

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ

MARIA CLAUDIA COSTA DE OLIVEIRA

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM
CONDENSADOR DE VAPOR ATMOSFÉRICO UTILIZANDO TECNOLOGIAS
TERMELÉTRICA E SOLAR FOTOVOLTAICA

Itajubá, MG

2013

MARIA CLAUDIA COSTA DE OLIVEIRA

DESENVOLVIMENTO E ANÁLISE TÉCNICA E ECONÔMICA DE UM
CONDENSADOR DE VAPOR ATMOSFÉRICO UTILIZANDO TECNOLOGIAS
TERMELÉTRICA E SOLAR FOTOVOLTAICA

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Meio Ambiente e Recursos Hídricos como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Ciências em Meio Ambiente e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho

Itajubá, MG

2013

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Mauá
Bibliotecária Jacqueline Rodrigues de Oliveira Balducci- CRB_6/1698

O48d

Oliveira, Maria Cláudia Costa de
Desenvolvimento e análise técnica e econômica de um
condensador de vapor atmosférico utilizando tecnologias
termelétrica e solar fotovoltaica / Maria Cláudia Costa de
Oliveira. – Itajubá, (MG) : [s.n.], 2013.
96 p. : il.

Orientador: Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho.
Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Itajubá.

1. Condensação de Vapor. 2. Módulos Termelétricos. 3.
Módulos fotovoltaicos. I. Tiago Filho, Geraldo Lúcio, orient.
II. Universidade Federal de Itajubá. III. Título.



Ministério da Educação
UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
Criada pela Lei nº 10.435, de 24 de abril de 2002

A N E X O II

FOLHA DE JULGAMENTO DA BANCA EXAMINADORA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM MEIO AMBIENTE E RECURSOS HÍDRICOS

Título da Dissertação: **"Desenvolvimento e Análise Técnica e Econômica de um Condensador de Vapor Atmosférico utilizando Tecnologias Termelétrica e Solar Fotovoltaica"**

Autor: **Maria Claudia Costa de Oliveira**

JULGAMENTO

Examinadores	Conceito		Rubrica
	A = Aprovado	R = Reprovado I = Insuficiente	
1ª	A		
2ª	A		
3ª	A		
4º	A		

Observações:

- 1) O Trabalho será considerado Aprovado se todos os Examinadores atribuírem conceito A.
- 2) O Trabalho será considerado Reprovado se forem atribuídos pelos menos 2 conceitos R.
- 3) O Trabalho será considerado Insuficiente (I) se for atribuído pelo menos um conceito R. Neste caso o candidato deverá apresentar novo trabalho. A banca deve definir como avaliar a nova versão da Dissertação.
- 4) Esse documento terá validade de **60 dias a contar da data de defesa.**

Resultado Final: A ou seja, APROVADA

Observações: FAZER AS CORREÇÕES SUGERIDAS PELO BANCA

Itajubá, 22 de Abril de 2013

Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza
1º Examinador – UNESP

Prof.ª Dr.ª Michelle Simões Reboita
2º Examinadora - UNIFEI

Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu
3º Examinador – UNIFEI

Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho
4º Examinador (Orientador) - UNIFEI

Dedico este trabalho às pessoas mais importantes de minha vida: minha mãe, meu pai, minha irmã e meu noivo.

AGRADECIMENTOS

Agradeço...

Primeiramente a Deus.

Ao Professor Dr. Geraldo Lucio Tiago Filho, meu orientador, por me ensinar de diferentes formas coisas que levarei comigo para toda vida.

Ao Instituto de Recursos Naturais, pela estrutura oferecida para meus estudos, principalmente ao pessoal do CERPCH, com quem convivi durante o período que aqui estive.

A CAPES pela bolsa de estudos, pois sem este recurso financeiro não seria possível ter me dedicado exclusivamente ao desenvolvimento deste projeto.

A todos os professores com quem tive aulas. Principalmente aqueles que contribuíram de forma efetiva para a realização deste trabalho, Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu e Prof^ª Dr^ª Michelle Simões Reboita, por participarem da minha banca de qualificação, ao Prof. Dr. Rogério Melloni e Prof^ª Dr^ª Márcia Matiko Kondo por permitirem a realização de ensaios em seus laboratórios e a Prof^ª Dr^ª Ana Lúcia Fonseca que me auxiliou na interpretação e execução da análise de cor e por seu intermédio realizei o teste na COPASA e ao Prof. Msc. Alan Calheiros por suas contribuições.

A todos os funcionários que direta ou indiretamente colaboraram com minha pesquisa, especialmente aos Técnicos do LHPCH, Douglas e Thiago que dedicaram parte do seu tempo para me auxiliar e ainda por me aturar durante os ensaios, também aos Técnicos João Vitor e Paulo que me auxiliaram durante as análises da água.

Agradeço de maneira muito especial ao meu noivo Antônio, por todo auxílio para a execução deste trabalho, sem sua ajuda tudo seria muito mais difícil, além disso, agradeço por todo apoio pessoal, por estar sempre ao meu lado, por aguentar fases de mau humor quando tive problemas e por compartilhar comigo alegrias.

Aos colegas que me apoiaram durante a execução do trabalho, seja me auxiliando ou simplesmente me ouvindo, especialmente: Ana Paula Del Ducca, Paula Ranzani, Amanda Presotto, Adeylson Ribeiro e Alessandra Carvalho.

E ainda, a todos que beberam a água após as análises, pelo carinho com que me deram atenção! Entre eles: Maria Eduarda Ribeiro, Lívia Salles, Matheus Pereira, Antônio Botan, Thiago Corrêa, Douglas Machado, Osvaldo Rodrigues, Prof^ª Dr^ª Fabrina Bolzan, Prof^ª Dr^ª Michelle Reboita, Prof. Marcos Bernardes e Alessandra Carvalho.

Aos amigos e colegas que me prestigiaram durante a apresentação da defesa, Ana Lisbeth Galindo Nogueira, Sebastian Mendoza Castellanos, Angie Espinosa, Yina Faizully

Quintero Gamboa, Gaylord Enrique Carrillo Caballero, Germán Alejandro, a presença ilustre do Prof. Dr. Rogério Melloni e é claro ao sempre companheiro Antônio Botan. Também não posso esquecer do amigo Adeylson Ribeiro, que mesmo não podendo acompanhar minha defesa foi no final me dar um abraço!

Agradeço ainda, os membros da banca examinadora, Prof. Dr. Geraldo Lúcio Tiago Filho, Prof. Dr. Arcilan Trevenzoli Assireu, Prof^a Dr^a Michelle Simões Reboita e Prof. Dr. Teófilo Miguel de Souza, pelas importantes contribuições que cada um dos senhores sugeriu para a finalização deste trabalho.

RESUMO

A busca por novas alternativas para obtenção de água é impulsionada principalmente pelas crescentes preocupações relacionadas à escassez da água potável, por ser este um elemento de importância vital aos seres vivos e presente em quantidade finita no planeta. A aplicação de módulos termelétricos para condensação de água tem caráter inovador, que visa atender uma necessidade, corroborando com a intenção de propor uma solução ambientalmente amigável é sugerida a utilização de energia solar por meio de células fotovoltaicas para suprir a demanda do sistema e torná-lo autossustentável. Ao conjugar o sistema fotovoltaico ao condensador o conjunto passa a ter autonomia energética, aumentando a versatilidade de sua utilização em locais isolados e de difícil acesso às redes de energia elétrica e distribuição de água potável, estas características resumem a contribuição social do projeto. O objetivo principal do presente estudo foi desenvolver e analisar um sistema de produção de água a partir da condensação do vapor atmosférico utilizando módulos termelétricos como fonte de condensação e que seja atendido por energia solar. Durante a execução dos ensaios foi possível constatar que o equipamento exige uma umidade relativa do ar mínima de 50% para que ocorra a condensação. Sua produção média foi de $0,255 \text{ L.h}^{-1}$ e seu consumo energético foi em média de 1,7 kWh. O conjunto pode ser atendido por energia convencional, com custo do condensado próximo a R\$ 40 por litro ou pode ser aplicado de maneira autônoma, pelo custo de aproximadamente R\$ 104 o litro. A qualidade do condensado está diretamente relacionada à qualidade do ar no local de operação. O experimento foi desenvolvido em Itajubá/MG, e os parâmetros pH, cor, condutividade e coliformes foram satisfatórios quando comparados ao padrão de potabilidade, porém a análise de turbidez se apresentou elevada. De maneira geral o estudo atendeu os objetivos almejados demonstrando viabilidade técnica para a transformação do vapor atmosférico em água líquida.

Palavras-Chave: Condensação de Vapor. Módulos Termelétricos. Módulos Fotovoltaicos.

ABSTRACT

The search for new alternatives for obtaining water is primarily driven by growing concerns about the shortage of drinking water, because it is a vital element to living beings and in this finite amount on the planet. The application of thermoelectric modules for water condensation is innovative, that aims to meet a need and with the intention to propose an environmentally friendly solution it is suggested to use solar energy through photovoltaic cells to meet the demand of the system and make it self-sustaining. By combining the PV system to the condenser assembly is replaced by energy autonomy, increasing the versatility of its use in isolated and difficult to access to the networks of electricity and potable water distribution, these features epitomize the social contribution project. The main objective of this study was to develop and analyze a system of condensation of atmospheric vapor that use thermoelectric modules as a source of condensation and is met by solar energy. During the tests it was established that the equipment requires a minimum relative humidity of 50% for condensation to occur. Its average production was 0.255 L.h^{-1} and its energy consumption was on average 1.7 kWh. The set can be met by conventional energy, cost condensate close to R\$ 40 or can be applied autonomously, at cost of approximately R\$ 104 a liter. The quality of the condensate is directly related to air quality at the site of operation, the experiment was conducted in Itajubá / MG, and the parameters pH, color, conductivity and Coliforms were satisfactory when compared to the potability standards, but the analysis is Turbidity showed high. Overall the study met the desired goals demonstrating technical feasibility for the transformation of atmospheric vapor into liquid water.

Keywords: Condensation of Steam. Thermoelectric Modules. Photovoltaic Modules.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Distribuição da água no planeta.....	19
Figura 2 - Destilador didático básico.....	20
Figura 3 - Destilador convencional presente no Laboratório de Química/Unifei.	22
Figura 4 - Bidestilador modelo MA-078/5BI.....	22
Figura 5 - Deionizador modelo MiliQ no Laboratório de Química/Unifei.	23
Figura 6 - Processo de filtragem por osmose reversa.....	24
Figura 7 - Esquema do equipamento de captação e purificação de água pluvial.	25
Figura 8 - Piloto do equipamento de purificação através de microfiltração tangencial Netzsch®.....	26
Figura 9 - Carta Psicométrica simples.....	28
Figura 10 – (a) Caixa com parcela de ar insaturada. (b) Caixa com parcela de ar saturada....	29
Figura 11 - Esquema dos componentes do módulo termelétrico.....	32
Figura 12 - Residência de baixa renda atendida por energia solar fotovoltaica.	34
Figura 13 - Gráfico da utilização dos painéis fototérmicos em diferentes setores.....	35
Figura 14 - Tela de informações obtidas pelo Grapsi.....	42
Figura 15 - Módulos termelétricos utilizados.....	43
Figura 16 - Bancada montada para a primeira fase de testes.....	44
Figura 17 - Bancada de testes melhorada - 1ª fase.	45
Figura 18 - Detalhe da caixa de isopor com o dissipador.....	45
Figura 19 - Detalhe da formação de condensado no dissipador.....	46
Figura 20 - Vista em perspectiva do suporte que abrigou o protótipo.	47
Figura 21 - Vista do condensador no interior do abrigo.....	48
Figura 22 - Detalhe da parte inferior do suporte.	48
Figura 23 - Detalhe dos equipamentos de medição e fontes sobre o suporte.....	49
Figura 24 - Proveta utilizada para medição do volume condensado.	50
Figura 25 - (a) Seringa e suporte utilizado para filtração (b) detalhe da membrana filtrante. .	51
Figura 26 - pHmetro.	52
Figura 27 - Turbidímetro.	52
Figura 28 - Condutivímetro.	53
Figura 29 – (a) Realização da identificação de cor. (b) Colorímetro com a identificação do resultado.	54
Figura 30 - Metabolismo dos coliformes no substrato de Colilert.	55

Figura 31 - Procedimento experimental para análise de coliformes (a) cápsula de Colilert®, (b) transferência do substrato ao Elemeyer, (c) transferência da amostra contida na proveta, (d) diluição através de movimento circular, (e) transferência da amostra para a cartela, (f) cartela contendo a amostra sendo lacrada e (g) estufa de cultura onde a amostra permaneceu por 24h.....	56
Figura 32 - Gráfico da corrente de saída dos módulos termelétricos em função da tensão.	57
Figura 33 - Gráfico do resfriamento obtido em função da tensão.	58
Figura 34 - Gráfico do volume condensado em função do tempo nas diferentes umidades. ...	60
Figura 35 - Gráfico do consumo de energia em função das diferentes umidades.	61
Figura 36 - Gráfico do volume produzido considerando 1m ² de área de condensação em função da umidade relativa.....	62
Figura 37 - Gráfico do consumo energético considerando 1m ² de área de condensação em função da umidade relativa.....	63
Figura 38 - Gráfico do rendimento nas diferentes faixas de umidade analisadas.	65
Figura 39 - Tabela de tarifária da CEMIG.	66
Figura 40 - Diagrama da temperatura máxima média.	69
Figura 41 - Resultado da primeira análise de coliformes.	77
Figura 42 - Resultado da segunda análise de coliformes (a) frente e (b) verso da cartela.	78

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- Cargas e consumo.....	37
Tabela 2 - Caderneta de campo.	50
Tabela 3 - Comparação de produção e consumo entre trabalhos já desenvolvidos.	63
Tabela 4 - Estimativa do custo do condensado.....	66
Tabela 5 - Cargas e consumo.....	67
Tabela 6 – Dados de Radiação do Município de Passa Quatro – MG.....	70
Tabela 7 - Tabela de correção da HSP.	70
Tabela 8 - Cargas e consumo.....	71
Tabela 9 – Investimento inicial do conjunto fotovoltaico.	74
Tabela 10 – Investimento no período e Valor Presente.....	74
Tabela 11 - Resultados do pH.....	75
Tabela 12 - Resultados de turbidez.....	76
Tabela 13 - Resultados de condutividade.	76

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ANEEL	Agência Nacional de Energia Elétrica
AOAC	The Scientific Association Dedicated to Analytical Excellence
APHA	American Public Health Association
AWWA	American Water Works Association
CEMIG	Companhia Energética de Minas Gerais
CEPEL	Centro de Pesquisas em Energia Elétrica
CETESB	Companhia Ambiental do Estado de São Paulo
COPASA	Companhia de Saneamento de Minas Gerais
CRESESB	Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito
<i>E. coli</i>	<i>Escherichia coli</i>
EPA	Environmental Protection Agency
IBWA	International Bottled Water Association
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
ISO	International Organization for Standardization
Lanconfiq/Unifei	Laboratório de Controle e Análise Físico-Químico da Universidade Federal de Itajubá
LHPCH/Unifei	Laboratório Hidromecânico de Pequenas Centrais Hidrelétricas da Universidade Federal de Itajubá
UFMG	Universidade Federal de Campina Grande
Unifei	Universidade Federal de Itajubá

LISTA DE SÍMBOLOS

L	Litro
kW.L ⁻¹	Quilowatt por litro
L.h ⁻¹	Litro por hora
kWh	Quilowatt hora
Wh	Watt hora
pH	Potencial hidrogeniônico
®	Marca registrada
VMP	Valor máximo permitido
ml	Mililitro
uT	Unidades de turbidez
>	Maior
<	Menor
uH	Unidade Hazen: unidade de medição de cor
J.kg ⁻¹	Joule por quilograma
°C	Graus Celsius
T _{po}	Temperatura de ponto de orvalho (°C)
T _{bs}	Temperatura de bulbo seco (°C)
T _{bm}	Temperatura de bulbo molhado (°C)
UR	Umidade relativa
ln	Logaritmo neperiano
PV _s	Pressão de saturação do vapor (kPa)
T	Temperatura (°C)
R	Razão mistura (g vapor de água / g de ar seco)
R _s	Razão mistura à pressão de saturação (g vapor de água / g de ar seco)
P _v	Pressão parcial de vapor (kPa)
P _{atm}	Pressão atmosférica
V _e	Volume específico (m ³ / kg de ar seco)
J.g ⁻¹	Joule por grama
h	Entalpia (kJ / kg)
N	Neutro
P	Positivo

A	Ampére
UV	Ultravioleta
m ²	Metro quadrado
Ed	Energia diária
Er	Energia real
Cu	Capacidade útil
Pd	Profundidade de descarga
Cr	Capacidade real
Nb	Número de baterias
Bs	Baterias ligadas em série
Bp	Baterias ligadas em paralelo
HSP	Disponibilidade solar local
HSPk	Potencial solar no plano do painel fotovoltaico
Nm	Número total de módulos
ms	Módulos ligados em série
mp	Módulos ligados em paralelo
Ie	Corrente elétrica de entrada do controlador
Is	Corrente elétrica de saída do controlador
W	Watt
h	Hora
Pi	Potência do inversor
η	Eficiência do inversor
N	Dias de autonomia
Vi	Tensão nominal
V	Tensão
i	Corrente elétrica
Wp	Potência nominal
Ah	Ampére hora
α	Ângulo de inclinação do módulo fotovoltaico
Ip	Corrente elétrica do sistema
Impp	Corrente elétrica fornecida por um módulo
Ic	Corrente do controlador
Cc	Custo do Condensado

Ca	Custo anual
Va	Volume anual
CT	Custo total
frc	Fator de correção
Io	Investimento inicial
VP	Valor presente
U	Tensão (V)
Tf	Temperatura do lado frio
Tq	Temperatura do lado quente
Tamb	Temperatura ambiente
mm	Milímetro
Tamb	Temperatura ambiente externa
Tambi	Temperatura ambiente interna
URe	Umidade relativa externa
URi	Umidade relativa interna
μm	Micrometro
$\mu\text{S.cm}^{-1}$	microSiemens por centímetro
VRBA	Meio de cultura de Ágar Vermelho Violeta Bile Lactose
Ω	Ohm
ΔT	Diferença de temperatura
η	Rendimento do protótipo
Ah	Ampére hora
R\$	Reais

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	17
1.1	Objetivos	18
1.1.1	Objetivo geral	18
1.1.2	Objetivos específicos.....	18
1.2	Justificativa.....	18
2	FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA.....	19
2.1	Água	19
2.2	Equipamentos Utilizados para Melhoria da Qualidade da Água	20
2.2.1	Destilador	20
2.2.1.1	Bidestilador	22
2.2.2	Deionizador	23
2.2.3	Osmose reversa.....	23
2.3	Métodos Obtenção de Água Através da Condensação do Vapor Atmosférico.....	24
2.4	Qualidade do Condensado.....	25
2.5	Psicrometria.....	27
2.6	Efeito Termelétrico.....	31
2.6.1	Arrefecimento através de módulos termelétricos	33
2.7	Energia Solar	33
2.7.1	Dimensionamento de um sistema fotovoltaico	35
2.7.1.1	Sequência de cálculo	36
2.8	Análise Econômica.....	40
3	METODOLOGIA	42
3.1	Primeira Fase.....	43
3.2	Segunda Fase.....	47
3.3	Terceira Fase	50
3.3.1	pH	51
3.3.2	Turbidez.....	52
3.3.3	Condutividade	53
3.3.4	Cor	53
3.3.5	Coliformes	54
3.3.5.1	Procedimento laboratorial	55

4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	57
4.1	Primeira Fase.....	57
4.2	Segunda Fase.....	59
4.2.1	Rendimento do equipamento.....	64
4.3	Custo do Condensado.....	65
4.3.1	Custo do condensado utilizando energia elétrica convencional.....	65
4.4	Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico.....	67
4.4.1	Sistema com dois módulos termelétricos	67
4.4.2	Dimensionamento do sistema fotovoltaico para atender 1 m ² de área de condensação.	71
4.5	Custo do Condensado Utilizando Sistema Fotovoltaico Autônomo	73
4.6	Terceira Fase	75
4.6.1	pH	75
4.6.2	Cor	76
4.6.3	Turbidez.....	76
4.6.4	Condutividade	76
4.6.5	Coliformes.....	77
5	CONCLUSÃO	79
	REFERÊNCIAS	82
	ANEXO A.....	85
	ANEXO B.....	86
	APÊNDICE I.....	89
	APÊNDICE II.....	92

1 INTRODUÇÃO

A busca por novas alternativas para obtenção de água é impulsionada principalmente pelas crescentes preocupações relacionadas à escassez de água potável no mundo, por ser este um elemento de importância vital aos seres vivos e presente em quantidade finita no planeta.

