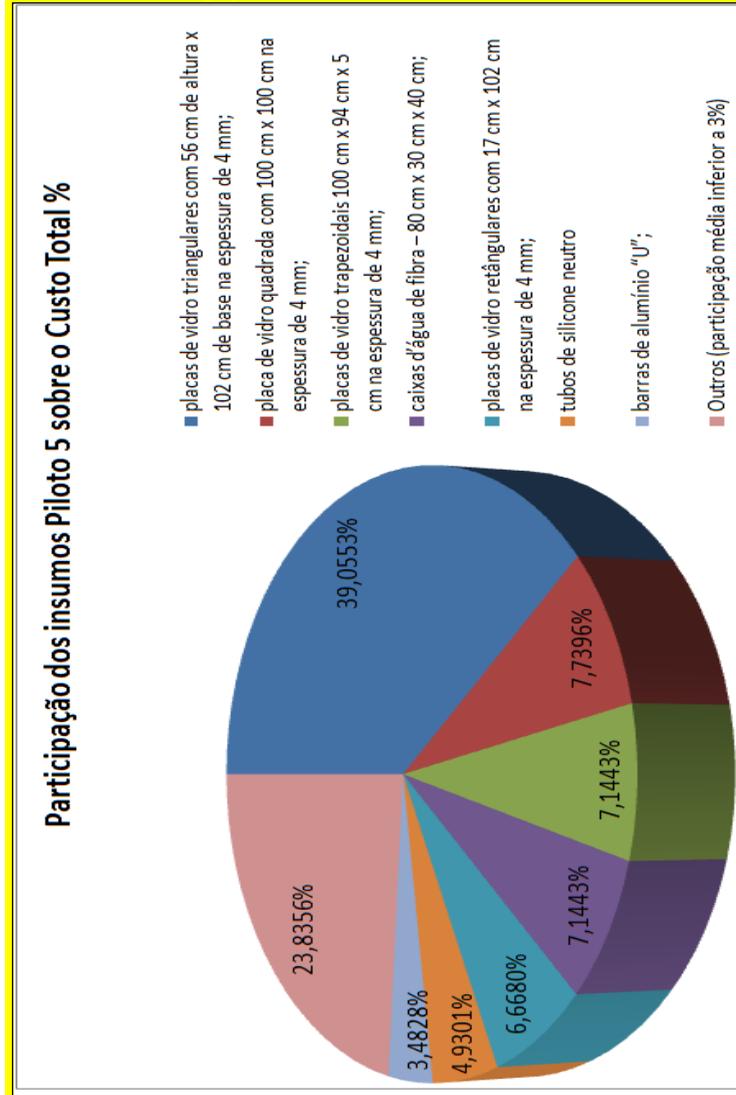
Tabela 29 - Custos Fixos - Participação dos materiais sobre o Custo Total – Piloto 5

Descrição	und	Qtd	Custo Médio (R\$)	Custo Total (R\$)
Placas de vidro triangulares com 56 cm de altura x 102 cm de base na espessura de 4 mm;	und	8	41,00	328,00
Placa de vidro quadrada com 100 cm x 100 cm na espessura de 4 mm;	und	1	65,00	65,00
Placas de vidro trapezoidais 100 cm x 94 cm x 5 cm na espessura de 4 mm;	und	4	15,00	60,00
Placas de vidro retangulares com 17 cm x 102 cm na espessura de 4 mm;	und	4	14,00	56,00
Caixas d'água de fibra – 80 cm x 30 cm x 40 cm;	und	2	30,00	60,00
Tubos de silicone neutro	und	7	5,92	41,41
Barras de alumínio "U";	m	6	4,88	29,25
Barras de alumínio "U";	m	6	3,78	22,68
Tubos de silicone	und	5	3,88	19,40
Tubos de silicone (MEGAVED)	und	5	3,65	18,25
Fecho automático zincado (2ª compra)	und	4	4,21	16,85
Tubos silicone atóxico	und	2	8,25	16,50
Fecho automático zincado (1ª compra)	und	4	3,75	15,00
Barras de alumínio "L";	m	6	1,95	11,70
Barras de alumínio "L";	m	6	1,68	10,08
Adaptador PVC soldável para caixa d'água com anel;	und	4	2,35	9,40
Barras de alumínio "regua"	m	6	1,50	9,00
Parafusos inóx	und	32	0,21	6,87
Chapa de alumínio 400 cm x 0,05 cm x 15 cm;	und	1	5,85	5,85
Registro esfera VS Rosca 1.½;	und	1	5,65	5,65
Sifões 40 mm;	und	2	2,80	5,60
Bóias para caixa d'água ¾;	und	2	2,58	5,15
Placas de isopor – 50 cm x 100 cm x 1 cm;	und	2	2,58	5,15
Caixa - 50 metros de veda rosca;	und	1	4,33	4,33
Conexão com rosca para mangueira e ½;	und	9	0,36	3,25
Bucha de redução PVC esgoto branco 50 x 40 mm;	und	2	0,83	1,65
Luva de redução ½ para ¾;	und	2	0,73	1,45
Metros de mangueira preta ½;	m	8	0,18	1,41
Tê ½;	und	1	1,10	1,10
Luva ¾;	und	2	0,35	0,70
Arroelas inóx	und	32	0,02	0,64
Porcas inóx	und	32	0,02	0,64
Nipel ½;	und	2	0,24	0,48
Flange ¾;	und	2	0,24	0,48
Adap. Sold. curto c/bolsa e rosca p/Reg. 25mm x ¾;	und	2	0,18	0,35
Joêlho de 45º ¾;	und	2	0,17	0,33
Tubo de PVC ½ (50 cm);	und	1	0,25	0,25
TOTAL				839,84

Fonte: Do Autor (2013)

Para uma melhor visualização, o Gráfico 55 apresenta a distribuição dos insumos de maior peso sobre custo total em porcentagem do Piloto 5. Os de menor participação inferior a 3% estão agrupados no item “Outros” compondo 23,83%. Observa-se que no gráfico as placas triangulares correspondem a pouco mais de 39,05% de participação no custo total.

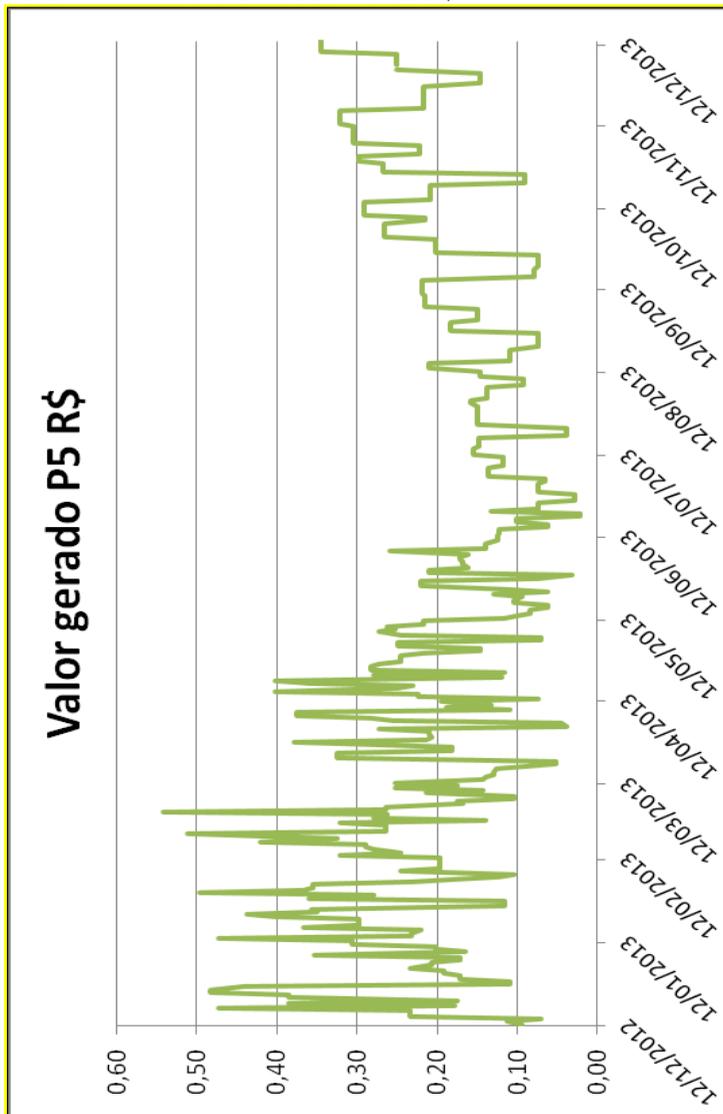
Gráfico 55 - Participação dos Insumos Piloto 5 sobre o Custo Total %



Fonte: Do Autor (2013)

Pelo Gráfico 56, observou-se também um valor adicionado no decorrer dos meses. O período com maior produção de destilado proporciona um maior valor gerado em reais (R\$). Verifica-se que nos meses de maio a agosto, meses com temperatura mais baixa, a produção diminui, o que gera um valor baixo. Já nos meses de dezembro de 2012 a março de 2013 é o período de maior produção e, conseqüentemente, maior valor gerado. A partir do mês de agosto de 2013, a produção de destilado novamente começa a aumentar, o que se pode afirmar nesta tendência o aumento do valor gerado. Este período entre agosto e dezembro de 2013 como a pesquisa continua *in loco*, optou-se em agregar estes dados para uma melhor compreensão da análise econômica. O Piloto 5 começou a funcionar no dia 12/12/2012 e na análise econômica do mesmo, e a partir do custo gerado, não concluiu seu próprio pagamento em 11/12/2013. Há uma estimativa para início de janeiro de 2020. Atenta-se que o custo do Piloto 5 era inferior ao Piloto 4, devido à quantidade de vidro utilizado.