Não há efetivamente produção de água, sua obtenção em qualquer que sejam as fontes sempre tem por princípio a mudança de estado físico. O ciclo hidrológico pode de maneira geral ser definido como sendo um conjunto de mudanças físicas ao qual a água é submetida.

Obter água com significativo grau de pureza é algo que sempre será necessário para realização de análises laboratoriais, o que também justifica a busca de equipamentos e processos que apresentem menos impactos adversos ao meio ambiente.

Ao decorrer do trabalho serão apresentados alguns dos principais equipamentos disponíveis atualmente no mercado e que tem por finalidade a obtenção de água pura, para que se possa compreender o diferencial do equipamento proposto.

O elemento chave a ser utilizado pela configuração proposta é o módulo termelétrico. Este dispositivo é geralmente aplicado em pequenas escalas, para refrigeração de equipamentos eletrônicos ou refrigeradores portáteis, porém sua utilização como fonte condicionadora de ar e gerador de energia elétrica a partir de seu aquecimento também já foram estudados e apresentam resultados positivos e que merecem ser aprofundados.

O estudo da aplicação de módulos termelétricos para condensação de água tem caráter inovador, que visa atender uma necessidade e sua teoria tem apontado resultados promissores. Ainda com a intenção de propor uma solução ambientalmente amigável, é sugerida a utilização de energia solar por meio de células fotovoltaicas para suprir a demanda do sistema e torná-lo autossustentável.

Ao conjugar o sistema fotovoltaico ao condensador o conjunto terá autonomia energética, aumentando a versatilidade de sua utilização em locais isolados e de difícil acesso às redes de energia elétrica e distribuição de água potável, estas características resumem a contribuição social do projeto.

1.1 Objetivos

A seguir são definidos o objetivo geral do presente trabalho e também os objetivos específicos que constituem as etapas cumpridas durante o desenvolvimento deste projeto.

1.1.1 Objetivo geral

Desenvolver e analisar um sistema de condensação do vapor atmosférico que utilize módulos termelétricos como fonte de condensação e que seja atendido por energia solar.

1.1.2 Objetivos específicos

- Desenvolver um protótipo para testes;
- Analisar a eficiência do equipamento (rendimento);
- Analisar e comparar o condensado aos padrões de potabilidade;
- Dimensionar o sistema fotovoltaico para alimentar energeticamente o condensador;
- Verificar a viabilidade econômica do equipamento proposto.

1.2 Justificativa

A busca por novas alternativas para obtenção de água é impulsionada pelas crescentes preocupações relacionadas à escassez de água potável no mundo, por ser este um elemento de importância vital aos seres vivos e presente em quantidade finita no planeta.

Obter água com significativo grau de pureza é algo que sempre será necessário para realização de análises físicas e químicas, o que também justifica a busca de equipamentos e processos que apresentem menos impactos adversos ao meio ambiente.

Ainda como característica a favor do Meio Ambiente, será dimensionado um sistema de energia fotovoltaica para atender o condensador, agregando-lhe autonomia, permitindo que ele seja instalado em regiões de difícil acesso às redes de energia e de distribuição de água, sendo esta uma importante contribuição social do projeto.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Neste capítulo serão abordados temas que servem de embasamento teórico para compreensão do trabalho e sua problemática.

2.1 Água

A água é elemento vital e por essa razão é extremamente imprescindível que se busque alternativas para conservação deste recurso. Apesar de ser renovável, sua distribuição ocorre de maneira desigual no planeta, e apenas 0,007% está na forma de água doce presente na atmosfera, rios e lagos, ou seja, está realmente disponível para o suprimento humano (UNIÁGUA, 2011).

Outra maneira de ilustrar a proporção da água e sua distribuição no planeta está ilustrada pela figura 1, onde é possível observar que de toda a água presente no planeta, apenas 2,5% trata-se de água doce, dividida em seus diferentes estados físicos, desta parcela apenas 0,4% está na forma de água superficial, ou seja, está diretamente disponível para os seres vivos. Ainda assim a maior parte da água tida como superficial está contida em pântanos e lagos e apenas 1,6% está nos rios que são largamente utilizados para o abastecimento.

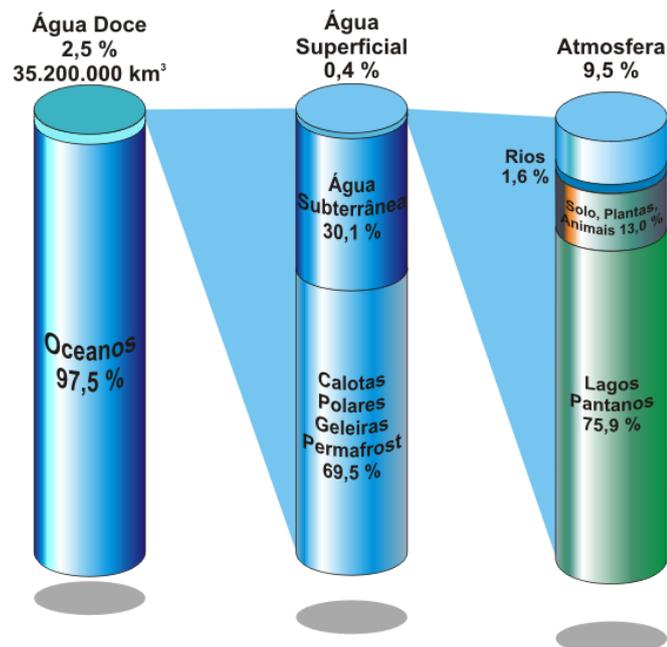


Figura 1 - Distribuição da água no planeta.
Fonte: Geowater, 2011.

2.2 Equipamentos Utilizados para Melhoria da Qualidade da Água

Nos laboratórios de análises químicas, a água é o principal solvente, e para ser utilizada é fundamental que apresente certo grau de pureza. Para garantir essa qualidade são empregados equipamentos que por vezes consomem demasiadamente água e energia elétrica.

Há vários equipamentos com princípios de funcionamento demasiadamente diferenciados, o que determinará qual deles deve ser empregado é a finalidade para qual se almeja utilizar a água.

Dentre os principais equipamentos, em ordem crescente de qualidade estão os destiladores, os bidestiladores, osmose reversa e o deionizador. A seguir serão apresentadas as principais características desses equipamentos com o intuito de demonstrar a diferença operacional do equipamento proposto.

2.2.1 Destilador

A destilação corresponde ao processo de ebulição e evaporação de uma mistura líquida e o retorno do vapor formado ao estado líquido, ou seja, é o ciclo formado pela passagem do líquido em vapor e líquido novamente, que terá como resultado dois produtos, o destilado, que possuirá pureza maior e o resíduo, com maior grau de solutos. A figura 2 ilustra um modelo básico de destilador.

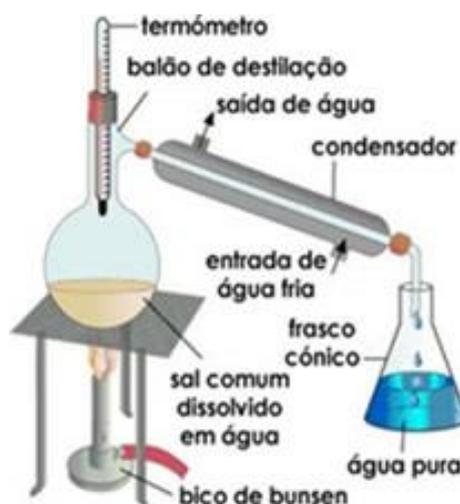


Figura 2 - Destilador didático básico.
Fonte: Mundo Educação, 2012.

De acordo com Sartori et al. (2009), a destilação consiste em processo físico de separação de uma mistura de líquidos ou sólidos dissolvidos, sua principal característica é o fato de o vapor produzido possuir características físico-químicas diferentes ao do líquido residual.

Este processo de separação de misturas tem registros datados desde 1500. Apesar de que muito antes disso há rumores de que os alquimistas alexandrinos já se beneficiavam da técnica. Desde então tem sido largamente empregado em laboratórios e na indústria, dada sua eficiência quanto à purificação, viabilidade econômica e simplicidade (SARTORI et al., 2009).

De acordo com Kamogawa (2010) os destiladores de água são grandes consumidores de água potável, suas estimativas apontam que para obter 1L de água destilada sejam necessários até 48L de água potável. Nos melhores equipamentos essa relação pode atingir 15:1, o que ainda assim representa um consumo significativo.

A água potável é requerida pelos aparelhos de destilação, pois é necessário que a água de alimentação já contenha certo grau de pureza, principalmente que não seja água dura, com excesso de cálcio e magnésio, que podem causar incrustações no interior do equipamento danificando-o.

Há no mercado uma série de modelos de aparelhos que fornecem como produto a água pura. Um deles é o destilador convencional, figura 3, porém já é possível encontrar equipamentos que não utilizam a técnica de destilação, mas que fornecem água pura, como ilustram as figuras 5 e 6.

A escolha de um deles está relacionada basicamente ao grau de pureza que se espera do destilado. De maneira geral, aqueles que apresentam melhores graus de pureza, são também os que consomem menos água potável em seu processo, em contra partida são os que apresentam um valor de investimento bem mais alto.

O processo convencional de destilação ainda é o mais empregado, consumindo, porém, grande quantidade de água de refrigeração, cerca de 15 L.L^{-1} de água pura produzida, nos aparelhos mais econômicos, e possuem uma potência elétrica na ordem de $0,7 \text{ kW.L}^{-1}$, além de exigir cuidados constantes durante a produção (TAVARES et al., 2004). Um exemplo deste tipo de aparelho é representado pela figura 3.



Figura 3 - Destilador convencional presente no Laboratório de Química/Unifei.

De acordo com os dados apresentados por Martelli (2008), um destilador convencional produz $3,6 \text{ L.h}^{-1}$ de água destilada, a cada 1 litro de água pura produzida no destilador necessita de 14 litros de água e 1 destilador gasta em energia elétrica 3,3 kWh.

2.2.1.1 Bidestilador

Seguindo o mesmo princípio de funcionamento do destilador há no mercado o bidestilador convencional, em que o destilado é submetido no mesmo aparelho a dois processos de destilação, garantindo maior nível de pureza ao produto final.

De acordo com as especificações dos fabricantes Quimis (2012) e New Química (2012), o rendimento destes aparelhos varia entre 2 L.h^{-1} e 8 L.h^{-1} , consumindo água potável na relação aproximada de 20:1, no modelo MA-078/5BI e ente 100 e 150:1 no modelo Q341B, apesar de requerer muita água este modelo já possui sistema da reciclagem da água de refrigeração. Seu consumo em energia corresponde ao dobro do consumo do destilador, pois nada mais é que dois destiladores funcionando simultaneamente.



Figura 4 - Bidestilador modelo MA-078/5BI.
Fonte: New Química, 2012.

2.2.2 Deionizador

Para análises que exigem rigoroso grau de pureza, como por exemplo para análise de elementos traços, os aparelhos anteriores não são efetivos, e o destilado deve ainda ser submetido ao processo de deionização. O deionizador realiza trocas iônicas (cátions e ânions) através de resinas. O efluente obtido pode ser chamado água deionizada ou desmineralizada (DEIONIZADOR, 2011). Maiores informações quanto a produção e consumo energético não foram encontrados na literatura.

A figura 5 ilustra um dos modelos de deionizador disponíveis no mercado.



Figura 5 - Deionizador modelo MiliQ no Laboratório de Química/Unifei.

2.2.3 Osmose reversa

Osmose é uma propriedade física da água que quando colocada em vasos comunicantes, separados por membrana filtrante, esta tende a se mover para a região que possui maior quantidade de soluto. Já osmose reversa, ou inversa como alguns autores a chamam, nada mais é que uma filtragem sob pressão, onde a água se desloca para região oposta ao soluto, ou seja, o oposto da osmose convencional, sendo desta maneira filtrada. A figura 6 ilustra o processo de filtragem realizada por este aparelho.

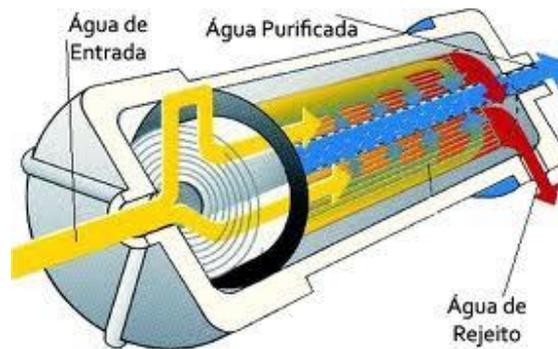


Figura 6 - Processo de filtragem por osmose reversa.
Fonte: Atol Filters, 2011.

Atualmente, o aparelho de osmose reversa tem sido o mais econômico, tanto em consumo de água quanto de energia, sua produção é da ordem de 42 a 68 L.h⁻¹, esta amplitude se dá pela variação da pressão da água fornecida pela concessionária. Para 56 L.h⁻¹ de água pura produzida são descartados 30L.h⁻¹ de água e são despendidos 20 Wh em energia elétrica (MARTELLI, 2008).

2.3 Métodos Obtenção de Água Através da Condensação do Vapor Atmosférico

Ainda há poucos trabalhos desenvolvidos que apresentem como proposta uma nova alternativa para obtenção de água, principalmente no que diz respeito a condensação do vapor de água atmosférico. Geralmente são analisadas formas de tratamento de efluentes líquidos. A utilização de módulos termelétricos para obtenção de superfície fria para condensação tem caráter inovador e ainda pouco explorado.

O trabalho desenvolvido por Henker (2012) explora três métodos de obtenção de água através da condensação por superfície fria. Um deles é a utilização de garrafa pet com água congelada que ao ser exposta ao ambiente há formação de orvalho em sua superfície, outro utiliza módulo termelétrico, sendo este protótipo muito parecido com o que foi elaborado para o presente estudo e um terceiro experimento denominado *Ice Maker* utiliza amônia (NH₃) como agente refrigerante.

No estudo de Henker (2012) o condensado obtido apresentou potabilidade quanto aos parâmetros analisados, coliformes totais e termotolerantes, pH, turbidez, oxigênio consumido e condutividade. O autor acredita que a aplicação de equipamentos desumidificadores é uma alternativa viável para obtenção de água potável em locais que sofram com a escassez do recurso, seja por motivos climáticos, catástrofes naturais ou ainda em locais isolados.

2.4 Qualidade do Condensado

O estudo desenvolvido por Guedes e Lapolli (2012), apresenta um piloto para purificação de água pluvial, esquema ilustrado na figura 7 e foto ilustrativa do equipamento, figura 8, os resultados obtidos se enquadram aos padrões determinados pela Portaria nº 2914/2011. E de acordo com suas observações a qualidade da água pluvial está diretamente ligada à qualidade atmosférica local.

O processo de purificação proposto, seguindo a disposição da figura 7, consiste em utilizar o telhado de uma construção como área de captação de água pluvial, que será direcionada por calhas e tubos coletores até uma peneira, onde serão segregados sólidos grosseiros, a primeira porção de água é direcionada a um reservatório menor, e será posteriormente descartada, pois esta água carrega sólidos menores que passaram pela peneira, somente quando o primeiro reservatório estiver cheio é que a água passa a ser armazenada no reservatório principal.

Estando no reservatório principal a água é bombeada ao equipamento de microfiltração, cujo princípio de funcionamento de assemelha ao processo de osmose reversa, depois de passar pela microfiltração a água passa também por uma membrana cerâmica e só então está apta ao consumo. No conjunto foi acoplada uma bomba de circulação que permite o refluxo no sistema desobstruindo os filtros de tempos em tempos.

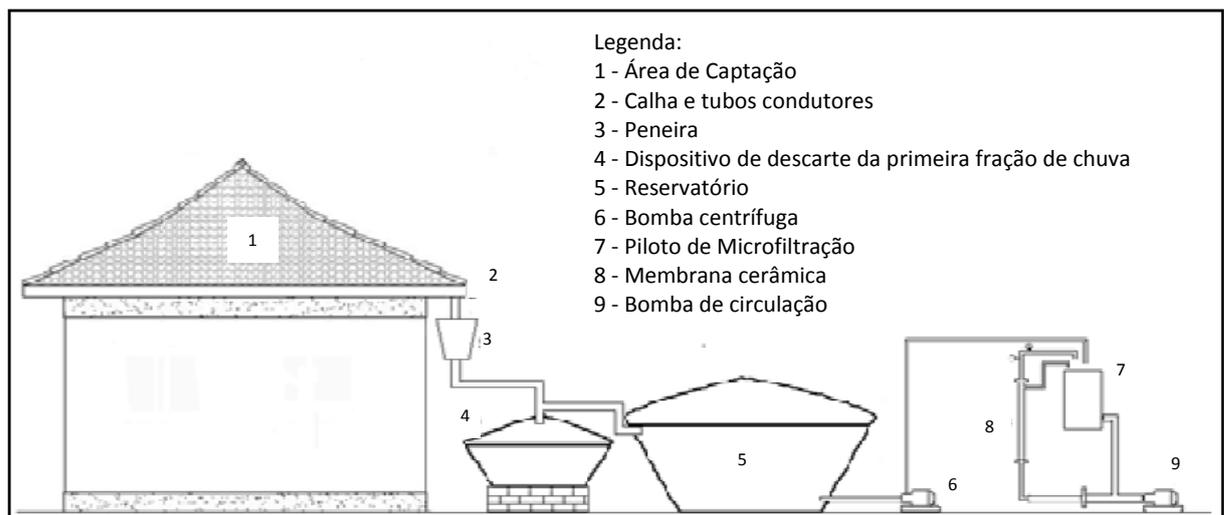


Figura 7 - Esquema do equipamento de captação e purificação de água pluvial.
Fonte: Guedes e Lapolli, 2012.



Figura 8 - Piloto do equipamento de purificação através de microfiltração tangencial Netzsch®.
Fonte: Guedes e Lapolli, 2012, *apud* Pelegrin, 2004.

Desta forma, considerando em grande escala a precipitação como uma forma de condensação do vapor atmosférico, pode-se relacionar que a qualidade do condensado obtido a partir do vapor terá suas características marcadas de acordo com a qualidade do ar onde o processo está sendo realizado.

Ainda de acordo com Guedes e Lapolli (2012), em locais que não possuem atividades industriais e/ou intenso tráfego de veículos a água da chuva, ou condensada, geralmente apresenta boa qualidade.

Legalmente a qualidade da água potável é determinada pela já citada Portaria Nº 2914/2011 do Ministério da Saúde que será seguida como parâmetro aos procedimentos de determinação de qualidade que o condensado obtido será submetido. Dentre os vários parâmetros dispostos pela legislação, foram escolhidos para investigação no presente estudo os parâmetros sugeridos por Guedes e Lapolli (2012), que são pH, cor, turbidez, coliformes totais e termotolerantes, acrescido de condutividade sugerido por Henker (2012).

O artigo 27 da Portaria 2914/2011 determina como padrão microbiológico as disposições de seu Anexo I, onde consta como Valor Máximo Permitido (VMP) a ausência de coliformes totais, que é indicador de eficiência de tratamento, em 100 ml de amostra e também a mesma restrição para coliformes termotolerantes (*Escherichia coli* ou *E. coli*) que é indicador de contaminação fecal.

O artigo 30 prevê a análise de turbidez como complementação às exigências dos indicadores microbiológicos, para tal deve se seguir as determinações do Anexo II da Portaria

em questão. Entendendo que o processo de condensação se enquadra como sendo um processo de filtração lenta, o VMP para turbidez é de 1,0 unidade de Turbidez (uT).

A turbidez pode complementar demais análises, pois a presença de materiais em suspensão como argila, silte, matéria orgânica e inorgânica e outros elementos que podem se apresentar em partículas muito finas irão causar desvio no feixe de luz, ou absorvê-lo, trata-se de uma expressão de propriedade óptica, trata-se também de aspecto estético da água de abastecimento (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011).

O artigo 39 da Portaria 2914/11 prevê uma faixa de variação do Potencial Hidrogeniônico (pH) entre 6,0 e 9,5. O pH é um dos principais parâmetros a serem analisados, pois vários procedimentos de tratamento dependem de seu valor (PARRON; MUNIZ; PEREIRA, 2011).

Como um pH igual a 7,0 indica neutralidade em uma escala de 0 a 14, é possível inferir que a legislação permite com mais amplitude o consumo de soluções básicas (pH > 7,0) do que ácidas (pH < 7,0). Isso pode ser explicado pela constatação de Parron, Muniz e Pereira (2011) onde citam que a maioria das águas naturais são ligeiramente básicas devido a presença de bicarbonatos e carbonatos dos metais alcalinos e alcalinos terrosos.

O Anexo X da referida portaria dispõe sobre padrões organolépticos, ou seja, as características perceptíveis pelos sentidos, e determina que para cor é permitido a constatação de até 15 uH - Unidade Hazen (mgPt-Co/L).

Os parâmetros foram escolhidos por representar uma caracterização direta nos aspectos físicos, químicos e microbiológicos da solução. O parâmetro de condutividade não está expresso pela Portaria 2914/11, mas por indicar a presença de íons dissolvidos, é possível inferir a pureza da água, como explica Henker (2012). Por essa razão torna-se importante sua determinação uma vez que o presente estudo pretende avaliar o possível uso do condensado como água pura.

2.5 Psicrometria

A condensação consiste na transformação de estado físico, do gasoso ao líquido, também chamado de liquefação. Este processo ocorre de maneira exotérmica, ou seja, há perda de calor, ou energia, ao ambiente para que ele ocorra.

Para que a água em estado de vapor passe para o estado líquido é necessário que perca calor latente ao ambiente até que atinja a temperatura de ponto de orvalho. De acordo

com Wallace e Hobbs (2006), o calor latente de condensação é de $-2,25 \cdot 10^6 \text{ J.kg}^{-1}$, o sinal negativo indica que esta energia deve ser retirada.

De acordo com Camargo (2009), a temperatura de ponto de orvalho (Tpo) é identificada como sendo a temperatura em que vapor de água presente no ar inicia sua condensação em um processo de resfriamento em um ambiente isobárico. Henker (2012) define a Tpo como sendo a temperatura em que há saturação de vapor de água no ambiente, viabilizando a condensação, sendo este um fator importante para estudo de sistemas desumidificadores.

A Tpo varia de acordo com a temperatura de bulbo seco (Tbs) e a Umidade Relativa (UR) do ambiente. Para determinação da Tpo em determinado local e instante, é necessário o conhecimento destes dois parâmetros e a consulta em uma carta psicrométrica, como ilustrada na figura 9.

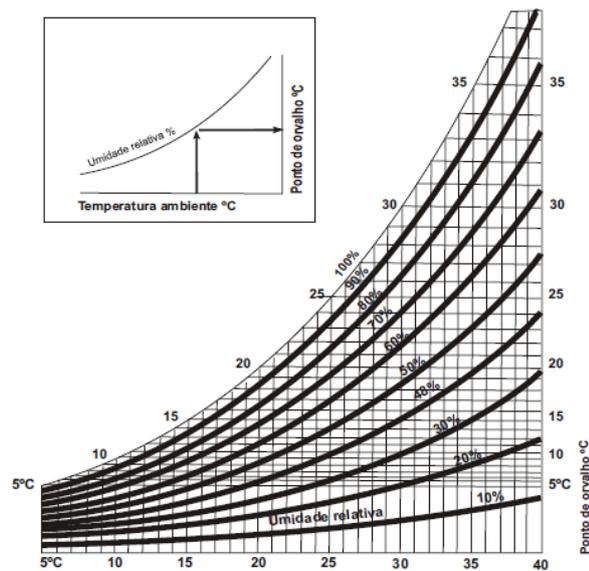


Figura 9 - Carta Psicométrica simples.
Fonte: Colorline, 2011.

Desta forma, uma parcela de ar encontrando uma superfície suficientemente fria, com temperatura correspondente ao seu Ponto de Orvalho, o vapor de água presente nesta parcela tenderá a se condensar. Para obter tal redução de temperatura, é proposto no presente trabalho a utilização de módulos termelétricos.

Durante a execução dos ensaios experimentais do presente estudo foi utilizado o *software* Grapsi para cálculos psicrométricos, tornando-se mais rápida a determinação da Tpo para ajuste no equipamento. Este programa foi desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa e está disponível para *download* na internet em: <http://evandro.eng.br/grapsi.html>.

O programa utiliza uma série de equações estabelecidas a partir de informações validadas pela *American Society of Heating, Refrigerating and Air Conditioning Engineers*, com adaptações para que os resultados fossem expressos de acordo com as unidades do Sistema Internacional.

O *software* fornece uma série de parâmetros como pressão de saturação do vapor de água, razão de mistura, entalpia, entre outros a partir de dados conseguidos facilmente através de instrumentos mais simples, como por exemplo, temperatura de bulbo seco (T_{bs}), temperatura de bulbo molhado (T_{bm}), umidade relativa (UR), sendo necessária a entrada de pelo menos dois dados para que seja possível iniciar os cálculos pelo programa.

A pressão de saturação do vapor de água é um importante parâmetro, já que a partir dele é estimada a maioria das outras propriedades psicrométricas (MELLO, 2011). A fim de ilustrar o significado deste importante parâmetro, Wallace e Hobbs (2006) apresenta a seguinte analogia: imagine uma caixa fechada cheia de ar seco cujo fundo é coberto por água a temperatura T , com o passar do tempo a água irá evaporar, conseqüentemente a pressão do vapor sobre a superfície da caixa irá aumentar. A medida que o vapor de saturação de vapor aumenta, a água que se encontra em estado de vapor tende a se condensar, retornando ao estado líquido, chamada taxa de condensação. Se a taxa de condensação é menor do que a taxa de evaporação, a parcela de ar analisada é dita como insaturada à temperatura T , figura 10a. Quando a pressão de vapor de água na caixa aumenta a tal ponto em que a taxa de condensação é igual à taxa de evaporação, o ar é dito saturado em relação a uma superfície plana de água pura a uma temperatura T , figura 10b.

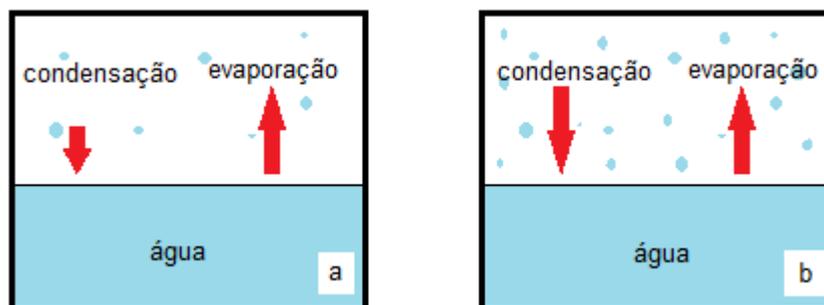


Figura 10 – (a) Caixa com parcela de ar insaturada. (b) Caixa com parcela de ar saturada.
Fonte: Adaptado de Wallace e Hobbs (2006).

Para determinação da pressão de saturação do vapor (PVs) o programa utiliza duas equações, ambas sugeridas por Wilhelm em 1976, sendo a equação (1) para temperaturas

ambientes entre -40 °C e 0 °C com erro máximo de 0,12%. As equações 1 a 7 foram extraídas de Mello (2011):

$$\ln(PVs) = \exp \left(24,2779 - \frac{6238,64}{T + 273,15} - 0,344438 \ln(T + 273,15) \right) \quad (1)$$

Onde:

PVs = Pressão de saturação do vapor [kPa]

T = temperatura [°C]

A equação 2 prevalece para faixa de temperatura entre 0 °C e 120 °C e possui um erro máximo de 0,063%, é esta a equação utilizada nos procedimentos deste estudo.

$$\begin{aligned} \ln(PVs) = \exp \left(\frac{-7511,52}{T + 273,15} + 89,63121 + 0,02399897 (T + 273,15) \right. \\ \left. - 1,1654551 \times 10^{-5} (T + 273,15)^2 - 1,2810338 \times 10^{-8} (T + 273,15)^3 \right. \\ \left. + 2,0998405 \times 10^{-11} (T + 273,15)^4 - 12,150799 \ln(T + 273,15) \right) \end{aligned} \quad (2)$$

As equações para cálculo da razão de mistura, pressão de vapor e volume específico são baseadas nas leis dos gases perfeitos e no conceito clássico de umidade relativa e grau de saturação. A equação 3 expressa a razão de mistura:

$$R = \frac{(2501 - 2,41Tbm)Rs - 1,006 (Tbs - Tbm)}{2501 + 1,775Tbs - 4,186Tbm} \quad (3)$$

Onde:

R = razão de mistura [g vapor de água / g ar seco]

Tbm = temperatura de bulbo molhado [°C]

Tbs = temperatura de bulbo seco [°C]

Rs = razão de mistura à pressão de saturação [g vapor de água / g ar seco]

A pressão parcial de vapor, é dada pela equação 4:

$$Pv = \frac{Patm \times R}{0,622 + R} \quad (4)$$

Em que:

Pv = pressão parcial de vapor [kPa]

O volume específico é dado pela equação 5:

$$V_e = \frac{0,28705 (T + 273,15)}{P_{atm}} (1 + 1,6078R) \quad (5)$$

Onde:

V_e = volume específico [m^3 / kg de ar seco]

A entalpia, ou seja, a energia demandada pela parcela de ar para mudança de estado físico é fornecida através da equação 6 , cujo erro não ultrapassa $5 J.g^{-1}$ na faixa de temperatura entre $-50 ^\circ C$ e $40 ^\circ C$.

$$h = 1,006T + R(2501 + 1,775T) \quad (6)$$

Onde:

h = entalpia específica do ar [kJ / kg]

Para o cálculo da T_{po} é utilizada a equação 7, proposta por Zolnier em 1994:

$$T_{po} = \frac{186,4905 - 237,3 \log_{10}(10 P_v)}{\log_{10}(10 P_v) - 8,2859} \quad (7)$$

Onde:

T_{po} = temperatura de ponto de orvalho [$^\circ C$]

2.6 Efeito Termelétrico

Para que ocorra a condensação do vapor atmosférico, como demonstrado anteriormente, o ar deve encontrar uma superfície mais fria, para tal, o presente trabalho propõe a utilização de módulos termelétricos.

Os módulos termelétricos funcionam a partir do Efeito Termelétrico que corresponde a junção de dois outros fenômenos denominados Efeito Seebeck e Efeito Peltier, cuja principal diferença se dá pela fonte de energia, no primeiro a fonte é térmica, no segundo ela é elétrica.

O Efeito Seebeck descoberto em 1821 pelo físico Thomas Johann Seebeck, consiste na produção de uma diferença de potencial elétrico entre duas junções de

semicondutores de materiais diferentes quando elas se encontram a diferentes temperaturas. Nesta situação a potência elétrica é derivada do movimento das cargas elétricas causado pelo fluxo de calor pelas pastilhas termelétricas.

Cargas positivas movem-se para o lado quente do semiconductor tipo P tornando aquela junção eletricamente positiva. Similarmente, elétrons fluem através do semiconductor tipo N resultando em uma carga líquida negativa no lado do dissipador de calor desta pastilha. Conseqüentemente, isso gera uma diferença de potencial elétrico entre o primeiro e o último par elétrico do semiconductor, que está conectado eletricamente em série.

O efeito Peltier, descoberto em 1834 por Jean Charles Athanase Peltier, consiste na diferença de temperatura quando uma corrente elétrica flui na junção de dois materiais semicondutores de propriedades diferentes. No módulo termelétrico é possível observar que um dos seus lados passa a absorver calor (lado frio) enquanto o outro se apresenta aquecido.

O módulo termoelétrico, também denominado de módulo Peltier, é constituído por uma camada externa e interna de cerâmica e interior composto por liga de metal semiconductor do tipo N e P, em que os pares são ligados eletricamente em série e termicamente em paralelo, conforme ilustra a figura 11 (CAMARGO; OLIVEIRA, 2010).

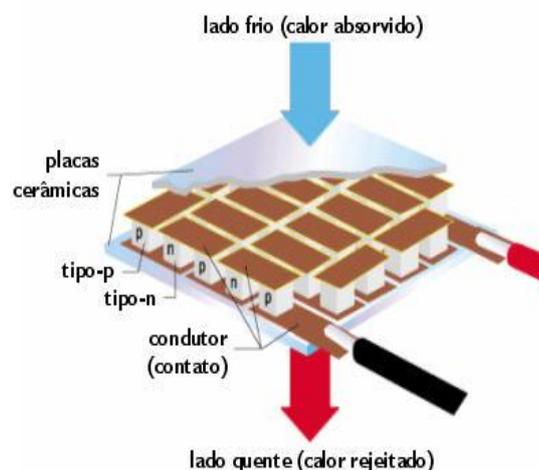


Figura 11 - Esquema dos componentes do módulo termelétrico.
Fonte: Peltier, 2012.

Os sistemas termelétricos apresentam vantagens sobre outros sistemas, pois não possuem partes móveis, não contém fluido refrigerante, a direção do bombeamento de calor é reversível, invertendo-se a polaridade da fonte, podem ser instalados em pequenos espaços e não dependem da posição para funcionar, características que os tornam atrativos em muitas aplicações.

Sua eficiência, no entanto, é fortemente influenciada pelas características próprias do material semicondutor, embora atualmente suas aplicações se limitem a pequenos sistemas, com o rápido desenvolvimento de novas tecnologias e materiais, essas aplicações certamente serão ampliadas. Para tanto, é necessário intensificar o investimento em pesquisa nesta área.

2.6.1 Arrefecimento através de módulos termelétricos

Atualmente o efeito termelétrico é utilizado apenas para refrigeração de pequenos espaços confinados, principalmente no resfriamento de componentes eletrônicos, sensores, instrumentação, pequenas geladeiras portáteis e, também, para geração de energia em sistemas que necessitam de baixa potência.

Um exemplo de aplicação para obtenção de refrigeração é apresentado por Camargo et al. (2008) onde foi proposto o uso das placas termelétricas para condicionamento do ar. Neste estudo as diferenças de temperaturas alcançadas sugerem uma redução de 11°C ao induzir uma corrente elétrica de 6A ao sistema.

O trabalho desenvolvido por Henker (2012) consistiu na elaboração de um desumidificador de ar utilizando módulos termelétricos, em que foi possível obter água em estado líquido, o sistema foi elaborado a fim de fornecer água potável e para garantir sua qualidade o próprio desumidificador possui lâmpada germicida de UV. Na concepção do autor a aplicação dos módulos termelétricos torna-se uma nova alternativa na busca de desumidificadores de pequeno porte, baixo custo, fácil operação e com risco ocupacional reduzido.

2.7 Energia Solar

Como forma de garantir a oferta de energia e buscar alternativas para complementar a matriz energética, as energias renováveis, entre elas a solar, vem ganhando cada vez mais destaque e impulsionado pesquisas para sua viabilização. Atualmente percebe-se um crescente interesse dos agentes empreendedores quanto à possibilidade de seu uso para gerar energia elétrica.

Dentre os diversos processos de conversão de energia, a conversão fotovoltaica é conhecida por ser uma fonte de energia elétrica limpa, sem emissão de poluentes durante sua operação e democrática, já que é disponível a todas as camadas sociais, uma fonte ecologicamente correta, abundante e praticamente inesgotável.