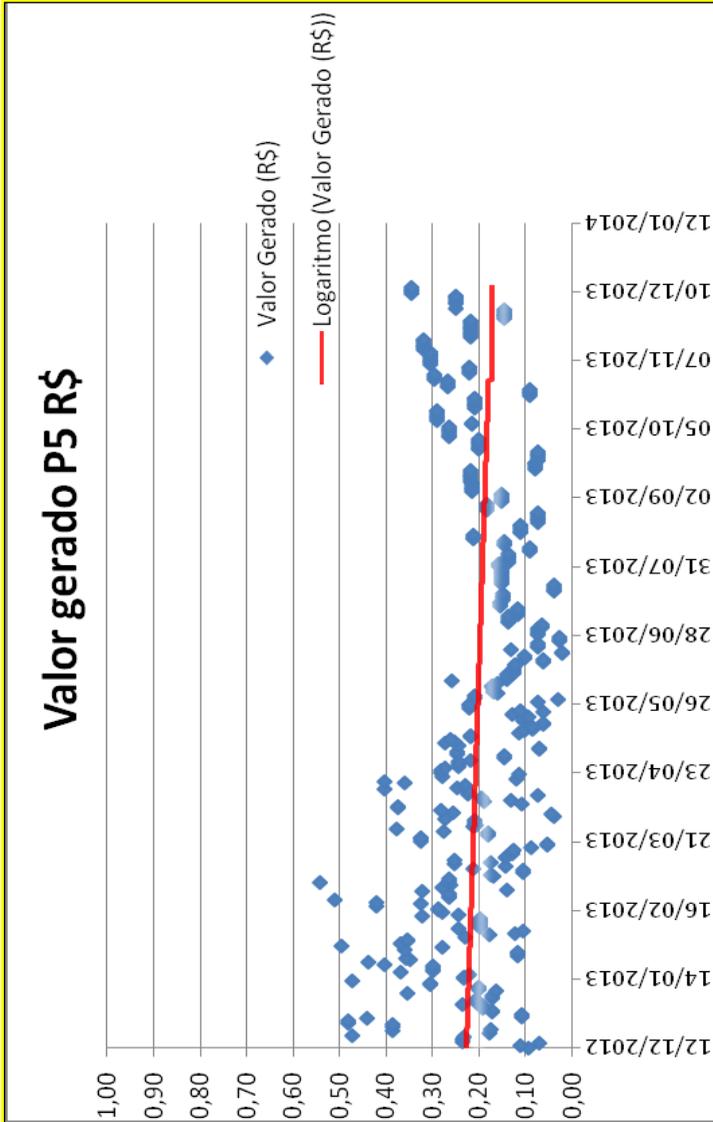
Gráfico 56 - Valor Gerado Piloto 5 em R\$



Fonte: Do Autor (2013)

O Gráfico 57 de dispersão, apresenta maior estabilidade de dados na produção. A linha de tendência demonstra redução do valor adicionado no período. O gráfico apresenta uma menor dispersão dos valores em média e, assim, uma maior estabilidade. Observa-se como os pontos se mantêm de maneira mais comportada em relação aos valores gerados de produção do Piloto 4. Considerando a estabilidade dos pontos de dispersão para o Piloto 5, pode-se apontar uma maior confiabilidade nos resultados. Ambos os Pilotos encontram-se em condições climáticas iguais e estruturais semelhantes, diferenciados apenas pela bandeja.

Gráfico 57 - Linha de Tendência do Valor - Piloto 5



Fonte: Do Autor (2013)

Os Gráficos 45 e 46 são relativos ao Piloto 4, utilizando os valores de R\$ 907,84, e os Gráficos 48 e 49, relativos ao Piloto 5, o valor de total de R\$ 839,94. Ambos utilizaram seus respectivos valores de coleta (saída) em litro de produção do destilado. O valor referencial foi de R\$ 0,35 o litro d'água, que está relacionado com o valor de R\$ 7,00 o latão de 20 litros. O valor de R\$ 0,35 o litro, atende o propósito de aproximação com realidade econômica.

5. CONCLUSÃO

Diante do que foi exposto, este trabalho apresenta as seguintes conclusões para atender os objetivos e as questões da pesquisa, na perspectiva de contribuir para o avanço das investigações na área específica estudada.

Para atender ao primeiro objetivo específico e responder à primeira questão proposta: **Como aumentar a eficiência da Potabilizador Solar no processo de produção de água potável, considerando atender uma família de 4 a 8 pessoas?**

Verificou-se que a radiação solar global, para a região de Latitude $27,58^\circ$, tem uma relevância na quantificação e distribuição diária e anual que atinge especificamente esta posição geográfica na superfície terrestre, o que possibilita explorar todo o potencial energético solar nesta região. A energia radiante, que chega à superfície da terra, com o valor médio teórico de 170 W/m^2 demonstra que os valores coletados na presente pesquisa estão em conformidade com estudos anteriores. De toda radiação solar global disponível ao nosso sistema, só foram utilizadas em torno de 10%, aproximadamente, da energia correspondente à média mensal. Estas informações possibilitam propor pesquisas na direção de um melhor aproveitamento da energia solar que atenda a viabilidade e replicabilidade do equipamento, numa perspectiva de melhorar sua eficiência.

Através da análise fatorial, com todos os dados, em 6 meses, dos Pilotos potabilizadores solares, sujeitos às mesmas condições das variáveis climáticas, pode-se fazer algumas generalizações sobre a natureza do fenômeno e sua ocorrência.

A natureza do fenômeno inclui a radiação solar global como principal elemento que proporciona energia térmica em forma de calor ao equipamento para início do processo da destilação. Ela foi constatada em todos os gráficos fatoriais para os dias sem e com chuva. Isso inclui, também, a umidade relativa do ar, sendo a velocidade do vento apenas para os dias sem chuva. A temperatura do ar e a pressão atmosférica não

demonstraram, no período analisado, a relação dos dados entre a produção de todos os pilotos.

Da ocorrência do fenômeno aborda nos 188 dias de coleta de dados, sendo 113 dias sem chuva, isso é, 60,11% e 75 dias com chuvas, representando 39,89%, emergiu a possibilidade de utilização dos potabilizadores solares para duas situações distintas. Para regiões com chuvas constantes e para regiões com deficiência de chuva. Nestes dois casos, seriam necessários levantamentos de dados secundários das regiões para a possível adaptação da tecnologia.

A utilização da tecnologia do Piloto 4 poderia adaptar-se a regiões como o semi-árido brasileiro, por exemplo; já os Pilotos 1, 2 e 5 necessitariam de mais estudos. Em regiões, porém, com o regime de chuvas regulares e sujeitas a variações de radiação solar global constante, necessitar-se-ia, também, de novas pesquisas, o que não inviabilizaria o uso de nenhum dos Pilotos. É evidente que a variação de radiação solar global estará associada às condições locais como latitude, longitude, altitude, relevo, dentre outras que influenciam na produção do destilado.

Quando se considera uma família de 4 a 8 pessoas, na produção do destilado tem-se como resultado uma média diária de 6,6 Litros, convertido em 3,29 L/m².d - Piloto 1; 2,7 Litros convertido em 3,26 L/m².d - Piloto 2; 0,80 L/m².d - Piloto 4 e 0,63 L/m².d - Piloto 5. Assim, a necessidade mínima de beber água tratada, utilizando um potabilizador tipo Piloto 1, atenderia 2 (duas) pessoas/dia; tipo Piloto 2, atenderia 2 (duas) pessoas/dia; tipo Piloto 4, necessitaria de 3 (três) módulos para atender 1 (uma) pessoa/dia e Piloto 5 necessitaria de 3 a 4 (três) módulos para atender 1 (uma) pessoa/dia. O uso de módulos está condicionado à necessidade e realidade local. Ainda podem ser visualizadas três situações:

a) *Sem acesso à água*: segundo as Nações Unidas, “devemos repor 2,5 litros por dia, sendo 1 litro ingerindo frutas e 1,5 litros bebendo água”. Na perspectiva de um local de estresse hídrico sem acesso à água, como alguns lugares na África, com elevado

número de mortes, incluem-se quantos forem módulos necessários para resolver esta questão social e atender a determinação das Nações Unidas;

b) *Com acesso à água sem potabilidade*: na possibilidade de regiões com acesso à água, pequenas comunidades e unidades rurais, geralmente isoladas, ou ainda no semi-árido, na política 1 milhão de cisternas do governo brasileiro e, ainda para casos de emergência, como enchentes e situações críticas sujeitas a surtos de doenças de veiculação hídrica.

c) *Com acesso a água com potabilidade*: para regiões ou locais com disponibilidade de água com possibilidade de uso simultâneo.

Assim entende-se que a primeira Questão de Pesquisa e o Objetivo Específico foram respondidos, parcialmente, na sua proposta de atender famílias de 4 a 8 pessoas em relação à efetividade de produção de quantidade de água mediante comparações com pesquisas anteriores e seus respectivos valores de produção de destilado.

Em atendimento ao segundo objetivo específico e resposta à segunda questão: **Como avançar na compreensão da transferência de calor em Potabilizadores Solares com o uso do reservatório de bandeja flutuante ?** pode-se contribuir, com alguns pontos:

a) A área da parte superior da cúpula do potabilizador apresenta uma maior troca de energia em forma de calor, o que se denomina de coeficiente de transferência de calor convectivo. Como essa troca gera uma maior taxa de fluxo de calor, em relação à área da cúpula inferior, isso indica que se pode aproveitar a energia concentrada na parte superior do equipamento, eliminando a área da parte inferior. A diminuição da área da cúpula inferior também pode baixar a perda, por transferência de calor, para o ambiente externo e, assim, obter-se dados mais significativos na análise térmica da totalidade do sistema destilador solar;

b) Para o balanço de energia, o modelo de análise térmica simplificado proposto obteve resultados qualitativos e quantitativos consistentes de massa de vapor em relação à produção de destilado. Esta aproximação da massa de vapor teórica calculada e a produção real de destilado no Piloto 4 e Piloto 5 coletado, revela uma possibilidade de perdas, sejam elas para ambiente externo, no processo interno de destilação ou, ainda, na possibilidade de um vazamento no equipamento;

c) A partir dos resultados obtidos, dos estudos de física envolvidos e das observações durante a pesquisa, um dos fatores principais é a quantidade de água disponível no reservatório de água bruta do Piloto 4 que condiciona mais volume d'água. Em períodos com temperaturas mais elevadas e sujeitas a quantidades significativas de radiação solar global, observa-se nas análises térmicas períodos de maior e menor produção do destilado. Assim, pode-se afirmar que há uma maior conservação de energia na massa de água nos períodos de temperatura mais elevada. A partir desta afirmação, entende-se que a energia se conserva a ponto de produzir destilado no período noturno por mais tempo, oposto ao menor volume de água na bandeja fixa do Piloto 5, já que esta entra em equilíbrio térmico mais rápido. Os valores são explicitados nos gráficos dos coeficientes de transferência de calor total e os de fluxo de calor total Gráfico 24, juntamente com uma maior produção do destilado no Piloto 4, em comparativo com a produção do Piloto 5 – Gráficos 28, 29 e 30.

Para períodos com temperaturas baixas, inverno, houve alguns casos, nos meses de maio e junho, em que o Piloto 5 produziu mais destilado que o Piloto 4. Não se pode afirmar que a responsável pela maior produção no Piloto 4 é a massa de água, exclusivamente. Por outro lado, tem-se o acessório - bandeja flutuante de vidro que junto ao isopor são fatores que influenciam no processo de maior produção de destilado. Também não se possui dados suficientes para afirmar por que o Piloto 5 - bandeja fixa, é melhor para temperaturas baixas.

Assim, conclui-se que os equipamentos são diferenciados em sua estrutura interna, principalmente na quantidade de água disponível à energia radiante e ao tipo de bandeja, o que pode indicar uma melhor eficiência para temperaturas elevadas ao Piloto 4.

d) Na análise térmica do sistema destilador solar, no Piloto 4, para melhor compreender o fenômeno é necessário incluir outros sensores neste equipamento, permitindo apurar mais a quantidade, na qualidade dos dados. Entende-se que é necessário e, provavelmente, resultariam dados importantes, o monitoramento em paralelo do Piloto 5, que possibilitaria afirmar se os respectivos Pilotos podem ser utilizados em climas diferenciados.

A segunda questão de pesquisa remete à complexidade de variáveis no sistema. A temperatura, radiação solar global, umidade relativa do ar e velocidade do vento indicaram a possibilidade de interferência mais significativa nas taxas de transferências de calor interna e, conseqüentemente, nas taxas de fluxo de calor no sistema de destilação solar direta, o que inclui a grande influência dos gradientes de temperatura na análise térmica. Estes são responsáveis pela energia, na forma de calor que flui, explicitado na intensidade que ocorre no processo pelo coeficiente de trocas térmicas por convecção. Isso não descarta outras variáveis que não foram aprofundadas, nem aquelas que necessitam de mais sensores para uma melhor qualificação dos dados. O recorte na análise da transferência de calor permite uma aproximação da efetividade do sistema na produção de massa de vapor e o destilado produzido, chegando na possibilidade de perdas dentro do sistema ou para fora dele. Isso implica novos estudos para identificar estas perdas na possibilidade de aumentar a eficiência na transferência de energia (calor) do sistema.

Assim, entende-se que a resposta a esta Questão de Pesquisa e o objetivo específico foram atendidos quase que totalmente, porque adentrou-se a análise térmica do

Potabilizador Solar e se apontou a direção de novos estudos, utilizando mais sensores, levantando mais variáveis e propondo novos modelos de análise térmica na tentativa de compreender as variações dos fenômenos da transferência de calor no sistema de destilação solar direta.

Sabe-se que há um aumento na complexidade do fenômeno, quando acrescentam mais variáveis atuando no processo da destilação solar. É na ciência, entretanto, que vislumbram as possibilidades. Segundo Louis Pasteur, “A ciência avança por meio de respostas provisórias até uma série de questões cada vez mais sutis, que se aprofundam cada vez mais na essência dos fenômenos naturais”.

Para atender ao terceiro objetivo específico e responder à terceira questão: **Como propor um potabilizador solar que atenda os requisitos de simplicidade e viabilidade, considerando uma economia de experiência?**

Tanto no processo construtivo, na revisão bibliográfica, na colocação dos equipamentos existentes em funcionamento e nos resultados do LAPOÁ, entre 2001 a 2013, construiu-se uma experiência com as condicionantes, o que possibilitaram o início da construção dos Pilotos 4 e 5 em dezembro de 2012.

Partindo desta economia da experiência, sugere-se manter avanços de pesquisas anteriores, como a altura da lâmina d'água e sistema bebedouro de pássaro, por serem eficientes na manutenção diária de água bruta; Utilização do vidro em torno de 4 mm na cobertura; Inclinação do vidro da cobertura superior em torno de 25° a 45° graus, para escoamento do condensado internamente; Uso da fibra de vidro e utilização para tratamento de água contaminada, salgada e salobra.

Assim, propõe-se um novo modelo de Potabilizador Solar nas dimensões do Piloto 1, com a inserção do reservatório de água bruta e bandeja flutuante, de material com baixo custo, a ser estudado, que não seja o vidro, e com as seguintes recomendações:

- Lâmina d'água em torno de 6 cm, sendo lâmina inferior a 10 mm acima da bandeja flutuante;
- Utilização em regiões com temperaturas elevadas;
- Necessidade de estudos de materiais de baixo custo ou alternativos, para a parte inferior e lateral do equipamento, além de produtos como cola e silicões, evitando odor e sabor;
- Estudos de produto: *desing*, utilização de encaixes e um tipo kit, minimizando a dificuldade de montagem e transporte;
- Manual de operação, manutenção e montagem.

Fazem-se necessárias novas experimentações com o reservatório de água bruta e bandeja flutuante, pois o comportamento analisado, com alguns sensores, não atendeu a peculiaridade do fenômeno do aquecimento da água em vários pontos do mesmo, principalmente, a lâmina superior da bandeja. Nosso sensor apenas captou uma fração da interface, o que não é suficiente, para entender a dinâmica de absorção da radiação solar global na superfície da água, no potabilizador em relação ao tempo. Alguns autores, defendem o uso de lâminas maiores que é inversamente proporcional à boa produção de destilado, oposto aos resultados obtidos, que indicam e confirmam outra direção para novos estudos.

Embora materiais como o vidro encareçam o equipamento, ao mesmo tempo ele é fundamental na eficiência do sistema, com fácil acesso e afeiçoamento. Acredita-se que a utilização específica em partes da tecnologia, minimiza o valor deste produto. No entanto, as pesquisas de novos materiais fazem-se necessárias, já que é uma realidade em muitos laboratórios pelo Brasil.

Levando-se em conta o estudo de materiais diferenciados e de baixo custo, na estrutura do reservatório de água bruta e bandeja flutuante, substituição da parte inferior de vidro, aumento do tamanho do equipamento, utilizando tintas adequadas para temperaturas elevadas, são condições mínimas para replicação do “Potabilizador Solar”.

Dada a proposta de potabilizar água e apelo social desta tecnologia, pode-se vislumbrar a produção em escala, o que permite a diluição dos custos fixos, reduzindo assim o custo final de produção.

Como se percebe, conceitos evoluem à medida em que a sociedade se torna mais complexa. Ressalta-se que não basta uma tecnologia ser simples, viável e efetiva, a exemplo do potabilizador solar, mesmo podendo ser definido como uma tecnologia social para a realidade proposta, atendendo os objetivos do presente trabalho, entende-se que é um equipamento com limitações para atender as diversas e complexas dimensões da realidade.

O objetivo foi atingido grande parte, sendo que a economia da experiência na construção dos protótipos (Pilotos), possibilitou uma percepção no processo de funcionamento do sistema destilação solar direta, entrando no chamado “processo criativo”, originando o reservatório de água bruta com bandeja flutuante. Assim veio ao encontro as análises térmica, econômica e estatística para uma estrutura diferenciada, possibilitando resultados à tecnologia de ser simples na sua replicabilidade; viável na sua economicidade e; efetiva na produção de água potável para comunidades sujeitas a estresse hídrico.