Um bom exemplo dessa democratização é o uso da energia solar através de placas fotovoltaicas instaladas no Brasil através de programas governamentais de expansão energética, como por exemplo, o Programa Luz Para Todos, que tem levado às comunidades isoladas este sistema de geração de energia, como pode ser observado na figura 12. Esta estratégia é economicamente mais viável, quando comparado aos custos de expansão das linhas de transmissão para atender estas comunidades.

De acordo com a Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL, 2005), a energia solar é a base da maioria das outras fontes de energia como a hidráulica, biomassa, eólica, combustíveis fósseis e energia dos oceanos, e sem ela nenhuma dessas outras fontes estaria disponível.

Há duas maneiras de utilização da energia solar, uso direto da sua radiação para aquecimento de fluidos e ambientes ou por conversão direta em energia elétrica, com o auxílio de equipamentos específicos, termoelétricos e fotovoltaicos.



Figura 12 - Residência de baixa renda atendida por energia solar fotovoltaica.
Fonte: CEPTEL, 2009.

Para a utilização fotovoltaica utilizam-se placas de conversão fabricadas em sua maioria de silício. O silício é o segundo minério mais abundante na crosta terrestre, sendo o Brasil o maior possuidor de jazidas, entretanto, atualmente o maior fabricante destes equipamentos é a China (CEPEL, 2009).

Quanto às instalações fototérmicas, que utilizam a radiação solar para aquecimento de água, o Brasil ocupa o sétimo lugar entre os países com maiores áreas coletoras instaladas, com 3,1 milhões de m². Sendo que 84% das instalações são residenciais.

Sua distribuição quanto aos setores, residencial, prestadores de serviços e industrial seguem o disposto no gráfico ilustrado pela figura 13.

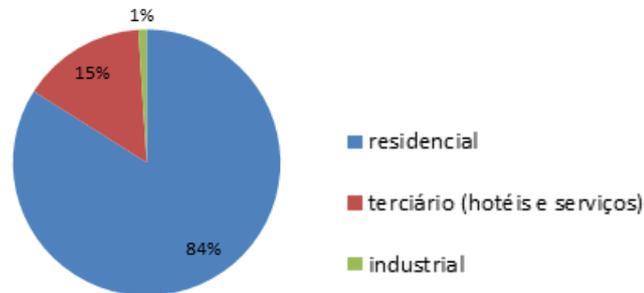


Figura 13 - Gráfico da utilização dos painéis fototérmicos em diferentes setores.
Fonte: Baseado em CEPTEL, 2009.

O Brasil, assim como a maioria dos países tropicais, conta com índices de incidência solar consideráveis ao longo de todo o ano, o que estimula o uso dessa fonte. Para sua maior disseminação é necessário que haja incentivos econômicos, como financiamentos ou subsídios, que facilitem a compra dos equipamentos, pois seu alto custo é dos maiores empecilhos, porém, há uma tendência de queda em seus preços com o aumento do seu uso e possibilidade de fabricação no país.

Um dos fatores que impossibilita a utilização da energia solar como uma matriz energética é a baixa eficiência das placas fotovoltaicas. De acordo com Seraphim et al.(2004), os módulos monocristalinos podem atingir em laboratório eficiência de até 24%, em uso comercial trabalham entre 12% e 15%. Os módulos policristalinos tem rendimento inferior devido às descontinuidades em sua estrutura, atingindo no máximo 12% de rendimento.

2.7.1 Dimensionamento de um sistema fotovoltaico

Como um dos objetivos do projeto é apresentar um sistema autônomo para abastecimento em locais remotos, há a necessidade de identificar um sistema autônomo para o fornecimento da energia elétrica necessária para o funcionamento. A seguir será apresentada a sequência de cálculo a ser considerada para o dimensionamento de um sistema fotovoltaico de acordo com as recomendações da Blue Sol Educacional (2012).

Seguindo a referência citada, são quatro as etapas que envolvem o dimensionamento:

A. Características do Sistema Fotovoltaico

- a) Demandas de energia média diária (**Ed e Er**)
- b) Potência dos inversores autônomos

B. Banco de Baterias

- a) Capacidade Útil (**Cu**)
- b) Profundidade de descarga (**Pd**)
- c) Capacidade Real (**Cr**)
- d) Quantidade e configuração dos elementos (**Nb; Bs; Bp**)

C. Painel Fotovoltaico

- a) Disponibilidade Solar Local (**HSP**)
- b) Potencial Solar no plano do painel fotovoltaico (**HSPk**)
- c) Quantidade e configuração dos elementos (**N_m; m_s; m_p**)
- d) Controladores de Carga (**Ie; Is**)

D. Cabeamento

O cabeamento deve ser dimensionado caso a caso considerando a bitola da fiação, a distância entre o módulo e os equipamentos de controle, além da fiação para ligação das cargas.

2.7.1.1 Sequência de cálculo

A fim de responder as variáveis acima, deve-se conhecer, determinar e considerar certas condições de funcionamento para que então seja possível o cálculo por meio de uma série de equações.

A. Características do sistema fotovoltaico

O primeiro passo é identificar a carga, ou seja, o que pretende-se ligar com a energia fornecida pelo módulo e assim montar um quadro como demonstra a tabela 1.

Tabela 1- Cargas e consumo

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Tempo de utilização em um dia (h)	Energia consumida (Wh)

Após definição das cargas deve-se calcular a energia total requerida em um dia, da seguinte forma:

$$\text{Potência} \times \text{tempo de uso} \times \text{quantidade} = X[\text{Wh}/\text{dia}] \quad (8)$$

Se a intenção for utilizar o módulo para alimentar equipamentos em corrente alternada, a utilização de um inversor de corrente será necessária, como todo equipamento de transformação há perdas, esta deverá ser compensada pela geração do módulo.

Para determinação de qual o melhor inversor a ser utilizado deve-se levar em conta que todo inversor apresenta melhor faixa de operação entre 50% e 70% da sua capacidade nominal, portanto a potência do inversor (P_i) é dada por:

$$\frac{\text{Wh}/\text{dia}}{0,7} \leq P_i \leq \frac{\text{Wh}/\text{dia}}{0,5} \quad (9)$$

Escolhido o inversor deve-se verificar a eficiência (η_i) do mesmo e compensar a perda aumentando a energia diária (E_d) requisitada pelo módulo.

$$E_d = \frac{\text{Wh}/\text{dia}}{\eta_i} \quad (10)$$

Porém deve-se ainda considerar o rendimento (R) do próprio módulo fotovoltaico, uma vez que este não fornece a potência nominal durante toda sua operação, este rendimento é de aproximadamente 89%, portanto a energia real (E_r) que deve ser gerada para compensar a perda do próprio módulo e que será armazenada é dada por:

$$E_r = \frac{E_d}{R} \quad (11)$$

B. Banco de baterias

Para dimensionar o banco de baterias primeiramente deve-se conhecer duas variáveis: o número de dias de autonomia que se deseja dar ao sistema (N) e a tensão nominal do sistema (V_i), então já será possível calcular a capacidade útil (C_u) que o banco de baterias deverá ter. A capacidade útil significa a corrente elétrica que o conjunto é capaz de fornecer em uma hora, e é dada por:

$$C_u = \frac{E_r \times N}{V_i} \quad (12)$$

Porém, nenhuma bateria deve ser descarregada em 100%, admitindo uma profundidade de descarga (P_d) razoável da ordem de 60%. Desta forma, a capacidade real (C_r) que o banco de baterias deve apresentar é de:

$$C_r = \frac{C_u}{P_d} \quad (13)$$

De posse destas informações deve-se selecionar entre os catálogos de fabricantes uma ou mais baterias para atender a demanda. É importante ressaltar que ao ligar baterias em série soma-se a tensão (V) e ao ligá-las em paralelo soma-se a corrente (i).

C. Pannel fotovoltaico

Ao selecionar o pannel fotovoltaico duas características o classifica, a potência nominal (Wp) e a corrente (Ah), estes dois fatores devem ser capazes de atender as cargas já determinadas anteriormente. Porém deve-se considerar um rendimento razoável de 90% sobre o valor já calculado de energia real (E_r).

Desta forma:

$$E_p = \frac{E_r}{0,9} \quad (14)$$

A corrente fornecida pelo pannel deverá ser:

$$I_p = \frac{E_p}{V_i} \quad (15)$$

A partir disto deve-se selecionar um ou mais módulos que atendam a demanda, pois a continuidade do dimensionamento depende das características técnicas do equipamento escolhido e também de características do local onde será realizada a instalação.

Todo painel apresentará perda pelo aumento de temperatura, que é da ordem de 0,5% a cada acréscimo de 1 °C.

Para determinação desta perda deve-se realizar um levantamento de qual a média da temperatura máxima do local de instalação. Dado que pode ser obtido através do site do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O cálculo da perda pela temperatura será dado por:

$$Perda\ ^\circ C = T_{m\acute{e}dia\ m\acute{a}xima} * coeficeinte\ de\ perda \quad (16)$$

A porcentagem encontrada deve ser descontada da potência pico fornecida pelo painel fotovoltaico.

Outro importante fator que pode vir a representar perdas significativas é a inclinação em que se encontra o painel fotovoltaico. Para sistemas autônomos, localizados no Hemisfério Sul, o painel deve ser instalado com a face de captação voltada para o Norte e a inclinação ideal é dada por:

$$\alpha = Latitude + \frac{Latitude}{4} \quad (17)$$

Caso a inclinação do local seja diferente da ideal, devido a inclinação do telhado ou qualquer outra interferência, o cálculo de radiação recebida em horas de sol pico (HSP) deverá passar por correção, já que não será possível captar em 100 % a radiação.

Os dados de radiação local são encontrados no site do Centro de Referência em Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito (CRESESB).

O número de módulos necessários e como deverão ser instalados depende diretamente da tensão e da corrente. Geralmente a tensão do sistema é de 12 V, o que é atendido por um módulo em série. Se o sistema requer uma tensão maior, o número de módulo em série deverá ser suficiente para que as tensões dos módulos somadas atendam o sistema.

Por exemplo, se o sistema que está sendo dimensionado requer uma tensão de 24V, serão necessários dois módulos de 12 V ligados eletricamente em série.

Já o número de módulos em paralelo depende diretamente da corrente do sistema, e é dada pela expressão:

$$mp = \frac{Ip}{R_{perda}^{\circ C} \times I_{mpp} \times HSPk} \quad (18)$$

Onde:

mp = número de módulos em paralelo

Ip = corrente necessária pelo sistema

$R_{perda}^{\circ C}$ = rendimento descontando-se a perda por temperatura

I_{mpp} = corrente de um módulo

$HSPk$ = menor hora de sol pico corrigida pela inclinação.

Ao fim, deve-se identificar a capacidade do controlador de carga, que é dada um função da corrente que o módulo fotovoltaico fornece acrescido de fator de segurança de 25%, conforme equação 19:

$$Ic = Ip \times mp \times 1,25 \quad (19)$$

Onde:

Ic = corrente do controlador

2.8 Análise Econômica

Para definição do custo do condensado (Cc) será considerado o custo anual (Ca) do equipamento dividido pelo volume de condensado produzido no período (Va), conforme equação 20.

$$Cc = \frac{Ca}{Va} \quad (20)$$

Onde:

Cc = Custo do condensado (R\$/L)

Ca = Custo anual (R\$)

Va = Volume anual (L)

O custo anual é dado pelo custo total (CT) ajustado pelo fator de correção (frc):

$$Ca = CT \cdot frc \quad (21)$$

Onde, CT é dado pelo investimento inicial para a compra os equipamentos (I_0) e o valor presente (VP), dos itens que deverão ser trocados durante o período considerado. Portanto, o custo total (CT), será dado por:

$$CT = I_0 + VP \quad (22)$$

O VP é dado por:

$$VP = R \sum_{j=1}^n \frac{1}{(1+i)^j} \quad (23)$$

Onde:

R = receita

j = período em anos

i = taxa anual de juros

Retornando à equação 21, o fator de correção (frc), é dado por:

$$frc = \frac{i (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1} \quad (24)$$

Onde:

i = taxa anual de juros

n = período em anos

3 METODOLOGIA

Com base nos princípios expostos, se propõe a utilização de módulos termelétricos como fonte de condensação, com a indução de corrente elétrica no módulo termelétrico até que a temperatura de seu lado frio correspondesse a T_{po} no momento do ensaio.

Os testes executados acompanharam o comportamento do sistema quanto a variação de corrente (i), tensão (U) consequentemente potência. Além disso, foram monitorados a temperatura do lado frio (T_f), temperatura lado quente (T_q), temperatura ambiente (T_{amb}), umidade relativa (UR) conforme sugerem Camargo et al. (2008) em seus estudos de condicionamento de ar.

Sabendo-se que para ocorrer a condensação a parte fria do módulo termelétrico, incluindo o dissipador do lado frio deveriam atingir a temperatura de ponto de orvalho T_{po} , foi utilizado o *software* Grapsi, desenvolvido pela Universidade Federal de Viçosa, para que fosse possível a verificação instantânea das condições ambientais, desta maneira, variou-se a tensão de entrada no módulo até que a T_f atingisse a T_{po} ou temperatura inferior. A figura 14 demonstra a tela de resposta do software.

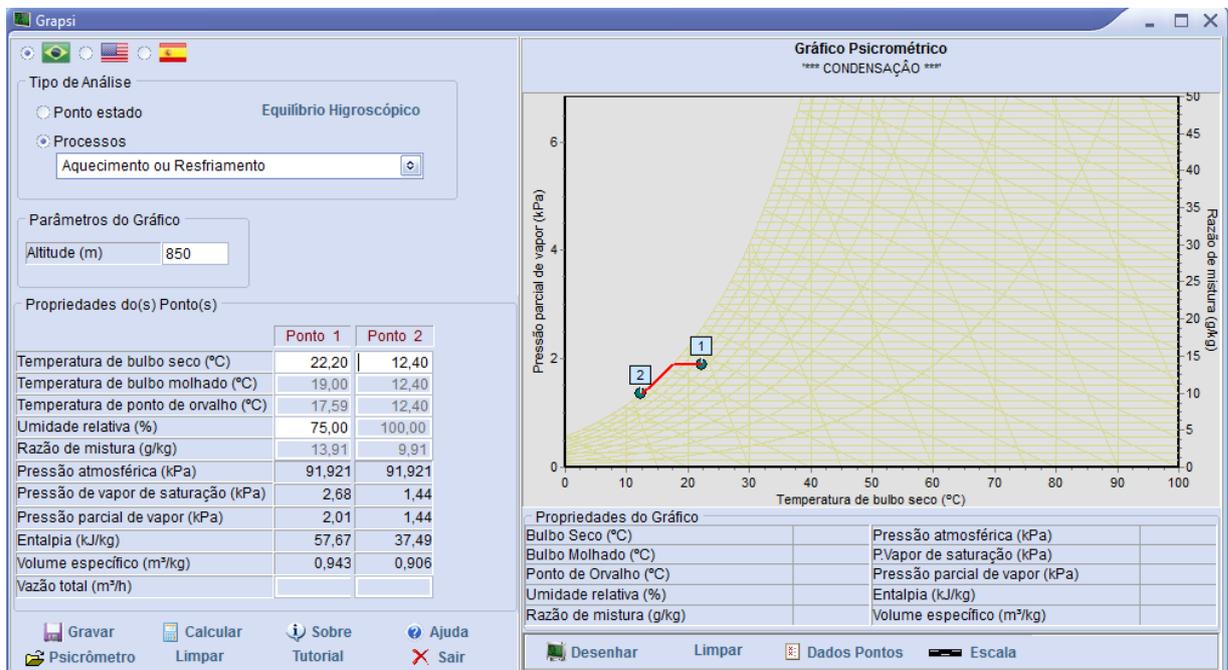


Figura 14 - Tela de informações obtidas pelo Grapsi.

Os testes podem ser divididos em três fases, a primeira fase corresponde a testes preliminares para conhecimento do comportamento do módulo e de suas exigências

ambientais, a segunda fase foi realizada com o protótipo em sua configuração final, para obtenção do condensado para análise e a terceira fase compreende os testes laboratoriais.

As duas fases iniciais foram realizadas no Laboratório Hidromecânico de Pequenas Centrais Hidrelétricas da Unifei (LHPCH/UNIFEI). A terceira fase foi realizada no Laboratório de Controle e Análise Físico-Químico (Laconfiq/UNIFEI) e Laboratório de Microbiologia/UNIFEI.

3.1 Primeira Fase

Como citado anteriormente, a primeira fase consistiu em testes preliminares para conhecimento comportamental do módulo termelétrico sob condições de condensação. Esta fase perdurou de 18 de setembro a 02 de outubro de 2012.

Foram utilizados dois módulos termelétricos Danvic, modelo HC-40-15.4, figura 15, um dissipador de calor em alumínio cuja base tem dimensão de 112 x 130 mm e 47 aletas com 65 mm de altura e 1 mm de espessura, com espaçamento entre aletas de 2mm, um pequeno ventilador com diâmetro de 130 mm e tensão de 220 V, uma fonte de corrente contínua modelo Instrutherm, modelo FA 3005, para acompanhamento da temperatura ambiente e umidade relativa foi utilizado um termohigrômetro Instrutherm, modelo HT600, para verificação da temperatura dos lados quente e frio do módulo utilizou-se um termômetro digital da Full Gauge modelo Penta III, a figura 16 ilustra a primeira bancada de testes, com um módulo em teste.

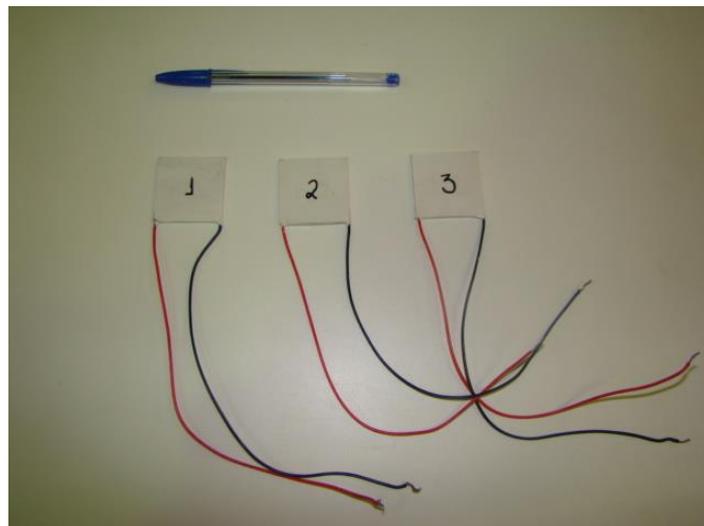


Figura 15 - Módulos termelétricos utilizados.



Figura 16 - Bancada montada para a primeira fase de testes.

Com esta configuração foi possível obter o consumo energético de um módulo e verificar a temperatura mais baixa que ele poderia alcançar. O teste procedeu variando-se a tensão de entrada a cada 1 V numa escala de 1 V a 10 V, a cada variação na tensão era aguardada a estabilização das temperaturas quente e fria do módulo e então fez-se a tomada dos dados, que foram: tensão (U), corrente (i), temperatura ambiente (T_{amb}), umidade relativa ambiente (UR) temperatura do lado quente do módulo (T_q) e temperatura do lado frio do módulo (T_f).

Porém a temperatura atingida não estava sendo suficiente para que ocorresse condensação, então foi testada uma nova configuração, com dois módulos sobrepostos. Outra melhoria foi a colocação de um pequeno dissipador de alumínio cujas dimensões são (20x100x70) mm, com 8 aletas com 16 mm de altura e com espessura média de 2,26 mm aparados por uma caixa de isopor cujas dimensões externas são (80x265x155) mm e dimensões internas de (65x220x100) mm, a nova configuração pode ser visualizada nas figuras 17, 18 e 19.



Figura 17 - Bancada de testes melhorada - 1ª fase.

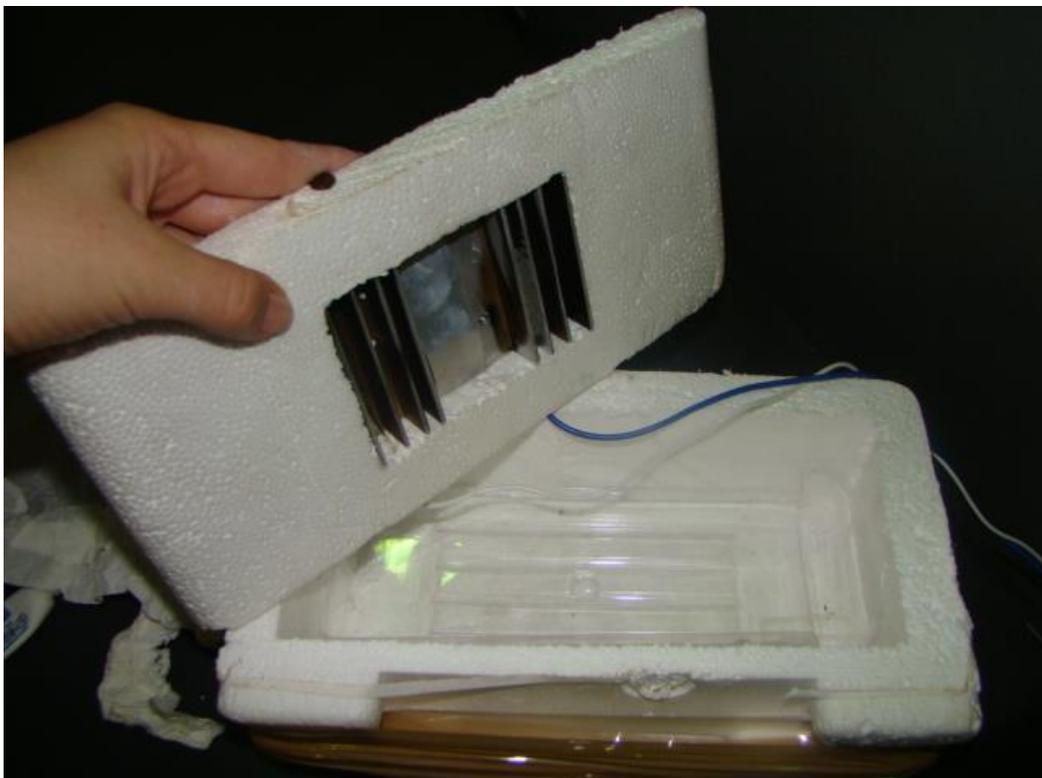


Figura 18 - Detalhe da caixa de isopor com o dissipador.

Ao utilizar dois módulos termelétricos a variação de tensão teve que ser limitada ao no máximo 5V, de modo que a corrente não ultrapassasse os 5A, que é a corrente máxima fornecida pela fonte utilizada. Desta forma, os testes foram realizados com os mesmos equipamentos utilizados anteriormente, porém a faixa de variação da tensão foi de 1 V a 5 V.

Nesta configuração foi possível atingir a temperatura de ponto de orvalho (Tpo) e passou-se a observar a formação de condensado no dissipador, como pode ser visualizado na figura 19.

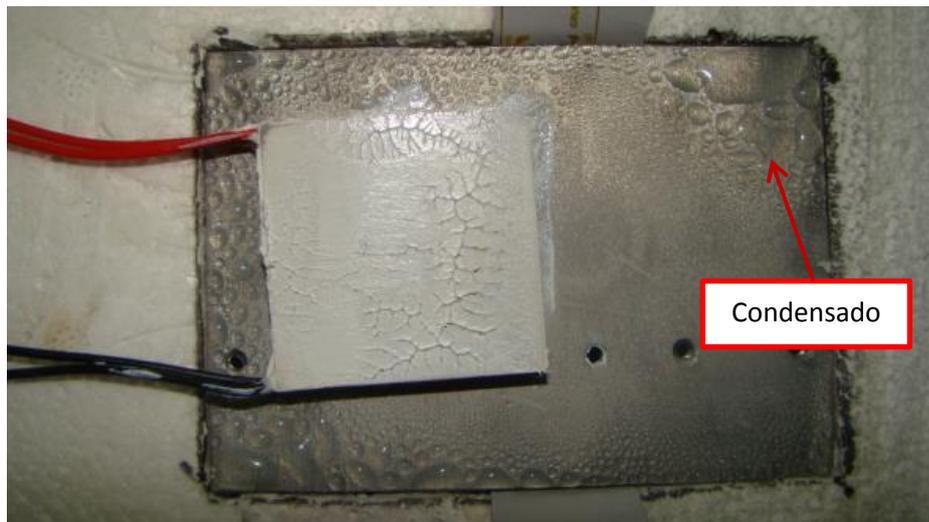


Figura 19 - Detalhe da formação de condensado no dissipador.

Com esta configuração foi possível constatar que com dois módulos atingia-se temperaturas menores, o que garantiria maiores chances de atingir a Tpo e ainda que havia a necessidade de utilizar um segundo dissipador, na parte fria.

A formação do condensado na parte superior do dissipador deve-se ao fato de este estar sendo resfriado pelo módulo termelétrico, e como sua dimensão é maior que a do módulo, havia contato direto com o ar, possibilitando a formação do orvalho. Esta constatação foi importante para melhorar a configuração final, com a utilização de um dissipador menor, com dimensões aproximadas a do módulo.

Outra importante constatação foi a de que o condensador apresentava formação de gotas apenas quando a umidade ambiente era superior a 60%, como raramente este requisito estava sendo atendido de forma natural durante o período de testes, o uso de um umidificador para que fosse possível dar continuidade aos procedimentos fez-se necessário.

3.2 Segunda Fase

Nesta fase o protótipo já possuía a configuração com as melhorias que foram observadas que seriam necessárias anteriormente. As figuras 20, 21, 22 e 23 demonstram a configuração final.

Para apoiar os equipamentos foi utilizada uma base que sustenta um módulo fotovoltaico, porém este não foi utilizado nos testes. O conjunto condensador foi mantido em local fechado, na parte inferior do suporte, a fim de manter um microclima com a umidade desejada.



Figura 20 - Vista em perspectiva do suporte que abrigou o protótipo.



Figura 21 - Vista do condensador no interior do abrigo.



Figura 22 - Detalhe da parte inferior do suporte.



Figura 23 - Detalhe dos equipamentos de medição e fontes sobre o suporte.

Os testes com esta configuração foram realizados de 02 de outubro de 2012 a 09 de janeiro de 2013, sendo que em cada dia de teste foi determinada uma umidade relativa média para os procedimentos. Este controle foi possível com a utilização de um umidificador de ar da marca Ambiente, modelo Master, 110V, com variação manual da vazão de névoa, desta forma, através da verificação com o termohigrômetro Instrutherm HT-600 ajustou-se a umidade desejada.

Todos os demais equipamentos que formam o condensador foram mantidos da fase anterior, com exceção do ventilador, ou cooler, que passou-se a usar um menor, cujo diâmetro da hélice é de 80 mm.

As medições variaram com as umidades relativas de 60%, 70%, 80% e 90% com o intuito de obter uma curva de produção de condensado para cada uma destas faixas de umidade. Também foi possível estimar a demanda de energia em função da área e tempo de funcionamento.

Ao longo do ensaio a medição do condensado foi realizada com auxílio de uma proveta da marca Diogolab de capacidade de $10\text{ml} \pm 0,2\text{ ml}$, figura 24.

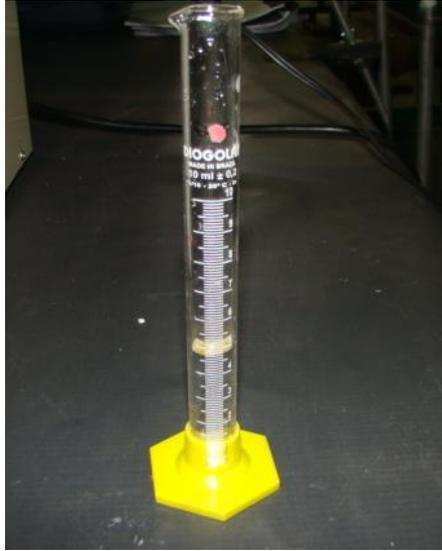


Figura 24 - Proveta utilizada para medição do volume condensado.

Os testes seguiram com a verificação da temperatura ambiente na parte superior da bancada, chamada temperatura externa (T_{ambe}) e umidade relativa externa (UR_e), temperatura ambiente no interior do suporte (T_{ambi}) e umidade relativa interna (UR_i), corrente elétrica (i), tensão (U), temperatura do lado frio (T_f), temperatura do lado quente (T_q), além do horário de verificação para que fosse possível posterior cálculo de energia consumida. A tabela 2 ilustra como os dados foram monitorados através da caderneta de campo.

Tabela 2 - Caderneta de campo.

Data:									
Início:				UR média do ensaio:					
Tambe	UR_e	Tambi	UR_i	i	U	T_f	T_q	h	Obs

Para organização dos dados compilados e confecção dos gráficos utilizou-se o software Excel 2010, Windows 7.

3.3 Terceira Fase

Esta fase consistiu nas análises laboratoriais do condensado, para tal seguiu-se os parâmetros sugeridos por Guedes e Lapolli (2012): pH, cor, turbidez, coliformes totais e termotolerantes, acrescido de condutividade sugerido por Henker (2012). Os resultados obtidos foram comparados ao padrão de potabilidade de água para o consumo humano

estabelecido pela Portaria nº 2914/2011 do Ministério da Saúde. Os procedimentos adotados para cada uma das análises obedeceram as determinações do Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (APHA, 2005).

As análises de pH, turbidez e condutividade foram realizadas no Laboratório de Química/Unifei no dia 30 de outubro de 2012, as análises de coliformes totais e termotolerantes no Laboratório de Microbiologia nos dias 06 e 20 de novembro de 2012 e a análise de cor foi realizada no laboratório da COPASA no dia 26 de novembro de 2012.

Para realização das análises de pH, turbidez e condutividade utilizou-se o condensado *in natura* e também uma amostra após filtração. Julgou-se a filtração necessária uma vez que a olho nu o condensado apresentava particulado branco em suspensão, provavelmente proveniente da pasta térmica utilizada no condensador. A filtração foi realizada utilizando uma membrana HA em ester de celulose com porosidade de 0,45 µm, 25 mm de diâmetro, branca e lisa, figura 25.

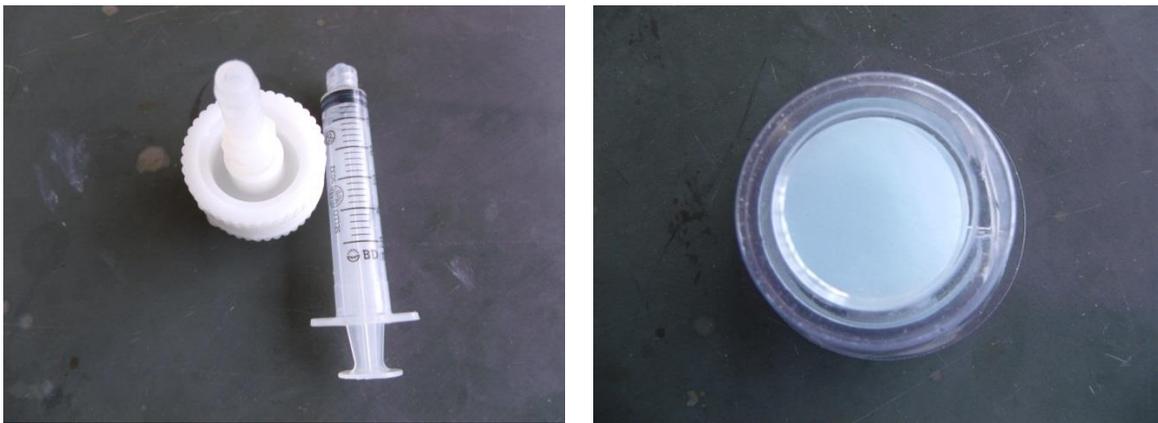


Figura 25 - (a) Seringa e suporte utilizado para filtração (b) detalhe da membrana filtrante.

3.3.1 pH

Para obtenção do pH foi utilizado pHmetro da marca Digimed, modelo DM20. Realizou-se a calibração do equipamento através da medição de soluções com pH conhecidos de 4,0 e 7,0 então foi colocado 40 ml do condensado em um béquer de vidro e procedeu-se a leitura, esta operação foi repetida com a amostra filtrada. A figura 26 ilustra o pHmetro utilizado.



Figura 26 - pHmetro.

3.3.2 Turbidez

A análise de turbidez foi realizada utilizando o turbidímetro da marca Orbeco-Hellige, modelo 966, figura 27. Primeiramente realizou-se a calibração do equipamento com as soluções padrões cuja turbidez é conhecida e fornecida pelo fabricante. Colocou-se 25 ml da amostra *in natura* no frasco próprio do equipamento e realizou a leitura, o mesmo procedimento foi realizado para a amostra filtrada.



Figura 27 - Turbidímetro.

3.3.3 Condutividade

A condutividade foi determinada com o auxílio de um condutivímetro da marca Tecnopon, modelo mCA150, figura 28. Realizou-se a calibração utilizando solução padrão de $146,9 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, procedeu a lavagem do sensor com água deionizada e em seguida colocou-se o sensor em contato com a amostra *in natura*, aguardou-se estabilização para tomada de dados, lavou-se novamente o sensor e realizou-se a leitura na amostra filtrada.



Figura 28 - Condutivímetro.

3.3.4 Cor

A análise de cor foi realizada no laboratório de análises físico-químicas da COPASA e obedeceu a metodologia usual utilizada para certificação da água distribuída pela companhia.

Para medição quantitativa da cor foi utilizada a metodologia visual, ou seja, por meio de equipamento calibrado ao padrão foi realizada a comparação visual entre o condensado e uma amostra padronizada, para tal utilizou-se um colorímetro da marca PoliControl, modelo NQ200, figura 29.

De acordo com as especificações do fabricante o equipamento foi desenvolvido utilizando a metodologia estabelecida pelo Standard Methods, Platina e Cobalto e também atende as recomendações da CETESB e AWWA. (POLICONTROL, 2013).

Colocou-se 25 ml da amostra *in natura* no tubete próprio do equipamento e realizou a leitura variando-se apenas o padrão comparativo, até que amostra e padrão

correspondessem a mesma coloração. Após ter identificado a coloração mais adequada o técnico do próprio laboratório fez a confirmação da leitura.



Figura 29 – (a) Realização da identificação de cor. (b) Colorímetro com a identificação do resultado.

3.3.5 Coliformes

Para a determinação de coliformes existem vários métodos, por exemplo, o método dos tubos múltiplos, o meio de Ágar Vermelho Violeta Bile Lactose (VRBA), o Petrifilm®, da 3M e o Colilert®, desenvolvido pelo laboratório americano Idexx.

De acordo com Chao et al (2003), os resultados do sistema Colilert® são consistentemente semelhantes aos dos métodos tradicionais de determinação de padrão de água potável, com uma precisão de 100%.

De acordo com disposições do fabricante, a metodologia é aprovada pelas organizações norte-americanas *Environmental Protection Agency (EPA)*, *The Scientific Association Dedicated to Analytical Excellence (AOAC)*, *International Bottled Water Association (IBWA)*, entre outras organizações internacionais e aceito pelos Métodos Padrão para Exames de Água e Esgoto (*Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*).

Como explica o laboratório Idexx (2002), o produto funciona da seguinte maneira: à medida que os coliformes se reproduzem no substrato de Colilert®, eles utilizam β -galactosidase, presente no composto e metabolizam o indicador de nutriente ONPG e o alteram de incolor para amarelo. O *E. coli* utiliza β -glucuronidase para metabolizar MUG e criar fluorescência. E assim é possível realizar sua contagem. Este processo de metabolismo é ilustrado na figura 30.

Como os outros coliformes não contam com estas enzimas, eles não podem se reproduzir e interferir nos resultados. Os poucos não coliformes que têm estas enzimas são seletivamente suprimidos pela matriz especificamente formulada do Colilert®. Esta abordagem diminui a incidência de falso-positivos e falso-negativos.

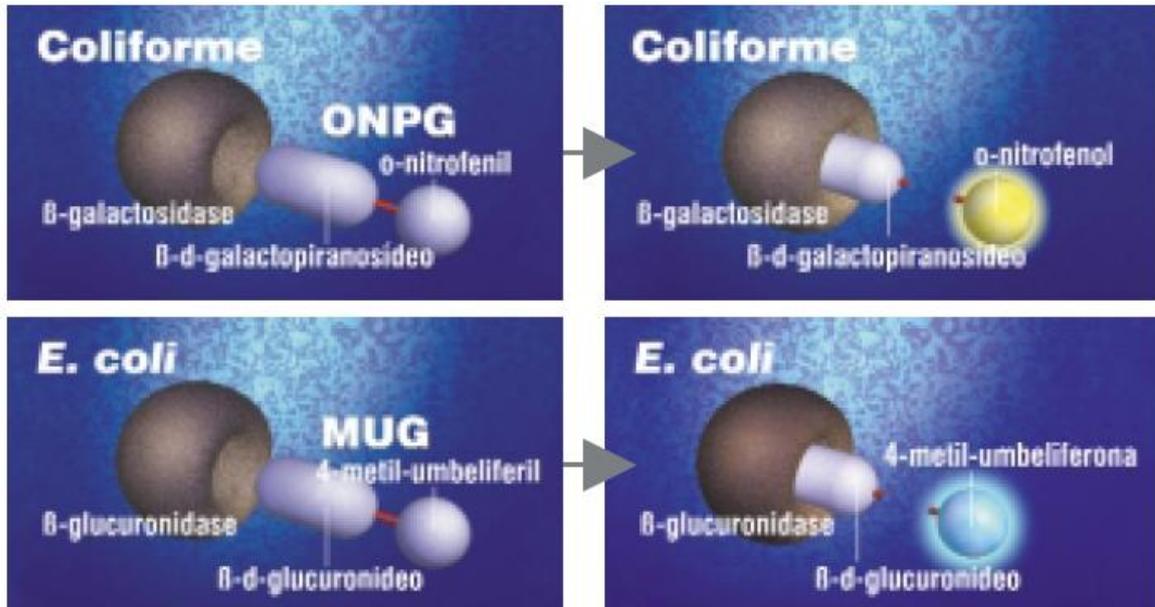


Figura 30 - Metabolismo dos coliformes no substrato de Colilert.
Fonte: Idexx, 2002.