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

No presente trabalho percebe-se que, apesar da exaustiva pesquisa empreendida, há necessidade de aprofundamento para o aperfeiçoamento da tecnologia do Potabilizador Solar. Para isso, sugere-se estudos nas seguintes direções:

1. O aproveitamento melhor da radiação solar global;
2. Pesquisar e aplicar novos materiais de baixo custo, entendendo ser fundamental para o avanço tecnológico do equipamento, sua replicabilidade e viabilidade;
3. Utilizar novas modelagens utilizando mais sensores para um entendimento mais amplo do fenômeno de análise térmica em destiladores na forma piramidal (Potabilizador Solar);
4. Produzir o equipamento Potabilizador Solar em escala, naturalmente haverá redução dos custos decorrente da compra de lotes de insumos e matéria-prima, aproveitamento de tempo de trabalho e possíveis substituição de materiais;
5. Estudo do produto e desing;
6. Estudos com a bandeja flutuante, pois alguns autores defendem que o uso de lâminas maiores é inversamente proporcional à boa produção de destilado. No Piloto 4 ocorreu o oposto, havendo um aumento da produção de destilado com 60 mm de lâmina, sendo 10 mm acima da bandeja flutuante, em contrapartida com o Piloto 5 em iguais dimensões, porém com lâmina inferior a 10 mm na bandeja de água bruta. Incluí-se também estudos de flutuadores para estabilidade da bandeja e lâmina inferior a 10 mm.

O método, na sua melhor tradução, significa “caminho mais fácil”, o que é fundamental para um trabalho acadêmico. Na trajetória diária deste pesquisador, o que mais impactou o trabalho não foi colocar os equipamentos a funcionarem, para entender sua dinâmica, mas sim, a construção dos pilotos. Isto propiciou ao pesquisador um mergulho, literalmente, na dimensão da prática, agregando a teoria. Para tal, foi criado, no

método, um espaço vazio que agrega uma experiência, algumas habilidades, várias informações de interlocutores do processo e um saber não mensurável. Este espaço vazio é onde se potencializou um processo criativo na construção do reservatório de água bruta da bandeja flutuante.

Foi observado, em meados de junho de 2011, uma nuvem de cinzas expelida pelo complexo de vulcões Puyehue-Cordón Caulle, no sul do Chile, que se direcionou para Argentina e, em seguida, alcançou o Sul do Brasil. Segundo a Força Aérea Brasileira (FAB), após 9 (nove) dias, chegou dispersa na atmosfera, em Florianópolis. Neste período, constatou-se uma diminuição considerável da produção do destilado nos Pilotos 1 e 2, em dias abertos de céu azul. Pode-se argumentar, sobre a possibilidade de ter diminuído a radiação direta e aumentado a radiação difusa (espalhamento), devido ao material particulado na atmosfera. Este fato demonstrou a sensibilidade do processo da destilação solar direta e que, como pesquisador, deve-se estar atento aos fenômenos de variabilidade climática.

O que se objetivou neste trabalho foi possibilitar estudos para construir uma tecnologia simples, viável e efetiva, isto é, uma tecnologia social para áreas com uma disponibilidade hídrica mínima, potabilizando esta água para atender pequenas comunidades rurais, grupos isolados ou famílias, resolvendo as necessidades de consumo mais urgentes. Esta tecnologia social, utilizando a energia solar, vem ao encontro de questões que tornem a água consumível ou utilizável no contexto conceitual de sustentabilidade. No futuro, as análises desenvolvidas neste estudo deverão ser ampliadas e aprofundadas, à medida que se obtenha maior quantidade de dados, de forma que os resultados sejam mais generalizáveis. Isto implica o avanço técnico, através de pesquisas nas universidades brasileiras, e uma participação qualificada da sociedade, visando à construção de políticas públicas que agreguem tecnologias sociais acessíveis, comprometidas com a saúde pública, sob a ótica da qualidade da água, bem como ao atendimento em situações relacionadas a eventos críticos, como enchentes e secas, recorrentes em nosso país e no mundo.

REFERÊNCIAS

ABRAPEX – **Associação Brasileira de Poliestireno**

Expandido. O que é EPS. Disponível em:

<http://www.abrapex.com.br/01OqueeEPS.html> Acesso em: 25 de fevereiro de 2013.

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

AL-ISMAILY, H.A.; PROBERT, S.D. (1990). **Solar-Desalination Prospects for the Sultanate**. Department of Applied Energy, Cranfield University, Bedford. UK, 1990.

ALVES, O. L.; GIMENEZ, I.F.; MAZALI, I.O. **Cadernos Temáticos – Química nova na escola**, UNICAMP. Edição especial, 2001. P.9-20.

ANA – **Agência Nacional de Água**. Disponível em: <http://www.ana.gov.br>. Acesso em: 11 de julho de 2011.

ANA – **Agência Nacional de Água**. Disponível em: <http://hidroweb.ana.gov.br/> Acesso em: 20 de maio de 2012.

ANNEL. Agência Nacional de Energia. **Atlas de Energia Elétrica do Brasil**. 2ªed. Brasília, 2005.

ARAÚJO, J. C. et al. “**Water Scarcity under Scenarios for Global Climate Change and Regional Development in Semi-arid Northeastern Brazil**”. Water International, vol. 29, No. 2, pp.209-220, 2004.

AYBAR, H.S.; EGELIOFGLU, F.; ATIKOL, U. **An experimental study on an inclined solar water distillation system**. Department of Mechanical Engineering, Eastern

Mediterranean University, G. Magosa, North Cyprus, Mersin 10 Turkey. 2005.

AYOADE, J. O. **Introdução à Climatologia para os Trópicos**. São Paulo: Difel, 1986.

BARBOSA, M. P. Fenômenos de Transporte para Bioengenharia. **Notas de Aula**. Departamento de Engenharia Mecânica. Universidade Federal de Minas Gerais – UFMG. Disponível em:
<http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema890/aula1.pdf>.
Acesso em: 18 de julho de 2011.

BARROS, H.L.C. **Processos Endotérmicos e Exotérmicos: uma Visão Atômico-Molecular**. Sociedade Brasileira de Química. Química Nova na escola, vol.31, n.4, 2009.

BASTOS, R.K.X. **Controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano - evolução da legislação brasileira**. In: CONGRESSO REGIONAL DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL DA 4ª REGIÃO DA AIDIS, CONE SUL, 4, 2003, São Paulo. Anais. Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2003. (CD-ROM).

BEECKMAN, G. B. **Gerenciamento integrado dos recursos hídricos**. IICA, Brasília, 1999. 64p.

BELONDI, Helcio Valter. **Enquadramento dos corpos d'água em classes de usos como instrumento de gestão ambiental e de recursos hídricos: estudo aplicado na bacia do Rio Corumbataí-SP**. 2003. 121f. Dissertação (mestrado) – Universidade Estadual Paulista, Instituto de Geociências e Ciências Exatas. Rio Claro, 2003.

BELTRÁN, R. **Desarrollo de Sistemas de Potabilización de Agua a Pequeña Escala Mediante Evaporación por Vacío**.

Universidad de los Andes, Bogotá, Colombia. Disponível em: <http://www.ucm.es/info/ger/index1.htm>. Acesso em: 20 de junho 2011.

BENITO, A. et al. Primeiros Resultados Del Diseño Tecnológico y um Proceso de Transferencia de Destiladores Solares em La Provincia de Mendoza. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Grupo CLIOPE. Universidad Tecnológica Nacional – Facultad Regional Mendoza. Argentina. Vol. 14, 2010.

BEZERRA, M. A. S. Desenvolvimento de um Destilador Solar para Tratamento de Águas de Produção de Petróleo com Vistas a sua Utilização na Agricultura e Geração de Vapor. 2004. 90p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2004.

BEZERRA, M. A. S. Estudo de viabilidade de destilador Solar para polimento de águas produzidas de petróleo. 2010. 133p. Tese (Doutorado em Engenharia Química) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade de Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.

BIRD, R. B.; STEWART, W. E.; LIGHTFOOT, E. N. Fenômenos de Transporte. 2a. Edição. Rio de Janeiro.LTC. 2004.

BOTELHO, A. N - Uso Racional de Água no Campus da UFSC. [Trabalho de Iniciação Científica] Curso de Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2006.

BOUCHEKIMA, B.A. A solar desanination plant for domestic water needs in arid areas of South Algeria. Desalination, v.153, p.65-69, Ouargla, Algeria, 2002.

BOUCHEKIMA, B.; GROS, B.; OAHES, R.; DIBOUN, M.
Performance study of the capillary film solar distiller.
Desalination, v.116, p.185-192, Algeria, 1998.

BRASIL. Constituição da República Federativa do Brasil.
Brasília: Senado Federal, 1988.

_____. **Decreto nº 5.440**, de 04 de maio de 2005. Estabelece definições e procedimentos sobre o controle de qualidade da água de sistemas de abastecimento e institui mecanismos e instrumentos para divulgação de informação ao consumidor sobre a qualidade da água para consumo humano. Diário Oficial da União. 2005b. Disponível em:
<http://portal.saude.gov.br/portal/arquivos/pdf/decreto_5440.pdf>. Acesso em: 12 abr. 2011.

_____. **Decreto n.º 92.752, de 5 de junho de 1986.** Aprova o programa de ações básicas para a defesa do meio ambiente, e da outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 jun. 1986.

_____. **Decreto Federal nº 24.643**, de 10 de julho de 1934. Regulamenta a apropriação e a utilização pública e privada das águas no Brasil. Código de Águas. Brasília, 1934.

_____. **Lei Federal nº. 11.445 de 05 de janeiro de 2007.** Estabelece as diretrizes nacionais para o saneamento básico e para a política federal de saneamento básico. Brasília, 2007. D. O. da República Federativa do Brasil.