3.3.5.1 Procedimento laboratorial

A lâmpada de UV germicida da capela de procedimentos foi ligada 20 minutos antes de se iniciar o manuseio da amostra em seu interior. Na proveta foi medido 100 ml do condensado e em seguida foi transferido ao Elemeyer. Adicionou-se o substrato de Colilert®, agitou-se para sua diluição. A mistura foi colocada na cartela, que foi lacrada em equipamento específico e levada à estufa a 35 °C por 24 h, o procedimento está sequencialmente apresentado na figura 31. Passado esse período, se houver constatação de coliformes totais deve-se fazer a contagem, que correspondem aos quadros amarelos da cartela, em seguida sob luminescência UV deve-se verificar a presença de quadros fluorescentes, que correspondem aos coliformes termotolerantes.



Figura 31 - Procedimento experimental para análise de coliformes (a) cápsula de Colilert®, (b) transferência do substrato ao Erlenmeyer, (c) transferência da amostra contida na proveta, (d) diluição através de movimento circular, (e) transferência da amostra para a cartela, (f) cartela contendo a amostra sendo lacrada e (g) estufa de cultura onde a amostra permaneceu por 24h.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos em cada uma das fases metodológicas apresentadas anteriormente mantendo-se a mesma sequência e ao final será apresentado o dimensionamento do sistema fotovoltaico proposto.

4.1 Primeira Fase

Esta fase consistiu em testes preliminares para conhecimento do comportamento do módulo e suas exigências ambientais, como por exemplo, umidade ambiente necessária e relação entre corrente elétrica e temperaturas do módulo.

Variando-se a tensão de alimentação foi possível registrar o comportamento da corrente elétrica, com os dados foi possível constatar a seguinte correlação entre tensão e corrente, figura 32. A curva em azul representa a situação utilizando um módulo termelétrico, a curva em vermelho representa a situação utilizando dois módulos termelétricos.

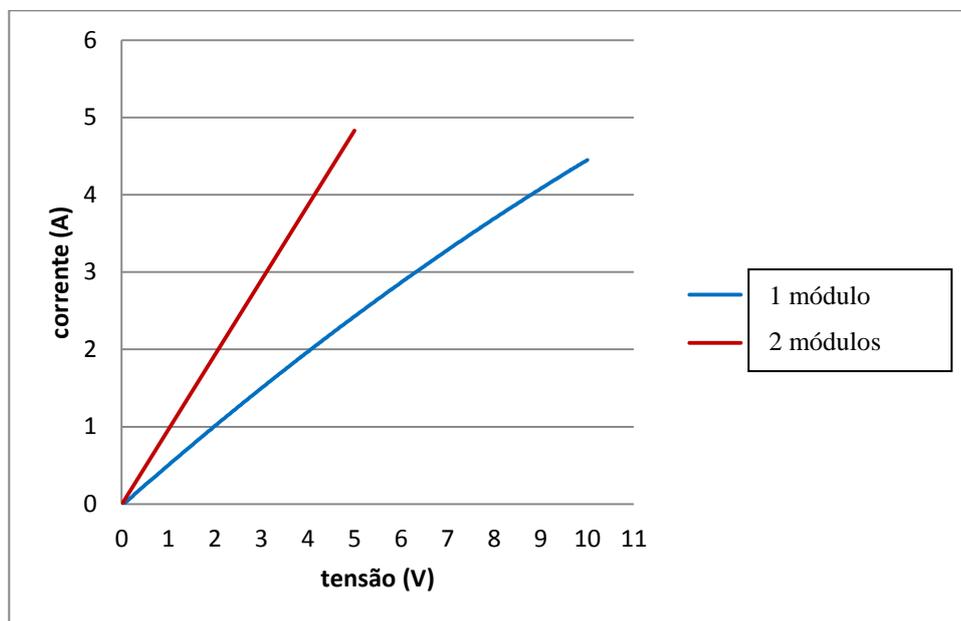


Figura 32 - Gráfico da corrente de saída dos módulos termelétricos em função da tensão.

Ao ajustar a curva de tendência para a situação utilizando um módulo observou-se que a regressão de segundo grau apresentou o maior valor de R^2 , quanto mais próximo de 1 for o valor de R^2 melhor é a equação ajustada. Para a situação com dois módulos, a melhor equação foi uma regressão de primeiro grau.

Na situação com um módulo termelétrico, obteve-se a equação 25:

$$I = 0,968U - 0,009 \quad (25)$$

$$R^2 = 0,995$$

Onde I é a corrente (A) e U a tensão (V), ao realizar o teste com dois módulos, obteve-se a equação 26:

$$I = -0,008U^2 + 0,531U - 0,02 \quad (26)$$

$$R^2 = 0,992$$

Com os resultados obtidos graficamente é possível inferir que a resistência elétrica de cada módulo termelétrico é de aproximadamente $0,5 \Omega$ e por essa razão na situação onde foram utilizados dois módulos ligados eletricamente em paralelo a resistência total é próxima a 1Ω , por essa razão a curva de tendência se aproxima de uma reta com variação de 1:1.

Com os resultados obtidos foi possível constatar que a temperatura do lado frio do módulo diminui com o aumento da corrente elétrica, conseqüentemente da tensão, conforme ilustra a figura 33. Esta constatação foi importante, pois permite o ajuste da T_f até que esta atinja a T_{po} . Como a T_f depende da temperatura em que se encontra o ambiente, a T_{amb} foi subtraída para que fosse possível observar o quanto resfriou em relação ao ambiente.

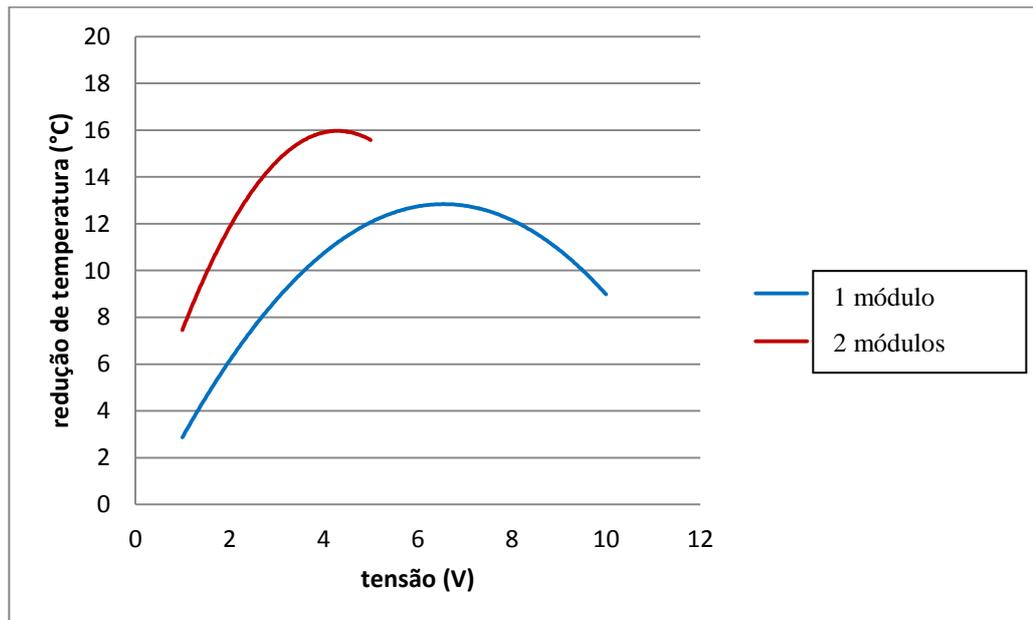


Figura 33 - Gráfico do resfriamento obtido em função da tensão.

Através das curvas representadas graficamente, obteve-se suas respectivas equações para as situações com um e dois módulos termelétricos. A equação de comportamento para um módulo é dada pela equação 27:

$$\begin{aligned}\Delta T &= -0,324U^2 + 4,241U + 1,05 \\ R^2 &= 0,6633\end{aligned}\tag{27}$$

Onde:

ΔT = diferença de temperatura ($T_{amb} - T_f$).

A situação com dois módulos é representada pela equação 28:

$$\begin{aligned}\Delta T &= -0,783U^2 + 6,731U + 1,509 \\ R^2 &= 0,8082\end{aligned}\tag{28}$$

Foi possível constatar também que a condensação não ocorria quando a umidade relativa do ar era inferior a 60 %. Por essa razão foi necessária a utilização do umidificador nos próximos ensaios para que os procedimentos pudessem ocorrer independentes da umidade relativa naturalmente obtida no dia.

4.2 Segunda Fase

A segunda fase foi realizada com o protótipo em sua configuração final e o condensado obtido foi reservado para realização das análises laboratoriais. Nesta fase foi possível quantificar o volume produzido em função do tempo, ou seja, a vazão.

Como o volume de água disponível para condensação depende diretamente da quantidade de água disponível na atmosfera, o volume de condensado obtido depende da umidade relativa do ar no momento do ensaio, por essa razão foram determinadas faixas de umidades relativas para cada uma das condições estudadas, conforme figura 34.

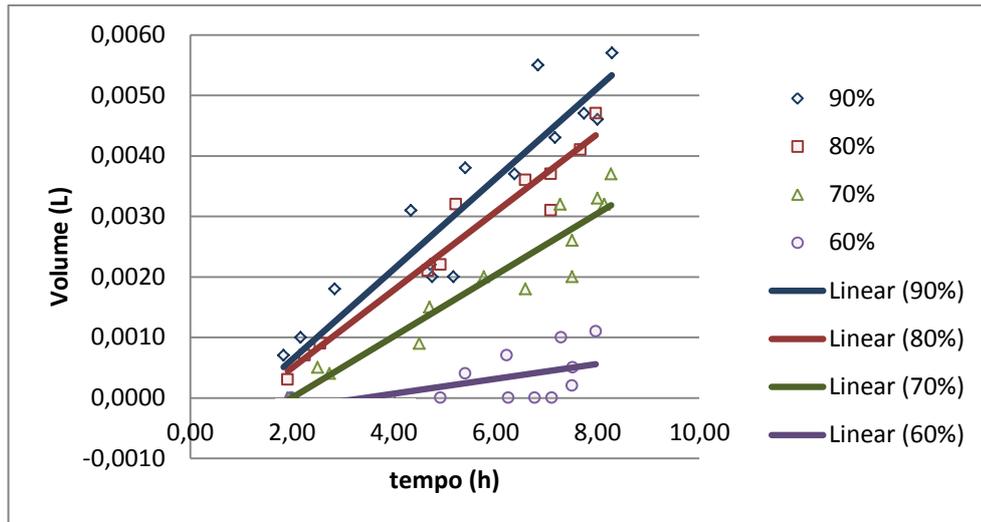


Figura 34 - Gráfico do volume condensado em função do tempo nas diferentes umidades.

Foram estabelecidas 4 faixas, 60%, 70%, 80% e 90%, cada uma teve sua equação de vazão ajustada como pode-se observar nas equações 29, 30, 31 e 32.

A equação 29 indica a vazão para umidade relativa média de 60%:

$$L = 0,0001h - 0,0004 \quad (29)$$

$$R^2 = 0,2698$$

Onde:

L = volume produzido em litros

h = tempo transcorrido em horas

O R^2 obtido pode ser considerado baixo dentro da escala entre zero e um, isto ocorreu devido a grande dispersão dos dados obtidos para esta faixa de umidade.

A equação 30 indica a vazão para umidade relativa média de 70%:

$$L = 0,0005h - 0,001 \quad (30)$$

$$R^2 = 0,9013$$

A equação 31 indica a vazão para umidade relativa média de 80%:

$$L = 0,0006h - 0,0008 \quad (31)$$

$$R^2 = 0,9503$$

A equação 32 indica a vazão para umidade relativa média de 90%:

$$L = 0,0007h - 0,0009$$

$$R^2 = 0,8756$$

(32)

Outra constatação importante a partir dos dados obtidos no teste com o protótipo é que a energia requerida para o resfriamento do módulo até atingir a Tpo diminui com o aumento da umidade ambiente, isso porque o aumento da umidade está diretamente relacionado à saturação desta parcela de ar, conforme ilustra a figura 35.

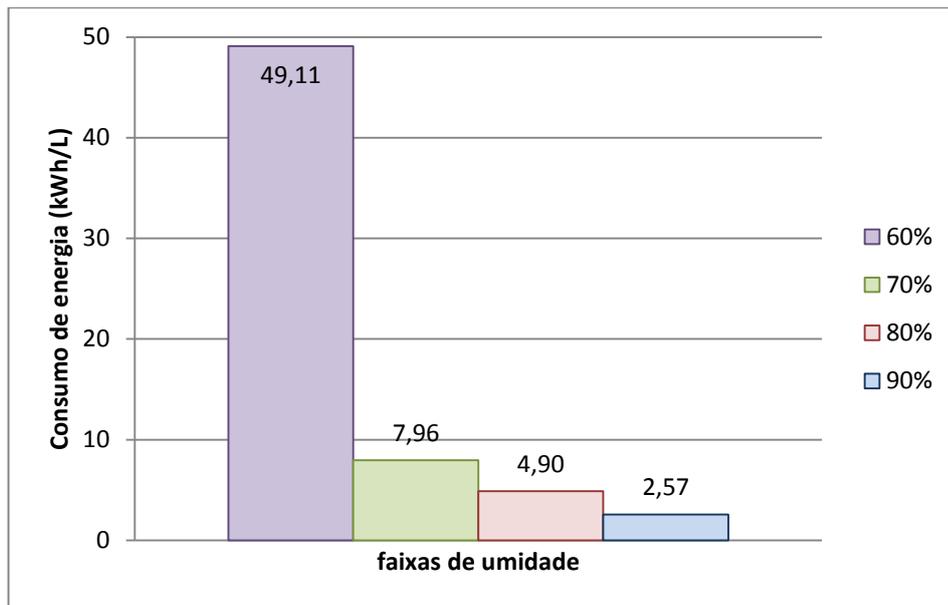


Figura 35 - Gráfico do consumo de energia em função das diferentes umidades.

O que é explicado pelo fato de que quanto maior a umidade, menor a diferença de temperatura que o módulo termelétrico deve atingir para alcançar a Tpo, conseqüentemente a tensão e corrente requeridos são menores, resultando em menor consumo.

Como o volume bruto obtido com o protótipo foi baixo, sendo em média algo em torno de 2,5 ml em 8 h de funcionamento, julgou-se interessante realizar algumas extrapolações através de simples multiplicação, como, por exemplo, estimar a média de produção por hora considerando 1 m² de área de condensação e o consumo de energia para esta condição, como ilustram os gráficos das figuras 36 e 37.

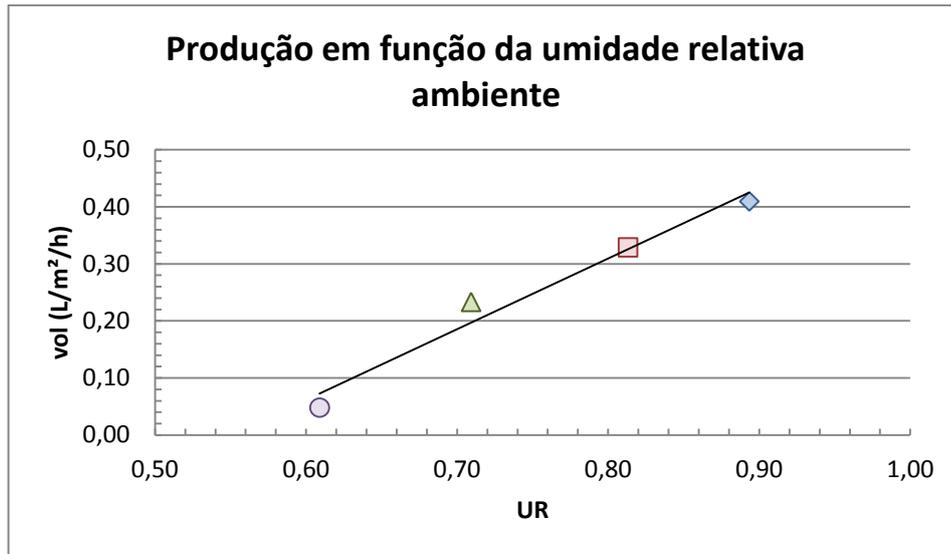


Figura 36 - Gráfico do volume produzido considerando 1m² de área de condensação em função da umidade relativa.

A partir da reta encontrada graficamente, foi possível determinar a equação de produção de condensado em litros, em função da umidade relativa do ambiente, conforme equação 33:

$$Q = 1,2388 UR - 0,6818 \quad (33)$$

$$R^2 = 0,9698$$

Onde:

Q = vazão de produção (L.m⁻².h⁻¹)

UR = umidade relativa do ar

Da mesma forma, foi possível determinar uma equação geral para estimar o consumo energético nas diferentes umidades, para tal, primeiramente esboçou-se o gráfico exposto pela figura 37.

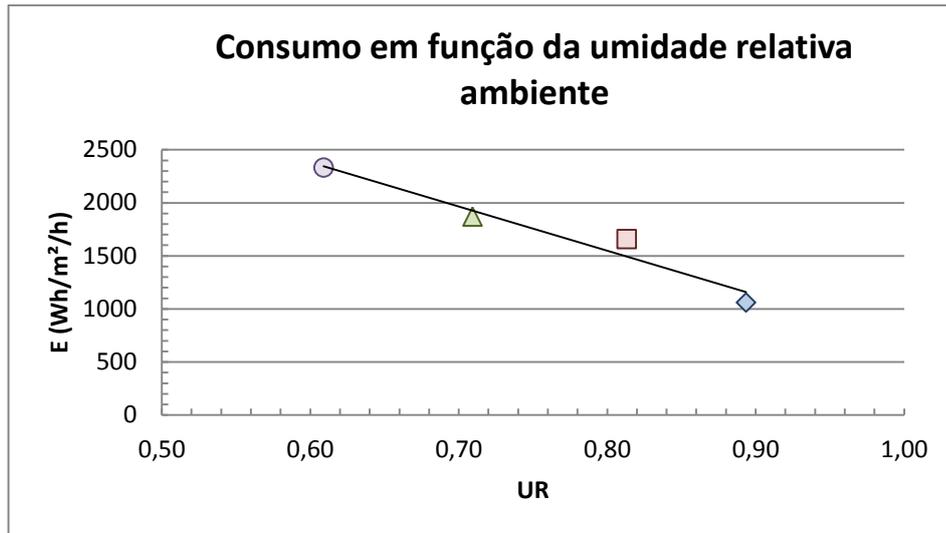


Figura 37 - Gráfico do consumo energético considerando 1m² de área de condensação em função da umidade relativa.

O consumo energético é dado pela equação 34:

$$E = -4161,4 UR + 4878 \quad (34)$$

$$R^2 = 0,9519$$

Tabela 3 - Comparação de produção e consumo entre trabalhos já desenvolvidos.

Equipamento	Produção de água [L.m ⁻² .h ⁻¹]	Consumo de energia [kWh]	Especificações das condições ambientais	Fonte
Condensador de vapor atmosférico	0,26	5,9	UR média de 75% Velocidade do ar não dimensionado.	*Oliveira (2012).
Condensador de vapor atmosférico	2,60	7,92	UR de 80% Velocidade do ar próximo de 7 km.h ⁻¹	Henker (2012).
Condensador de vapor atmosférico	1,39	12,51	UR na faixa dos 60% Velocidade do ar não especificado	Henker (2012).
Destilador convencional	1,0 L.h ⁻¹	Entre 0,7 ¹ e 3,3 ² .	Consome entre 15 e 48 L de água potável para produção de 1L de água destilada	¹ Tavares et al. (2004). ² Martelli (2008).
Bidestilador	2 a 8 L.h ⁻¹	Entre 1,4 ³ e 6,6 ⁴	Consumo de água de aproximadamente 20:1	³ Quimis (2012) ⁴ New Química (2012)
Osmose Reversa	42 a 68 L.h ⁻¹	0,2	Funciona basicamente por pressão de conduto forçado	Martelli (2008)

*Oliveira (2012), autora do trabalho.

Conforme pode-se observar nos dados expostos pela tabela 3, o trabalho desenvolvido por Henker (2012), que foi o único a utilizar a mesma tecnologia do presente estudo, e portanto, o único que pode ser comparado diretamente a este trabalho, apresentou melhores resultados de produção de condensado.

Uma hipótese levantada para explicar o fato é que o sistema desenvolvido por Henker (2012) continha uma ventoinha que auxiliava a troca de ar no interior do protótipo, com controle de vazão, o que também explica o maior consumo energético. Contudo a produção obtida no presente estudo de $0,26 \text{ L.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$ é bastante otimista, já que representa a produção aproximada de um copo de água (250 ml) em condições médias de operação.

Dentre todos os equipamentos analisados, o que apresentou melhor rendimento, com o menor consumo e a maior produção é o equipamento de osmose reversa. Ainda a favor deste equipamento, sua qualidade tem atendido de maneira satisfatória os padrões e seu produto é determinado como água pura, porém não satisfaz as necessidades humanas de consumo, uma vez que a água para dessedentação deve possuir sais minerais.

4.2.1 Rendimento do equipamento

Considera-se rendimento (η) a razão entre a energia consumida pelo equipamento e a energia por ele transformada. No caso em estudo, a energia consumida corresponde a energia elétrica consumida, e a energia transformada corresponde a entalpia, ou seja, a energia necessária para mudança do estado físico da água, de vapor para líquida, em certas condições de temperatura, pressão e umidade.

A entalpia considerada nos cálculos foi obtida através do *software* Grapsi e foi calculada para cada um dos ensaios realizados. Durante a realização dos ensaios a pressão foi constante, já que todos os testes foram realizados no mesmo local, porém a temperatura e umidade variaram, e foram analisadas de acordo com as faixas de umidade relativa.

Desta forma, é possível demonstrar graficamente que na medida em que a umidade relativa aumenta, a eficiência também aumenta, isso porque há maior volume de condensado e menor consumo de energia elétrica, uma vez que quanto mais úmido mais próxima a T_{po} se encontra da T_{amb} , requisitando menos energia para arrefecimento. Esta constatação pode ser verificada na figura 38, onde é constatada a relação expressa pela equação 35.

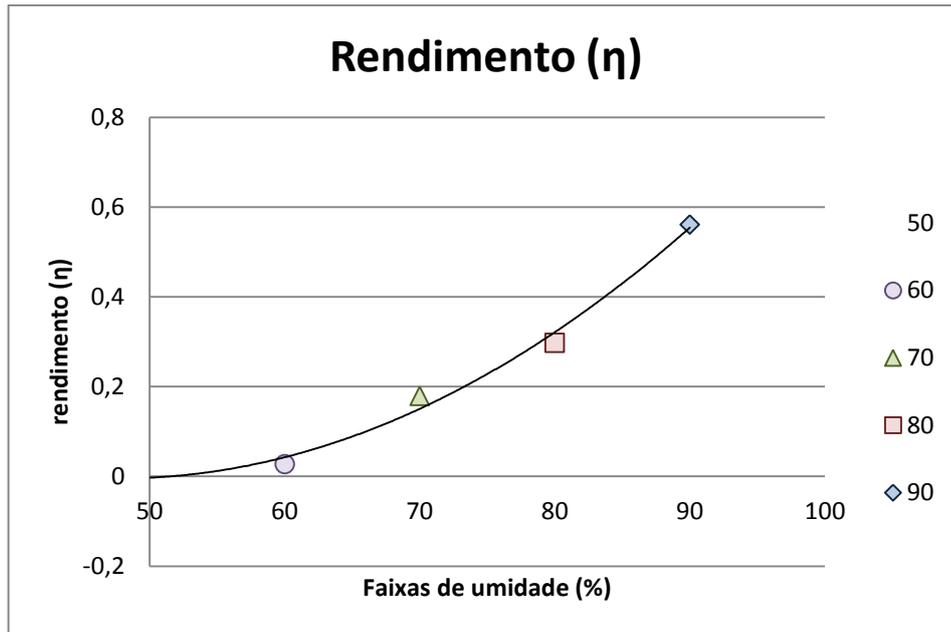


Figura 38 - Gráfico do rendimento nas diferentes faixas de umidade analisadas.

Portanto o rendimento (η) é expresso pela equação 35:

$$\eta = 0,0003 \text{ UR}\%^2 - 0,03 \text{ UR}\% + 0,709 \quad (35)$$

$$R^2 = 0,9921$$

4.3 Custo do Condensado

4.3.1 Custo do condensado utilizando energia elétrica convencional

Da maneira como foi testado, utilizando a energia elétrica convencional fornecida pela concessionária local CEMIG, o custo do condensado obtido corresponde a energia gasta com as pastilhas e com o cooler.

No protótipo foram utilizadas duas pastilhas termelétricas e um cooler, porém o cooler atenderia uma área correspondente a 4 módulos, por essa razão e afim de não ocorrer no superdimensionamento, a potência o cooler foi dividida por 4. Através dos testes experimentais foi possível projetar algumas especulações para estimar o custo como demonstrado pela tabela 4.

Tabela 4 - Estimativa do custo do condensado.

Equipamento	Potência (W)	Horas de funcionamento para produzir 1 L	Energia (Wh)	Tarifa (R\$.kWh ⁻¹)	Custo (R\$)
Módulo Termelétrico	2 x 2,6*	8296,87	43143,72	0,40423	17,44
Cooler	26,46 / 4	8296,87	54883,80	0,40423	22,19
Custo final de 1 L					39,63

*Potência média apresentada pelos módulos durante os testes.

O valor da tarifa considerado corresponde a tarifa paga pelo consumidor do Tipo B1 – Residencial, **sem impostos**, de acordo com a tabela fornecida pela própria CEMIG e disposta na figura 39.

De acordo com os resultados experimentais gasta-se aproximadamente 43 kWh com os módulos termelétricos mais 55 kWh com o *cooler* para produzir 1 L de condensado, desta forma, considerando o custo de R\$ 0,40423 o kWh praticado pela CEMIG, sem considerar os impostos, foi possível estimar que cada litro custe em média o valor aproximado de R\$ 39,63.

Tarifa	(R\$/kWh)
B1 - RESIDENCIAL:	R\$ 0,40423
B2 - RURAL	R\$ 0,23654
B3 - DEMAIS CLASSES	R\$ 0,37738
B4 - ILUMINAÇÃO PÚBLICA - B4a - Rede de Distribuição	R\$ 0,19445
B4 - ILUMINAÇÃO PÚBLICA - B4b - Bulbo da Lâmpada	R\$ 0,21339

* Tarifas sem impostos (ICMS, PIS/PASEP, COFINS e Contribuição de Iluminação Pública)

Fonte: Resolução Homologatória Aneel 1.269, de 03/04/2012

Figura 39 - Tabela de tarifária da CEMIG.

Fonte: CEMIG, 2012.

Pode-se observar que a maior parte do custo é formado pelo gasto energético do *cooler*, peça fundamental para o funcionamento do condensador, porém o equipamento pode estar superdimensionado para o sistema em teste, mesmo considerando $\frac{1}{4}$ de sua potência, fato que desperta a atenção para o desenvolvimento de trabalhos futuros sobre o melhor dimensionamento deste dispositivo.

4.4 Dimensionamento do Sistema Fotovoltaico

Neste item serão seguidos os cálculos apresentados no item 2.7.1 para duas configurações distintas, a primeira acompanha os equipamentos e requisitos observados no protótipo de bancada, o segundo consiste em extrapolação considerando um conjunto cuja área de condensação possui 1m².

4.4.1 Sistema com dois módulos termelétricos

O sistema dimensionado neste item corresponde ao conjunto montado para realização dos testes. O primeiro passo foi a identificação as cargas que compõem o sistema, demonstrado pela tabela 5. A potência considerada para o cooler, apesar de superdimensionada, como explicada anteriormente, foi considerada, pois para o funcionamento do conjunto será esta a demanda requisitada pelo conjunto fotovoltaico.

Tabela 5 - Cargas e consumo

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Tempo de utilização em um dia (h)	Energia consumida (Wh)
Módulos termelétricos	2	2,6*	8	41,60
Cooler	1	26,46	8	211,68
TOTAL				253,28

*Potência média apresentada pelos módulos durante os testes.

Identificou-se a demanda de 253,28 Wh/dia.

Não há necessidade de inversor, uma vez que os equipamentos utilizados funcionam em corrente contínua.

Como o sistema apresenta rendimento aproximado de 89%, a energia real a ser produzida é expressa pela equação 36, calculada de acordo com a equação 11:

$$Er = \frac{253,28}{0,89} = 284,60 \text{ Wh/dia} \quad (36)$$

Para o dimensionamento do banco de baterias foi considerado 2 dias de autonomia (N) e a tensão nominal do sistema (Vi) igual a 12V, então calculou-se a capacidade útil (Cu) de acordo com a equação 37:

$$Cu = \frac{284,60 \times 2}{12} = 47,43 \text{ Ah} \quad (37)$$

Porém, nenhuma bateria deve ser descarregada em 100%, admitindo uma profundidade de descarga (Pd) razoável da ordem de 60%. Desta forma, a capacidade real (Cr) que o banco de baterias deve apresentar é de:

$$Cr = \frac{47,43}{0,6} = 79,05 \text{ Ah} \quad (38)$$

Até o momento foi possível verificar que o sistema requisita uma bateria que forneça no mínimo 79,05 Ah e tensão de 12V.

Dando continuidade ao cálculo para identificar as características do módulo fotovoltaico, deve-se calcular a energia que o módulo deverá produzir, através da fórmula 39:

$$Ep = \frac{284,60}{0,9} = 316,22 \text{ Wh/dia} \quad (39)$$

A corrente fornecida pelo painel deverá ser, de acordo com a equação 40:

$$Ip = \frac{316,22}{12} = 26,35 \text{ Ah} \quad (40)$$

O módulo escolhido para o dimensionamento é o Suntech 135W, cujas especificações estão no Anexo B. O módulo escolhido apresenta perda de potência da ordem de 0,47% a cada °C. Como o experimento foi utilizado no município de Itajubá / MG, verificou-se os dados climatológicos deste município junto ao INMET e constatou-se que a média da temperatura máxima para a localidade em estudo é de 27 °C, como demonstra a figura 40.

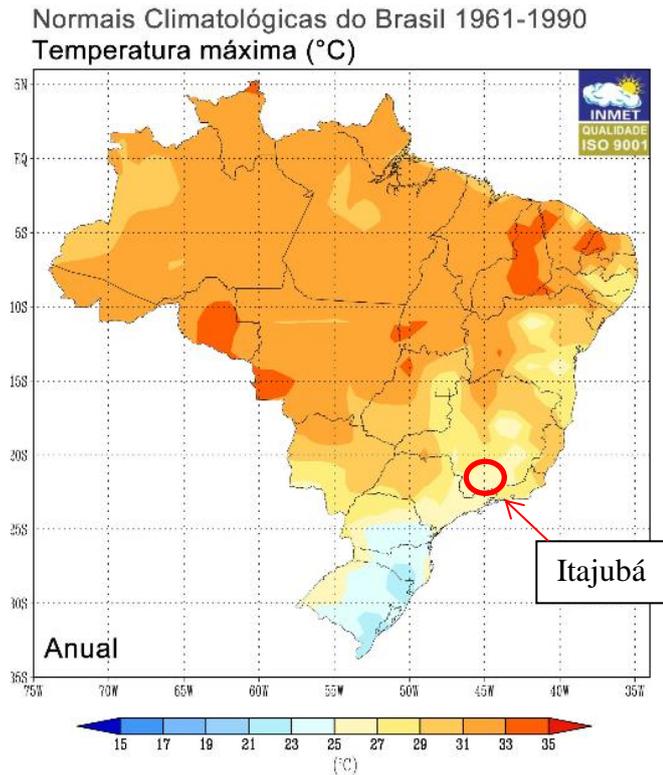


Figura 40 - Diagrama da temperatura máxima média.
Fonte: INMET, 2012.

O cálculo da perda pela temperatura é dado pela equação 41:

$$Perda\ ^\circ C = 27 * 0,47 = 12,69\% \quad (41)$$

Portanto a máxima potência que o módulo selecionado irá fornecer é 87,31% de sua potência nominal, que é de 135W, ou seja, a máxima potência a ser obtida em seu funcionamento será de 117,87W.

Itajubá está localizada na latitude 22°, então a inclinação ideal para que não ocorra perdas maiores deverá ser, de acordo com a equação 42:

$$\alpha = 22 + \frac{22}{4} = 27,5^\circ \quad (42)$$

O módulo selecionado para o dimensionamento não necessita ser ligado em série, já que sua tensão nominal é de 17,5 V, suficiente para atender os 12 V do sistema, porém, para atender a corrente de 26,35 Ah, é necessário calcular através da equação 18 a quantidade necessária de baterias e para aplicá-la deve-se conhecer a HSP local, fornecido pelo CRESESB.

No site do CRESESB, não há dados especificamente de Itajubá, mas há do município de Passa Quatro, que encontra-se na mesma região, Sul de Minas Gerais, cujos dados estão apresentados na tabela 6.

Tabela 6 – Dados de Radiação do Município de Passa Quatro – MG.

Município: Passa Quatro - MG													
Ângulo	Inclinação	Jan	Fev	Mar	Abr	Mai	Jun	Jul	Ago	Set	Out	Nov	Dez
Plano Horizontal	0° N	5,19	5,25	5,22	4,47	4,11	3,53	3,97	4,58	4,33	5,17	5,61	5,39
Ângulo igual a Latitude	22 °N	4,73	5,02	5,37	5,04	5,10	4,54	5,07	5,40	4,58	5,05	5,16	4,85
Maior média anual	22 °N	4,73	5,02	5,37	5,04	5,10	4,54	5,07	5,40	4,58	5,05	5,16	4,85
Maior Mínimo mensal	24 °N	4,67	4,98	5,36	5,06	5,16	4,61	5,14	5,45	4,58	5,02	5,10	4,77

Fonte: baseado em CRESESB, 2012.

De acordo com a tabela 6, o valor de radiação local menos favorável ocorre em junho, 3,53 kWh.m⁻².dia⁻¹ ao considerar a inclinação indicada deve se fazer a compensação, de acordo com a tabela 7.

Tabela 7 - Tabela de correção da HSP.

	jan	fev	mar	abr	maio	jun	jul	ago	set	out	nov	dez
HSP	5,19	5,25	5,22	4,47	4,11	3,53	3,97	4,58	4,33	5,17	5,61	5,39
k	0,91	0,97	1,05	1,14	1,2	1,2	1,16	1,11	1,04	0,97	0,91	0,89
HSPk	4,72	5,09	5,48	5,06	4,93	4,24	4,61	5,08	4,50	5,01	5,11	4,80

Fonte: baseado em BLUESOL, 2012.

O menor valor de HSPk deve ser utilizado na fórmula 18 apresentada anteriormente. De acordo com a tabela 7 este valor deve ser o correspondente ao mês de junho, que apesar da compensação pela inclinação continua sendo o valor mais baixo, assim o número de módulos ligados em paralelo, deve ser, de acordo com a equação 43.

$$mp = \frac{26,35}{0,8731 \times 7,71 \times 4,24} = 0,923 \quad (43)$$

Desta forma, pode-se verificar que um módulo é suficiente para atender o sistema. Por fim, para determinar qual o controlador de carga a ser utilizado, aplicou-se a equação 19, cujo resultado é expresso na equação 44:

$$I_c = 8,2 \times 1 \times 1,25 = 10,25 \text{ A} \quad (44)$$

O controlador sugerido para a aplicação analisada é o modelo Sun Saver da Morningstar® que suporta até 20 A cujas especificações encontram-se no Anexo C.

4.4.2 Dimensionamento do sistema fotovoltaico para atender 1 m² de área de condensação

O dimensionado neste item corresponde a extrapolação dos dados e supõe um sistema com 1 m² de área de condensação. Considerando que um único módulo possui $1,6 \cdot 10^{-3} \text{ m}^2$, para compor 1m² são necessários 625 módulos. No total serão necessários 1250 módulos, já que estes devem ser dispostos em duas camadas.

Para quantificar o número necessário de coolers, considerou-se que um cooler cobre a área de 4 módulos, desta forma serão necessários aproximadamente 156 coolers para cobrir 1m² de módulos.

A tabela 8 contem as cargas e os respectivos consumos para esta configuração.