_____. **Lei Federal Nº 9.433 - Política e Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.** Brasília, 1997.

_____. Ministério das Cidades. Ministério da Saúde.
Diagnóstico da estrutura de controle e vigilância da

qualidade da água para consumo humano: Portaria MS nº 518/2004. 1 ed. Brasília: Ministério das Cidades, 2009b. 192p.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria nº 2914**, de 12 de dezembro de 2011. Dispõe sobre os procedimentos de controle e de vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade. DOU, Brasília: 26dez. 2011, Seção I, p.266.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria nº 36**, de 19 de janeiro de 1990b. Aprova normas e o padrão de potabilidade da água para consumo humano em todo o território nacional. DOU, Brasília: 23 jan. 1990, Seção I, p. 1651-1654.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria MS nº 1.469**, de 29 dez. 2000. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. Diário Oficial, Brasília, 22 fev. 2001. Seção 1.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria nº 518**, de 25 de março de 2004. Estabelece os procedimentos e responsabilidades relativos ao controle e vigilância da qualidade da água para consumo humano e seu padrão de potabilidade, e dá outras providências. D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 26 de março de 2004.

_____. Ministério da Saúde. Secretaria de Vigilância em Saúde. **Manual de Procedimentos de vigilância em saúde ambiental relacionada à qualidade da água para consumo humano**. Brasília: Ministério da Saúde, 2006. (Série A. Normas e Manuais Técnicos) 284p.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria nº 56/Bsb**, de 14 de março de 1977. Normaliza o padrão de potabilidade da água a serem observados em todo território nacional. Diário Oficial

[da] República Federativa do Brasil, Rio de Janeiro, V.16, n.1, p. 26-30, 1977a.

_____. Ministério da Saúde. **Portaria n.º 635**, de 26 de dezembro de 1975. Aprova as normas e padrões sobre fluoretação da água dos sistemas públicos de abastecimento destinado ao consumo humano. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 30 jan. 1976. Seção 1.

_____. Poder Executivo. **Decreto Federal nº 79.367**, de 9 de março de 1977. Dispõe sobre normas e o padrão de potabilidade de água e dá outras providências. D.O.U. - Diário Oficial da União; Poder Executivo, de 10 de março de 1977b.

_____. **Portaria n.º 443**, de 3 de outubro de 1978. Aprova normas sobre proteção sanitária dos mananciais dos serviços de abastecimento público e o controle de qualidade da água das instalações prediais elaborados por especialistas do Ministério da Saúde, da Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente do Rio de Janeiro, da Secretaria Especial do Meio Ambiente, do Ministério do Interior e da Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental de São Paulo. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 6 out. 1978. Seção 1.

BRESSAN, D. L.; MARTINI, M. - **Avaliação do Potencial de Economia de Água Tratada no Setor Residencial da Região Sudeste Através do Aproveitamento de Água Pluvial**. [Trabalho de Conclusão de Curso] Curso de Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2005.

BRITO, L. T. de L.; SILVA, A. de S.; PORTO, E. R.; AMORIM, M. C. C. de; LEITE, W. de M.; Embrapa Semi-Árido. **Cisternas domiciliares: água para consumo humano**. In: BRITO, L. T. de L.; MOURA, M. S. B. de; GAMA, G. F. B. (Ed.). Potencialidades da água de chuva no semi-árido brasileiro. Petrolina: Embrapa Semi-Árido, 2007. Acesso em 09 de dezembro 2013. Disponível em:

<http://www.alice.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/159652/1/OPB1517.pdf>

CAMPOS, et.al. **Desestrutura Social Decorrente do Stress Hídrico**. XX Congresso Brasileiro de Economia Doméstica – I Encontro Intercontinental de Economia Doméstica. Fortaleza, Ceará, set. 2009.

CAPELLETTI, G.M. **An experiment with a plastic solar still**. In: Desalination, v.142, p. 221-227, Italy, 2002.

CARVALHO, L. G.; DANTAS, A. A. A.; CASTRO NETO, P. **Radiação Solar** - GNE 109 Agrometeorologia(texto acadêmico). Lavras: UFLA, 2010.

CARVALHO, Rodrigo Speziali. **Água, um bem que precisa ser cuidado. Projeto de Estruturação Institucional de Consolidação da Política Nacional de Recursos Hídricos – BRA/OEA/01/002 – SRH/MMA**, 2004. Disponível: <www.cnrhsrh.gov.br/artigos/main.htm>. Acesso em 06 junho 2008 . p.1-38.

CASTELLAN, G. **Fundamentos de físico-química**. Trad. C.M.P. Santos e R.B. Faria. Rio de Janeiro: LTC, 1986.

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

CHUERUBIM, M. L. **Análise da Variação da radiação solar na superfície terrestre com base no cálculo da irradiância para diferentes latitudes**. Revista Geográfica Acadêmica v.6, n.1 (xiii.2012). Faculdade de Engenharia Civil. UFU, Uberlândia, MG, 2012.

CLARKE, R. & KING, J. (2005); UNESCO (2009) In: SILVA, Julia Santos. **Instrumentos de Governança da Água nas**

bacias hidrográficas do município de Urubici, SC, no contexto das tecnologias sociais. 2010. 176p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2010.

COLLE, S. & PEREIRA, E.P. **Atlas de Irradiação Solar do Brasil.** LabSolar, UFSC, Brasília, DF, 2008.

COMETTA, E. **Energia Solar.** Editora Hemus, São Paulo, SP, 1977.

COMPARINI, João B. **Ciência, tecnologia e gestão: caminhos para uma nova condição dos nossos mananciais.** Associação dos Engenheiros da Sabesp (AESABESP). Revista SANEAS. Jan, 2002.p.51.

CONSUMO SUSTENTÁVEL. **Manual de educação.** Brasília: Consumers International/MMA/MEC/IDEC, 2005.160p.

COSTA, C.G. **Destilação Solar: aplicação no tratamento de efluentes líquidos de laboratório.** 2008. 94p. Dissertação (Mestrado em Química Analítica) Pós-Graduação em Química, Instituto de Química, Universidade de Brasília – UnB, Brasília, 2008.

DATABLOG. **Global water stress – interactive.** Disponível em: <http://www.theguardian.com/environment/datablog/2011/jun/28/water-scarcity-africa-middle-east>. Acesso em: 19 de julho de 2011.

DELYANNIS, E. **Historic background of desalination and renewable energies.** Solar Energy 75 (2003).

DELYANNIS, E.; BELESSIOTIS, V. **Solar application in desalination: the Greek Islands experiment.** Desalination, v.100, p.27-34, Greece, 1995.

DESTEFANI, A; CORREA, C. T.; BEHLING, E.E.; BAIFUS, W.C. **Destilador solar**. Disponível em: <http://www.ifc-arauari.edu.br/1/MCT/2007/saude/saude5.pdf>. Acesso em julho de 2011.

DGFE – **Deutsche Gesellschaft für Ernährung. Drink distilled water?** Med. Mo. Pharm. 1993.

DI BERNARDO, L., DANTAS, A.D.B. **Métodos e técnicas de tratamento de Água**. 2ª Edição, Volume 1, p.785-1565. Editora Rima. São Carlos, 2005.

DI BERNARDO, L. **Métodos e técnicas de tratamento de Água**. Rio de Janeiro: ABES. 481p, v.1, 1993.

DIAMOND, Jared. **Colapso: como as sociedades escolheram o fracasso ou o sucesso**. Rio de Janeiro: Record, 2005.

DÍAZ, M. F. et. al. **Destilación solar tubular una opción para obtener agua potable a partir de águas salobres para comunidades rurales**. Universidad Nacional Autónoma de Mexico, Portal de revista: científicas e arbitradas de La UNAM. Vol.1, nº 3, 2007. Acesso em: 16 de junho de 2011. Disponível em: <http://ojs.unam.mx/index.php/aidis/article/view/14434>.

DIFFEY, R.V. **Sources and measurement of ultraviolet radiation**. Methods, v.28, p.4-13, jun, 2002.

DUNKLE, R.V. **Solar Water Distillation: The Roof Type Still and a Multiple Effect Diffusion Still**. Paper presented at the 1961 International Heat Transfers Conference, ASME, Part V, University of Colorado, Boulder, 895-902, 1961.

DUFFIE J.A.; BECKMAN W. A. **Solar energy thermal processes**. Wiley Interscience Publication, New York, 386p, 1975.

DUFFIE, J.A.; & BECKMAN, W. **Solar Engineering of Thermal Processes** (2.^a ed.). John Wiley and Sons Inc. New York, 173p, 1991.

ECHER, M.P. de Souza, MARTINS, F.R. e PEREIRA, E.B. **A importância dos dados de cobertura de nuvens e de sua variabilidade: metodologias para aquisição de dados.** Rev. Bras. Ensino Fís., 2006, vol.28, nº 3, p.341-352. ISSN 1806-1117

ECOFRIEND. **Solaqua.** Disponível em:
<http://www.ecofriend.pt/pt>. Acesso em: 15 de julho de 2011.

EPAGRI. Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina S.A. Disponível em:
<http://circam.epagri.sc.gov.br/> Acesso em: 20 de maio de 2012.

FAO. **El desafío del Siglo XXI: Combatir la escasez de agua.** ONU-Água, 2007. Disponível em:
http://www.un.org/spanish/waterforlifedecade/issues_scarcity.html Acesso em 07 de julho de 2011.

FERRARI, G. **Avaliação de aspectos construtivos e operacionais da tecnologia de destilação solar natural para tratamento de água e sua eficiência na remoção de cianotoxinas,** 2008. 50p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

FLENDRIG, L.M.; SHAH, B.; SUBRAHMANIAM, N.; RAMAKRISHNAN, V. **Low cost thermoformed solar still water purifier for D&E countries.** Physics and Chemistry of the Earth, The Netherlands, 2008.

FONSECA, A. L. da. **Dessalinizador para obtenção de água em pequenas comunidades, com utilização da tecnologia de troca iônica e energias alternativas.** Relatório parcial

apresentado à Funasa. Brasília, Fundação Nacional de Saúde, 2004.

FONSECA, et. al. **Protótipo de Destilador Solar de Fibra de Vidrio**. Centro de Investigaciones de Energía Solar (CIES). Tecnología Química. Vol.XXV, nº3, Santiago de Cuba. Cuba, 2005.

FONTES, A. S. **Estudo da Evaporação em Reservatórios Situados em Região Semi-Árida: Uso de Bacia Experimental**. 2005. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental Urbana) – Escola Politécnica da Universidade Federal da Bahia, Salvador, Bahia, 2005.

FORMAGGIA, D.M.E. et al. 1996; BASTOS, 2003; In: HELLER et al. **Terceira Edição dos Guias da Organização Mundial da Saúde: que impacto esperar na portaria 518/2004**. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Campo Grande, MS, 2005.

FORMOSO, S. C. **Sistema de tratamento de água salobra: alternativa de combate a escassez hídrica no semi-árido sergipano**. 2010. 119p. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Núcleo de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Programa regional de Desenvolvimento e Meio Ambiente, Pró-Reitoria de Pós-Graduação e Pesquisa, Universidade Federal de Sergipe, São Cristovão, 2010.

FUENTES, R.; ROTH, P. **Teoría de La Destilación Solar en Vacío**. Revista facultad de Ingeniería, U.T.A., Chile, vol.4, 1997.

FUNDAÇÃO SERVIÇOS DE SAÚDE PÚBLICA. **Manual de Saneamento**. 2.ed. Rio de Janeiro, RJ, 1985.

GALVEZ, Julián B. **Fundamentos Básicos de la Desalación de Aguas**. Taller Internacional Nuevas Tecnologías para La Descontaminación y Provisión de Agua en Zonas Rurales. Lima. Peru, 2006.

GAMEIRO, B.M.L. **Análise do Rendimento de um Destilador Solar Integrado numa Estufa**. 2010. 86p. (Mestrado em Engenharia de Ambiente) – Departamento de Ambiente e Ordenamento. Universidade de Aveiro, Aveiro, Portugal, 2010.

GHONEYEN, A.&ILERI, A. (1997). **Software to Analyze Solar Stills and an Experimental Study on the Effects of the Cover**. Desalination, 114, 37-44.

GOMELA, Cyril. **La Seddel Mundo**. Editorial Labor, S.A. Barcelona, 1973.

GONZALEZ, A.R. & DÍAZ, M.F. **Desalación Del Agua: Una Alternativa para Resolver la Demanda de Agua Potable en el Sur de la República Mexicana**. Revista Agua Latinoamericana. Septiembre en octubre, 2003.

HAIR Jr, J.F.; ANDERSON, R.E.; TATHAN, R.I.; BLACK, W.C. **Análise Multivariada de Dados**. 5ªed. Porto Alegre: Bookman, 2005.

HANSON et. al. **Distillate water quality of a single-basin solar**. Department of Civil and Geological Engineering, College of Engineering, New Mexico State University, Las Cruces, USA, 2003.

HANSON, A.; ZACHRITZ, W.; STEVENS, K.; MIMBELA, L.; POLKA, R.; CISNEROS, L. **Distillate water quality of a single-basin solar still: laboratory and field studies**. Solar Energy, v.76, p.635-645, USA, 2004.

HEIMBUCH, Jaymi. **Solar-Powered Hamster Ball Purifies Water for Drinking**. California, USA. Disponível em: <http://www.treehugger.com/files/2011/03/solar-powered-hamster-ball-purifies-water-for-drinking.php>. Acesso em: 15 de julho de 2011.

HOWE, E.D., Tleimat, B.W. **Fundamentals of water desalination**. Sayigh, A.A.M. (Ed), Solar Energy Engineering. Academic Press, p.431-464, 1977.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010 - Santa Catarina de 2010**. Disponível em: http://www.censo2010.ibge.gov.br/dados_divulgados/index.php?uf=42. Acesso em: 10 de maio de 2011.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo Demográfico 2010-Malha Digital do Brasil: situação 2010**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/> Acesso em: 10 de maio de 2011.

IDES-EDU. **Solar-Energy-and-Solar-Radiation**. Lecture N° 13. Disponível em: <http://www.ides-edu.eu/wp-content/uploads/2013/04/3> - Acesso em: 20 de maio de 2013.

IEPE - Centro de Estudos e Pesquisas Econômicas. Disponível em: <http://www.ufrgs.br/iepe/index.html>. Acesso em: 05/11/2013

INCROPERA, F.P.; WITT, D.P. Fundamentos de transferência de calor e demassa. 5.ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br/> Acesso em: 10 de julho de 2011.

IQBAL M. **An introduction to solar radiation**. Academic Press Canada, 390p,1983.

KALOGIROU, S.A. **Seawater desalination using renewable energy sources**. Department of Mechanical Engineering, Higher Technical Institute, Nicosia, Cyprus, 2005.

KHANNA, R.K.; RATHORE, R.S.; SHARMA, C. **Solar still an appropriate technology for potable water need of remote villages of desert state of India – Rajasthan**. Desalination, v.220, p. 645-653, Índia, 2008.

KOTAKA, F.; GADOTTI, R. F.; LEITE, C. M. B. **Tema I - Programa de Pesquisas da Funasa: Análise da Linha de Pesquisas Sobre Avaliação de Tecnologias de Baixo Custo para Potabilização de Água Salobra**. Brasília, Fundação Nacional de Saúde, 2004.

KREITH, F. & BOHN, M.S. **Princípios de Transferência de Calor**. Editora Edgard Blücher, São Paulo, 2003.

KUHN, Thomas S. **Estruturas das Revoluções Científicas**. Editora Perspectiva S.A. Coleção Debates. São Paulo, 1987.

KUMAR, S. & TIWARI, G.N. **Estimation of Convective Mass Transfer in Solar Systems**. Solar Energy, 57(6), 459-464.

LABOURIAU, L.G. & CAVALCANTI, R.B. **Um Bloco de Gradiente Térmico de Fácil Construção, para Experimentos Termobiológicos**. R. Bras. Fisil. Veg., 8(2): 149-156, Brasília, DF, Brasil, 1996.

LEAL, K. **Espectroscopia**. Cap.2. Energia e Espectro Eletromagnético. Disponível em: http://www.uff.br/fisicoquimica/docentes/katialeal/didatico/Capitulo_2.pdf Acesso em: 20 de maio 2013.

LENZI, Fernanda. S. **Remoção do Carbonofurano por Meio da Destilação Solar Natural**.2009. 60p. Trabalho de

Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental.
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2009.

LLAMAS, M.R. (1992). **A água - escassez ou mau uso?**.
Coloquio/Ciencias. Revista de Cultura Científica. Fundação
Calouste Gulbenkian - Lisboa, Vol. 4, núm. 12: 52-68.

LUJÁN, R.; ALMARZA, V.G.; URÍAS, H.Q. **Tecnologías
Alternas de Desalinización del Acuífero del Bolsón Del
Hueco para el Abastecimiento de Agua Potable a Ciudad
Juarez, Chin.**, Mexico. Revista CULCyT//Mayo–Junio, 2005
Año 2, No 8 11 p.11.

MACHADO, José.. **A importância das águas no
desenvolvimento.** ANA- Agência Nacional de Águas. Acesso
em 11 de julho de 2011. Disponível
em:[http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/artigos/20091028_A_i
mportancia_das_aguas_no_desenvolvimento.pdf](http://arquivos.ana.gov.br/imprensa/artigos/20091028_A_i_mportancia_das_aguas_no_desenvolvimento.pdf)

MAGE. **Watercone.** Disponível em:
<http://www.thewatercone.com>. Acesso em: 15 de julho de 2011.

MALIK, M.A.S. et. al. **Solar Distillation: a practical study of
a wide range od stills and their optimum design,
construction and performance.** Pergamon Press, Oxford,
United Kingdon, 1982.

MALIK, M., TIWARI, M.S.G.N., KUMAR, A., SODHA, M.S.
**Solar Distillation: a practical study of a wide range of stills
and their optimum design, construction and performance.**
Pergamon Press, Oxford, 1982.

MALUF, A.P. **Destiladores Solares no Brasil.** 2005. 39p.
Monografia (Especialização em Fontes Alternativas de Energia)
Pós-Graduação *Lato Sensu* em Fontes Alternativas de Energias.

Departamento de Engenharia da Universidade Federal de Lavras, Minas Gerais, 2005.

MARCHIORI, M. **Estudo da Viabilidade Técnica e Econômica para Substituição de Isolamento Térmico em Fornos de Destilação**. 2011.38p. Monografia (Graduação em Engenharia Química) Escola de Engenharia Química. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, 2011.

MARTINS, Sérgio R. **Límites Del Desarrollo Sostenible en América Latina**. Pelotas: Ed. UFPel, 1995.

MESQUITA, A. A. **A dinâmica da radiação solar e os principais aspectos do balanço energético global**. Universidade Federal do Acre, 2010.

METAR – **Meteorological Aerodrome Reports**. Acesso em: 18 de março de 2011. Disponível em: <http://www.aerocluberondonia.com.br/grassini/metar.html>.

MILLER, J. E. **Review of water resources and desalination technologies**. Sandia nATional Laboratories. SAND 2003-0800. Albuquerque, USA, 2003.

MORISHITA, H. **Princípios Fundamentais de Transferência de calor**. Departamento de Engenharia Naval e Oceânica. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.

MURAKAMI, Dimas T. **Potabilização de Água Utilizando um Destilador Solar em Forma de Pirâmide Invertida**. 2005.31p. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2005.

NANDWANI, S. **Destilador de agua para producir sal y agua potable (Cuatro modelos), La Energía Solar y Su Utilización; Sección de Energía Solar**. Departamento de

Física, Universidad Nacional, Heredia, Costa Rica, 3 de Mayo de 1989, p.73-83.

NANDWANI, S. & MARÍN, S. Estudio preliminar de un destilador solar para producir sal y agua potable.

Apresentado en Quinto Congreso Costarricense de Física (Universidad de Costa Rica), Costa Rica, 28 al 30 de Noviembre de 1984. Publicado en CIENCIA y TECNOLOGIA, Universidad de Costa Rica, Vol. 10, No. 1, pp.39-49, 1986.

NANDWANI, S. & MARÍN, S. Estudio preliminar de tres modelos de Destiladores Solares para producir sal y agua potable, UNICIENCIA, Universidad Nacional, Heredia (Costa Rica), Vol.3, No.1 y 2, pp.59-69, 1986.

NANDWANI, S.S. Seminario / Taller. Las Aplicaciones de La Energía Solar. Universidade Nacional. Heredia, Costa Rica, 2009.

NASSAR, Silvia M., WRONSCKI, Vilson R., OHIRA, Masanao et al. SEstatNet - Sistema Especialista para o Ensino de Estatística na Web. URL de acesso: <http://www.sestat.net> . Florianópolis - SC, Brasil. Acesso em dia, mês e ano.

NUSSENZVEIG, Moysés. H. Curso Básico de Física: fluidos, oscilações e ondas. 4ª Ed. Cap. 7,8 e 9. São Paulo; Rio de Janeiro; Belo Horizonte; Salvador; Curitiba; Porto Alegre. 2002.

OLIC, N.B. Blog Controversia. A questão da água no mundo e no Brasil. Acesso em 06 de julho de 2011. Disponível em: <http://www.controversia.com.br/index.php?act=textos&id=689>

ONU. A ONU e a Água. Disponível me: <http://www.onu.org.br/a-onu-em-açao/a-onu-e-a-agua/>. Acesso em: 27 de setembro de 2013.

ONU. Organização das Nações Unidas. **3º Relatório das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento Mundial dos Recursos Hídricos**. (2009). Disponível em: <http://www.unwater.org/>. Acesso em: 25 de abril de 2011.

ORDENES, M.; LAMBERTS, R.; GHÜTS, S. **Transferência de calor na envolvente da edificação**. Apostila da disciplina Transferência de Calor. LabEEE. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil, Florianópolis, 2008.

ORGANIZAÇÃO PANAMERICANA DA SAÚDE (OPAS). **A desinfecção da água**. Washington, DC: Opas, 1999 (Opas/HE/99/38).

P1MC - **Programa Um Milhão de Cisternas**. Recife, PE: Asa Brasil. Disponível em: http://www.asabrasil.org.br/Portal/Informacoes.asp?COD_MENU=1150. Acesso em: 05 de junho 2013.

PORTAL A a Z. **Água tem preço tabelado no semiárido**. Piauí. Disponível em: http://www.portalaz.com.br/noticia/cidades/244581_agua_tem_preco_tabelado_no_semiarido.html Acesso em: 06 de junho de 2012.

PROCLIRA. **Clima e Ambiente: Circulação Geral da Atmosfera. Circulação Média à Superfície. Circulações Locais**. Módulo 6, União Européia, 2007. Disponível me: <http://www.proclira.uevora.pt/modulos/modulo6.pdf> Acesso em: 08/08/2013.

PROJETO WNDW. **Redes sem fio no Mundo em Desenvolvimento**. Centro Internacional de Desenvolvimento do Canadá. Disponível em: <http://www.idrc.ca/>. Acesso em: 01 de junho de 2013.

QIBLAWEY, H.M. & BANAT, F. **Solar Thermal Desalination Technologies**. Department of Chemical Engineering, Jordan University of Science and Technology, 2006/2007.

QUITES, E.E.C. **Apostila Fenômeno dos Transportes**. Disponível em: http://wiki.sj.cefetsc.edu.br/wiki/images/2/2f/Apostila_de_Fen%C3%B4menos_de_Transporte.pdf. Acesso em: 18 de julho de 2011.

RAHIM, N.H.A. **Utilization of new technique to improve the efficiency of horizontal solar desalination still**, Desalination, v138, p.121-128, 2001.

RAMOS, R. E. M. Estudos de um sistema híbrido de destilação solar para polimento de águas produzidas. 2012. 165p. Dissertação de Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Programa de Pós-graduação em Engenharia Química. Natal, RN, 2012.

RAY, CHITTARANJAN & JAIN, RAVI. (2011) **Drinking Water Treatment: Focusing on Appropriate Technology and Sustainability (Strategies for Sustainability)**. Springer. USA. 184-191.

REBOUÇAS, A. C.; BRAGA, B.; TUNDISI, J. G. (Org.). **Águas doces no Brasil**. São Paulo: Escrituras, 1999. 717 p.

REBOUÇAS, Aldo da C. **Água na região Nordeste: desperdício e escassez**. In: Estudos Avançados, revista do IEA-USP, v. 11, n. 29, p. 127-154, São Paulo, Jan./Apr.1997.

REIF, L. **Produção de águas através da destilação solar natural utilizando uma pirâmide metálica**. Relatório Parcial PIBIC-CNPQ, 2006.

ROSA, R. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. UDUFU, 7ª Ed., 264p. Uberlândia 2009.

SA, Lidiane Freire. **Evaporação natural do lixiviado do aterro de Muribeca através de um destilador solar**. 2008. 116f. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, UFPE, Recife, PE. 2008.

SHARPLEY, B. F. and BOELTER, L.M.K. (1938) **Evaporation of water into quiet air from a one-foot diameter surface**. Industrial & Engineering Chemistry 30(10):1125-131.

SANTOYO S. et. al. **Tratamiento de Aguas: Bombas de Calor por absorción para obtención de agua pura**. Instituto de Investigaciones Eléctricas, Universidad Nacional Autónoma de México e Universidad Autónoma del Estado de Morelos (México). Revista Cultura Científica y Tecnológica -CULCyT. Jun.2001. p.129.

SARTORI, Ernani. **Solar still versus solar evaporator: a comparative study between their thermal behaviors**. Solar Energy, Vol.56, n^o2, pp.199-206, 1996.

SCHUCH, Everaldo Ulbinski; LIMA, Jandir Ferrera de. **Disponibilidade de água na região Oeste do Paraná; estudos e análise de possibilidade de escassez em alguns municípios**. Revista de Estudos Ambientais, Blumenau, v.4, n.1, p.67-77, jan/abr. 2002.

SEA-FEVER. **Seketlle**. Disponível em: [http://www. Sea-fever.org](http://www.Sea-fever.org). Acesso em: 15 de julho de 2011.

SENEM, J. **Potabilização de Águas Salobras e Salgadas em Nível de Domicílios**. 2000. (Trabalho de Conclusão de Curso

em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2000.

SETTI, A. A. **Introdução ao gerenciamento de recursos hídricos**. Arnaldo Augusto Setti et. al.. 2a. ed. Brasília: Agência Nacional de Energia Elétrica; Agência Nacional de Águas, 2001. p. 12-31.

SENS, M. L.; SOARES, C. **Produção de Água Potável através da Destilação Solar Natural**. In: Brasil. Ministério da Saúde. Caderno de pesquisa em engenharia de saúde pública. Fundação Nacional de Saúde. FUNASA, Brasília, DF, 2004.

SENS, M. L.; In: TSGA. Projeto Tecnologia Social para Gestão da Água. **Potabilizador Solar**. Disponível em: <http://www.tsg.agua.ufsc.br>. Acesso em: 19 de abril de 2011.

SENTELHAS, P.C.; ANGELOCCI, L.R. **Meteorologia Agrícola: Definições e Conceitos**. Disponível em: <http://www.lce.esalq.usp.br/aulas/lce306/Aula2.pdf>. Acesso em: 20 de maio 2013.

SILVA, A. de S. PORTO, E. R; LIMA, L. T.; GOMES, P. C. F. **Cisternas Rurais: captação e conservação de água de chuva para consumo humano. Dimensionamento, construção e manejo**. Petrolina, PE: EMBRAPA-CPATSA:SUDENE, 1984. (EMBRAPA-CPATSA, Circular Técnica, 12).

SILVA, Daniel J. **A Metodologia Transdisciplinar**: aula mestrado, 8 jun. – 31 de ago. de 2001. 6 f. Notas de Aula. Transcrição quadro.

_____ **Complexidade e Ambiente: Uma perspectiva metodológica para a construção de dimensões complexas do ambiente**. UFSC/CTC/ENS. Programa de Pós-Graduação de Engenharia Sanitária Ambiental. Florianópolis, 2002.

_____ **O Paradigma transdisciplinar: uma perspectiva metodológica para a pesquisa ambiental.** *Workshop sobre interdisciplinaridade.* INPE, São José dos Campos, SP, 1999. CIAMB/PADCT/MCT.

_____ **Uma abordagem cognitiva ao planejamento estratégico do desenvolvimento sustentável.** Florianópolis, 1998.240.f. Tese de Doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC.

_____ **Uma estrutura cognitiva para o processo de pesquisa.** Notas de aula: Disciplina Introdução à Pesquisa em Engenharia Ambiental – Florianópolis: Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental – PPGEA, Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, 2011, 13p.

_____ **Análise das diretrizes do Plano Nacional de Recursos hídricos no contexto internacional da Governança da Água.** 2008. 58 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2008.

SILVA, Elmo R. **O Curso da Água na História: simbologia, moralidade e a gestão de recursos hídricos.** 1998. 201.f. Tese (Doutorado em Saúde Pública) - Programa de Pós-Graduação em Saúde Pública. Escola Nacional de Saúde Pública. Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, 1998.

SITIOSOLAR. **Los Destiladores Solares.** Portal de Energia Renováveis. Disponível em: <http://www.sitiosolar.com>. Acesso em: 15 de julho de 2011.

SOARES C. **Tratamento de Água Uni familiar através da Destilação Solar Natural Utilizando Água Salgada, Salobra e Doce Contaminada.** 2004. 110p. Dissertação de Mestrado,

Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. Florianópolis, SC, 2004.

SOARES C. **Tratamento de Água Doce Contaminada através da Destilação Solar para Uso Domiciliar**. 2002. 21p. (Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, Florianópolis, 2002.

TALBERT, S.G. (1970) **Manual of solar distillation of saline water**. Report N° 546, US Departamento of the Interior, Office of Saline Water.

TIWARI, G.N.; SINGH, H. N., TRIPATHI, R. **Present status of solar distillation**. *Solar Energy* 75, 2003.

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

TIWARI, G.N.; TIWARI, A.K. **Solar Distillation Practice for Water Desalination Systems**. Anamaya Publishers. New Deli, Índia, 2008. 12,19,26,27,35-41,43-45,52-65p.

TIWARI, G.N., DIMRI, V. & CHEL, A. (2009). **Parametric Study of na Active and Passive Solar Distillation System: Energy and Exergy Analysis**. *Desalination*, 242, 1-18.

TOMAZ, P. **Aproveitamento de água de chuva**. São Paulo, Navegar, 2003. 21 p.

TOMAZ, P. **Conservação da Água**. Ed. Digihouse, São Paulo, 1998. 176 p.

TSGA. Projeto Tecnologia Social para Gestão da Água. **Potabilizador Solar**. Disponível em: <http://www.tsg.agua.ufsc.br>. Acesso em: 21 de abril de 2011.

TUBELIS, Antônio & NASCIMENTO, Fernando José Lino do. **Meteorologia Descritiva: fundamentos e aplicações brasileiras**. São Paul: Nobel, 1980.

TUCCI, Carlos E.M. **Gestão da água no Brasil**. UNESCO, Brasília, 2001.

UFPE. **Solução para o Semi-árido**. Disponível em: <http://www.di.ufpe.br> Acesso em: 21 de junho de 2011.

UNEP – United Nations Environment Programme. International Environmental Technology Centre (IETC).Disponível em: <www.unep.org> Acesso em 6 de julho de 2011.

UNEP - United Nations Environment Programme. **IPCC - Terceiro Relatório de Avaliação. Mudanças Climáticas 2001: Grupo de Trabalho II: Impactos, Adaptação e Vulnerabilidade**. Acesso em: 07 de julho de 2011. Disponível em: http://www.grida.no/publications/other/ipcc_tar/?src=/climate/ipcc_tar/wg2/%20180.htm

UNESCO. **Una ventana abierta sobre El mundo. El Correo. La Energía Solar al Servicio del Hombre**. Disponible en: <http://unesdoc.unesco.org/images/0006/000662/066285so.pdf>. Acesso em: 03 de maio 2011.

UNESCO - UNITED NATIONS EDUCATIONAL, SCIENTIFIC AND CULTURAL ORGANIZATIO. **Water in a changing world: The United Nations World Water Development Report 3**. [S.l.], 2009.

UNIÁGUA – Disponível em: <http://www.uniagua.org.br>. Acesso em: 06 julho de 2011.

UNIOESTE - Universidade Estadual do Oeste do Paraná.
Projeto Destilador Solar. Disponível em:
<http://www.unioeste.br/eq/ic/solar/destilador3.jpg>. Acesso em:
18 de julho de 2011.

URIARTE, A. **História del Clima de la Tierra**. Disponível em:
[http://web.me.com/Historia_del_Clima_de_la_Tierra/Historia_d
el_Clima_de_la_Tierra.html](http://web.me.com/Historia_del_Clima_de_la_Tierra/Historia_del_Clima_de_la_Tierra.html). Acesso em: 06 julho de 2012.

VAN WYLEY, G.J.; SONNTAG, R.E.; BORGNAKKE, C.
Fundamentos da Termodinâmica. 6ª ed., Edgard Blücher
Ltda, 2003.

VAZ DE PINA, A. V. **Dessalinização solar no abastecimento de água para uma família no arquipélago de Cabo Verde**. 2004. 28f. Monografia (Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Mecânica) – Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2004.

VIANNA et.al. **Os Recursos de água doce no mundo – situação, normatização e perspectiva**. Disponível em:
<http://www.ambitojuridico.com.br>. Acesso em: 27 de setembro de 2013.

VICINI, Lorena. **Análise Multivariada da Teoria á Prática**. 2005. 215p. Especialização. Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, 2005.

WALDMAN, Mauricio. **Recursos Hídricos e Rede Urbana Mundial: Dimensões Globais da Escassez**. In: XIIIº Encontro Nacional de Geógrafos, 2002, João Pessoa, PB. Anais XIIIº

Encontro Nacional de Geógrafos – Caderno de Resumos, v.1 p. 122-122. São Paulo: AGB – Associação dos Geógrafos Brasileiros, 2002.

WALDMAN, Maurício. **Saneamento Básico (Água e Esgoto), resíduos Sólidos e Tecnologias de Reciclagem**. Texto de apoio elaborado para o Projeto Eu Uso e Não Abuso – Ações para o Uso Racional da Água, Consórcio Intermunicipal das Bacias Hidrográficas dos Rios Piracicaba, Capivari e Jundiá (Consórcio PCJ-SP), Agosto de 2009.

WAMBURG, Jorge. **Eco Debate: conflitos no campo Brasil 2010: 34 trabalhadores assassinados**. Disponível em: <http://www.ecodebate.com.br/2011/04/20/conflitos-no-campo-brasil-2010-34-trabalhadores-killings/>. Acesso em: 20 de abril de 2011.

WHITE, F.M. **Mecânicas dos Fluidos**. 6.ed. Dados Eletrônicos. Mc Graw Hill. Porto Alegre: AMGH, 2011.302-303p.

WORLDWATCH Institute. **Estado do Mundo 2004: estado do consumo e o consumo sustentável**. Tradução Henry Mallett e Célia Mallett. Salvador: Uma Ed., 2004. 326 p. Disponível em: <http://www.wiuma.org.br/>. Acesso em: 01 julho de 2011.

WORLD RESOURCES INSTITUTE – Disponível em: <http://www.worldwatch.org>. Acesso em 06 de julho de 2011.

WWAP - **Programa Mundial de Avaliação dos Recursos Hídricos**. (2006) Disponível em: <http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/wwdr2/> Acesso em 07 de julho de 2011.

WWDR - United Nations World Water Development Report. **Water in a Changing World**. Third edition, 2009. Disponível em: <http://www.unesco.org/water/wwap/wwdr/>. Acesso em 07 de julho de 2011.

APÊNDICE – (DVD)

APÊNDICE A

Tabelas, Quadros e Gráficos texto principal (parameio digital)

APÊNDICE B

Desenhos, Croquis e fotos

APÊNDICE C

ARQUIVO 01 – Gráficos, números adimensionais, tabela dos dados de média diária obtidos entre 18 de março 2011 a 17 de junho de 2013 para hora, dia e mês.

ARQUIVO 02 – Dados obtidos entre 18 de março 2011 a 17 de junho de 2013 no período de 10 em 10 minutos (EPAGRI, LEPTEM e LCQAr)

Obs. Tabela geral enviada pelo Lepten e LCQAr/UFSC, sistematizada no ARQUIVO 01 - Gráficos hora, dia e mês.

ARQUIVO 03 – Histórico em relatório dos dados obtidos entre 05 de dezembro 2012 a 05 de junho de 2013 no período de 10 em 10 minutos (Sensores DataLogger)

ARQUIVO 04 – Manuais e Especificações do Datalogger

ARQUIVO 05 - Gráficos construídos a partir dos dados obtidos dos potabilizadores entre março a julho de 2011 dos Potabilizadores instalados LAPOÁ/ENS/UFSC:

Gráfico 1 - Pirâmide Sextavada: Relações médias:

Temperatura x Radiação Global Total x Produção água

Gráfico 2 - Pirâmide de Vidro: Relações médias:

Temperatura x Produção água x Radiação Global Total

Gráfico 3 - Potabilizador Solar: Relações médias:

Temperatura x Produção água x Radiação Global Total

Gráfico 4 - Potabilizador Solar: Relações médias:

Umidade Relativa x Produção água x Pressão Atm (mar/2011)

Gráfico 5 - Potabilizador Solar:

Relações médias: Umidade Relativa x Produção água x

Pressão Atmosférica (abril/2011)

Gráfico 6 - Potabilizador Solar: Relações médias:

Umidade Relativa x Produção água x Pressão Atm (mai/2011)

Gráfico 7 - Potabilizador Solar: Relações médias:

Umidade Relativa x Produção água x Pressão Atm (jun/2011)

Gráfico 8 - Potabilizador Solar: Relações médias:

Umidade Relativa x Produção água x Pressão Atm (jul/2011)

ARQUIVO 06 – Documento - Análise Estatística Multivariada – Análise Fatorial – Fator 3

ARQUIVO 07 – Tabelas Excel - Análise Econômica

ARQUIVO 08 – Modelo de Dunkle (Traduzido) - Artigo Chuerubim (2012) - Tabela complementar destilação solar