Tabela 8 - Cargas e consumo

Equipamento	Quantidade	Potência (W)	Tempo de utilização em um dia (h)	Energia consumida (Wh)
Módulos termelétricos	1250	2,6*	8	26000,00
Cooler	156	26,5	8	33072,00
TOTAL				59072,00

*Potência média apresentada pelos módulos durante os testes.

Identificou-se a demanda de 59.072,00 Wh/dia.

Não há necessidade de inversor, uma vez que os equipamentos utilizados funcionam em corrente contínua.

Como o sistema fotovoltaico apresenta rendimento aproximado de 89%, a energia real a ser produzida deverá ser:

$$E_r = \frac{59072}{0,89} = 66373,03 \text{ Wh/dia} \quad (45)$$

Para o dimensionamento do banco de baterias foi considerado N igual a 2, ou seja, dois dias de autonomia, e a tensão nominal do sistema (V_i) igual a 12V, então calculou-se a capacidade útil (C_u) de acordo com a equação 46:

$$C_u = \frac{66373,03 \times 2}{12} = 11062,17 \text{ Ah} \quad (46)$$

Porém, nenhuma bateria deve ser descarregada em 100%, admitindo uma profundidade de descarga (P_d) razoável da ordem de 60%. Desta forma, a capacidade real (C_r) que o banco de baterias deve apresentar é de:

$$C_r = \frac{11062,17}{0,6} = 18436,95 \text{ Ah} \quad (47)$$

Para obtenção do número de baterias que deverá compor o banco, dividiu-se a corrente total encontrada acima pela capacidade de uma bateria, 165 Ah, encontrando-se o valor de 111,74 baterias, na prática, serão necessárias 112 baterias capacidade de 165 Ah ligadas em paralelo com tensão nominal de 12V para alimentar o sistema.

Dando continuidade ao cálculo para identificar as características do módulo fotovoltaico, deve-se calcular a energia que o módulo deverá produzir, através da equação 48:

$$E_p = \frac{66373,03}{0,9} = 73747,81 \text{ Wh/dia} \quad (48)$$

A corrente fornecida pelo painel deverá ser, de acordo com a equação 49:

$$I_p = \frac{73747,81}{12} = 6145,65 \text{ Ah} \quad (49)$$

O módulo escolhido para o dimensionamento será o mesmo do item anterior, Suntech 135 W, cujas especificações estão no Anexo B.

Como calculado anteriormente, o módulo apresenta uma perda por temperatura da ordem de 12,69%, ao funcionar em Itajubá / MG, ou seja, irá produzir em média no máximo 117,87W.

A tensão do sistema é suprida por um módulo, não havendo necessidade de que módulos sejam ligados em série para acréscimo da tensão, porém para atender a corrente de

6145,65 Ah deve-se calcular a quantidade de módulos ligados em paralelo seguindo a equação 18, para aplicá-la utilizou-se o mesmo valor de HSPk do item anterior, por considerar o mesmo local de uso, assim de acordo com a equação 50 tem-se:

$$mp = \frac{6145,65}{0,873 \times 7,71 \times 4,24} = 215,32 \text{ unidades} \quad (50)$$

De acordo com o resultado obtido, o sistema requer que 216 módulos fotovoltaicos sejam ligados em paralelo para atender a demanda. E por fim, para determinar qual o controlador de carga a ser utilizado, aplicou-se a equação 19, cujo resultado é expresso pela equação 51:

$$Ic = 8,2 \times 216 \times 1,25 = 2214,00 \text{ A} \quad (51)$$

Dentre os produtos Morningstar®, marca escolhida para o dimensionamento, o controlador de maior capacidade é o modelo ProStar que suporta 30 A, cujas especificações também se encontram no Anexo C. Dividindo-se a corrente total do sistema, calculada pela equação anterior, pela capacidade do controlador, tem-se que serão necessários 74 controladores para atender o sistema proposto.

4.5 Custo do Condensado Utilizando Sistema Fotovoltaico Autônomo

O conjunto autônomo, apesar de não ter a energia paga de forma direta, já que trata-se de utilização de energia solar, o custo está associado aos valores dos equipamentos relacionando-se a vida útil de cada um.

A sequência de cálculo acompanha o disposto no item 2.8. O investimento inicial (I_0) corresponde ao valor de todos os equipamentos somados, conforme ilustra a tabela 9.

O equipamento que possui maior vida útil é o módulo fotovoltaico, 25 anos, por essa razão este será o período considerado nos demais cálculos. Porém, ao longo dos 25 anos, os demais equipamentos deverão passar por substituição, conforme é apresentado na tabela 10. O valor de cada um deve ser trazido para o presente através do cálculo de VP, equação 23.

Tabela 9 – Investimento inicial do conjunto fotovoltaico.

Equipamento	Valor unitário do equipamento (R\$)	Quantidade de equipamentos utilizados	Valor total (R\$)
Módulo Termelétrico	56,00	1250	70.000,00
Cooler	30,00	156	4.680,00
Módulo fotovoltaico	849,00	216	183.384,00
Bateria	749,00	112	83.888,00
Controlador de Carga	208,57	74	15.434,18
Valor total final (I₀) =			357.386,18

O cálculo do VP total, utilizado no cálculo do custo total (CT) se dá de acordo com os dados dispostos na tabela 10.

Tabela 10 – Investimento no período e Valor Presente.

Período (anos)	Equipamentos					I ₀	VP
	Mód. Termo.	Cooler	Mód. Fotov.	Bateria	Controlador		
ano 0	70000	4680	153669	83888	15434,18	357386,18	0
ano 1	0	0	0	0	0	0	0
ano 2	0	4680	0	83888	0	88568	75932,78
ano 3	0	0	0	0	0	0	0
ano 4	0	4680	0	83888	0	88568	65100,12
ano 5	0	0	0	0	0	0	0
ano 6	0	4680	0	83888	0	88568	55812,86
ano 7	0	0	0	0	0	0	0
ano 8	0	4680	0	83888	0	88568	47850,53
ano 9	0	0	0	0	0	0	0
ano 10	0	4680	0	83888	0	88568	41024,12
ano 11	0	0	0	0	0	0	0
ano 12	0	4680	0	83888	0	88568	35171,57
ano 13	0	0	0	0	0	0	0
ano 14	70000	4680	0	83888	0	158568	53986,23
ano 15	0	0	0	0	0	0	0
ano 16	0	4680	0	83888	0	88568	25852,15
ano 17	0	0	0	0	0	0	0
ano 18	0	4680	0	83888	0	88568	22164,06
ano 19	0	0	0	0	0	0	0
ano 20	0	4680	0	83888	0	88568	19002,11
ano 21	0	0	0	0	0	0	0
ano 22	0	4680	0	83888	0	88568	16291,24
ano 23	0	0	0	0	0	0	0
ano 24	0	4680	0	83888	0	88568	13967,11
ano 25	0	0	0	0	0	0	0
						VP total =	472154,9

Sendo o custo total a soma do investimento inicial no ano 0 e o VP total do período, tem-se, de acordo com a equação 52:

$$CT = 357386,18 + 472154,88 = \mathbf{R\$ 829.541,06} \quad (52)$$

O custo anual, dado pela equação 53, considerando a taxa de juros de 8% a.a. é de:

$$Ca = 829541,06 \cdot \frac{0,08 (1 + 0,08)^{25}}{(1 + 0,08)^{25} - 1} = \mathbf{R\$ 77.710,40} \quad (53)$$

Para determinação do volume produzido em um ano, considerou-se a produção de 0,255 L.h⁻¹ e 8 h de funcionamento diários, o que corresponde a 744,60 litros anuais. Sendo assim, o custo de 1L condensado é de:

$$Cc = \frac{77710,40}{744,60} = \mathbf{R\$ 104,37 /L} \quad (54)$$

4.6 Terceira Fase

A terceira fase compreende os testes laboratoriais para determinação da qualidade físico-química e biológica do condensado obtido.

4.6.1 pH

Os valores obtidos na análise do pH estão expostas na tabela 11.

Tabela 11 - Resultados do pH.

Tipo de amostra	pH
<i>in natura</i>	7,07 ± 0,02
filtrada	6,99 ± 0,03

De acordo com os resultados obtidos tanto a amostra filtrada quanto a não filtrada apresentam pH neutro. Desta forma, para este parâmetro, o condensado está de acordo com as condições exigidas pela Portaria 2914/11.

Há uma pequena variação entre as amostras, mas não trata-se de uma diferença representativa, podendo-se assumir que a filtração não melhora significativamente o pH.

4.6.2 Cor

O resultado obtido para cor, através da metodologia visual, indicou que o condensado, *in natura*, apresenta menos de 2,5 uH, o que enquadra o objeto de análise dentro dos padrões da Portaria 2914/11. A referida Portaria estabelece o máximo de 15 uH.

4.6.3 Turbidez

Quanto à turbidez, os resultados estão expostos na tabela 12.

Tabela 12 - Resultados de turbidez.

Tipo de amostra	Turbidez (uT)
<i>in natura</i>	26,47 ± 2,19
filtrada	20,27 ± 0,81

Mesmo após filtragem a amostra apresenta-se fora do limite estabelecido pela Portaria 2914/11 que é de 1,0 unidade de Turbidez (uT) indicando que é necessário um processo de tratamento para remoção de partículas menores que 0,45 µm e melhoria de sua qualidade.

Sugere-se a utilização de floculante para correção deste parâmetro, como o sulfato de alumínio. De acordo com UFCG (2013), não há uma regra clara para qual o melhor floculante, sua definição dependerá de análises químicas específicas, porém o produto mais comum para esta finalidade é o sulfato de alumínio (Al₂(SO₄)₃).

4.6.4 Condutividade

Os resultados obtidos quanto a condutividade estão dispostos na tabela 13.

Tabela 13 - Resultados de condutividade.

Tipo de amostra	Condutividade (µS.cm⁻¹)
<i>in natura</i>	32,45 ± 0,49
filtrada	33,95 ± 2,33

As leituras foram realizadas com as amostras em temperatura ambiente, aproximadamente 25 °C. Foi possível constatar que mesmo filtrada a condutividade não apresenta variação significativa, já que considerando o desvio os resultados se sobrepõem.

A Portaria 2914/11 não estabelece um limite para condutividade e a intenção de realização desta análise deve-se ao interesse em determinar se o condensado obtido poderia substituir a água destilada, dita como pura.

O resultado obtido não é impeditivo quanto a caracterização do condensado como potável, porém não pode ser enquadrado como água pura, uma vez que este tipo deve apresentar condutividade inferior a $5 \mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ de acordo com os padrões de água para laboratório determinado pela ISO 3696/87.

4.6.5 Coliformes

Os resultados obtidos quanto a presença de coliformes é representado visualmente pela figuras 41 e 42, sendo a figura 40 a primeira análise e a 41 a segunda análise, realizada para confirmação.

Como explicado anteriormente na metodologia, o resultado positivo de coliformes totais são indicados por coloração amarela após 24h em estufa.



Figura 41 - Resultado da primeira análise de coliformes.

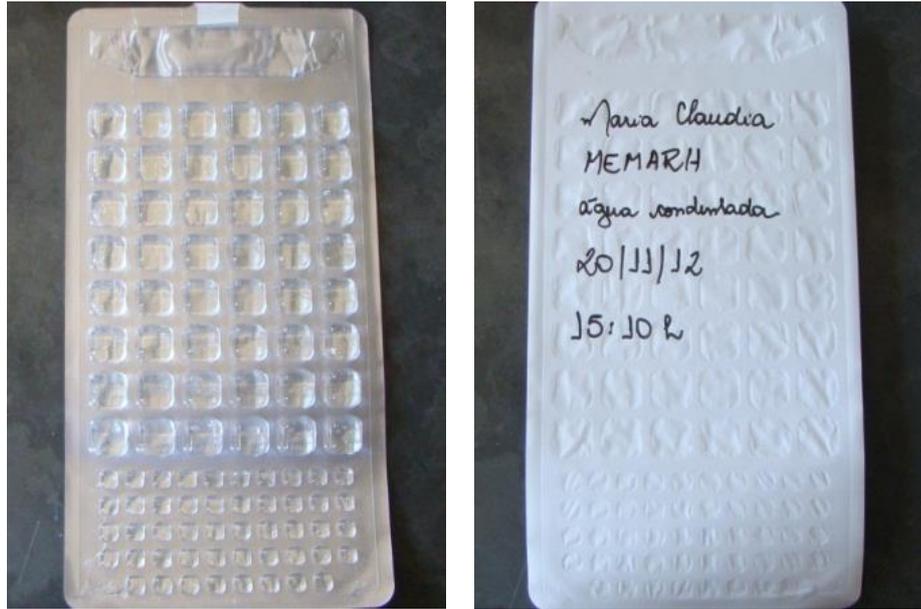


Figura 42 - Resultado da segunda análise de coliformes (a) frente e (b) verso da cartela.

Como houve ausência de coliformes totais pode-se afirmar que há ausência de coliformes termotolerantes, por serem estes um subgrupo do primeiro, ou seja, não há contaminação microbiológica de coliformes no condensado obtido, portanto está de acordo com as determinações da Portaria 2914/11.

5 CONCLUSÃO

É possível afirmar que os objetivos almejados para o presente trabalho foram alcançados, uma vez que, foi desenvolvido um protótipo capaz de realizar a condensação do vapor atmosférico utilizando, para tal, módulos termelétricos, apesar de não ter sido efetivamente atendido por energia solar, o dimensionamento para a utilização desta fonte energética foi realizado.

Com o protótipo testado foi possível identificar que existe uma tensão ótima de operação, sendo o ponto onde atinge-se a maior diferença de temperatura entre os lados quente e frio do módulo. Ao utilizar um módulo termelétrico, a tensão ótima, identificada através do ponto máximo da equação obtida, é de aproximadamente 6,5 V, ao utilizar dois módulos, a tensão ótima, seguindo o mesmo procedimento, é de aproximadamente 4,3 V.

Uma condição ambiental muito importante para o funcionamento do equipamento é que a umidade relativa deve ser maior que 60%. Em umidades inferiores não há água suficiente presente no ar para formação de gotas. Em umidade próxima a 50%, por exemplo, há condensação, com formação de pequenas gotículas no dissipador, porém a massa dessas gotículas é tão pequena que estas permanecem grudadas no dissipador e não fluem.

Quanto ao seu rendimento, foi possível constatar que à medida que a umidade relativa aumenta a eficiência também aumenta isso porque há maior volume de condensado e menor consumo de energia elétrica, uma vez que quanto mais úmido mais próxima a T_{po} se encontra da T_{amb} , requisitando menos energia para se atingir a temperatura de condensação.

Mesmo assim, o rendimento observado é muito pequeno, ficando abaixo de 1% mesmo nas melhores condições, o que aponta para o alto consumo e consequente baixa eficiência dos equipamentos envolvidos.

O custo do litro do condensado variou entre R\$ 39,63 ao utilizar energia elétrica convencional e atingiu o valor de R\$ 104,37 ao utilizar energia solar proveniente de conjunto fotovoltaico autônomo.

Este valor pode sofrer redução com o avanço das tecnologias solar e termelétrica, pois com o aumento da eficiência de funcionamento destes componentes serão necessários menos unidades para suprir a demanda, e ainda, com o passar do tempo e a popularização das tecnologias limpas, seu valor de mercado tende a diminuir.

No presente momento o alto investimento inicial e de manutenção inviabiliza a aplicação do condensador de forma autônoma, já que para atender um arranjo que produza em média $0,255 \text{ ml.h}^{-1}$ são necessários 1250 módulos termelétricos, 156 coolers, 216 módulos

fotovoltaicos 112 baterias e 74 controladores de carga, totalizando um investimento inicial da ordem de R\$ 357.386,18 e um custo total de R\$ 829.541,06, considerando o valor presente dos equipamentos que deverão ser trocados ao longo dos 25 anos, lembrando que, a estes valores não foram computados os custos com cabeamentos e mão-de-obra para instalação e manutenção.

No caso da fonte convencional de energia, pode-se observar que, grande parte do custo é formado pelo gasto energético do cooler, peça fundamental para o funcionamento do condensador, porém o equipamento pode estar superdimensionado para o sistema em teste, recomendando-se trabalhos futuros sobre o melhor dimensionamento deste dispositivo. Já no sistema autônomo o item que mais chama a atenção em relação ao custo é a bateria, que apresenta um alto valor de mercado e vida útil pequena, exigindo a substituição a cada 2 anos, o que representa grande *input* no custo total.

Qualitativamente, o condensado apresentou conformidade com a Portaria 2914/11 do Ministério da Saúde que dispõe sobre o padrão de potabilidade para os parâmetros de pH, Cor, Condutividade e Coliformes Totais e Termotolerantes, exceto para turbidez, cuja a especificação limita em 1 uT e o condensado *in natura* apresentou 26,47 uT e 20,27 depois de filtração simples.

Porém a alta turbidez não representa impedimento fisiológico para o consumo, trata-se de uma característica estética e que por não se apresentar completamente translúcida pode causar rejeição ao consumidor. Esta desconformidade pode ser corrigida com tratamento desta água antes de sua oferta ao consumidor final. O tratamento, em um primeiro momento seria a aplicação de floculante, como por exemplo, o sulfato de alumínio.

A causa da elevada turbidez não foi investigada a fundo, porém há suspeita de que trata-se da diluição da pasta térmica utilizada para aumentar o contato entre os módulos termelétricos e o dissipador de calor, uma vez que a referida pasta é branca e o condensado se apresentou esbranquiçado, além disso durante a execução dos testes era possível observar a formação de gotas brancas a partir dos parafusos que fixavam o dissipador.

Outra sugestão para melhoria futura do equipamento é o uso de dispositivos que isolem de maneira mais efetiva a pasta térmica, impedindo seu contato com o condensado, algum material hidrofóbico, por exemplo.

Enfim, vale ressaltar que o protótipo demonstrou a viabilidade técnica da utilização de módulos termelétricos para condensação do vapor atmosférico e que é possível agregar autonomia ao conjunto através de módulos fotovoltaicos, porém o alto custo

financeiro e a baixa eficiência dos equipamentos envolvidos desestimulam sua aplicação comercial no presente momento.

- **Recomendações**

Espera-se que futuramente, com avanços tecnológicos, os rendimentos dos componentes melhorem e também que seus valores de mercado se tornem mais acessíveis o que irá colaborar para que se reverta a situação, viabilizando a aplicação da tecnologia proposta.

Como sugestão de trabalhos futuros, propõem-se:

- Realizar análise comparativa entre qualidade do ar e qualidade do condensado;
- Testar diferentes potências de ventiladores para identificar qual melhor atende a necessidade de retirada de calor do sistema;
- Investigar causa da turbidez presente no condensado e testar a eficiência do floculante sugerido;
- Testar o funcionamento do conjunto em outras regiões, com condições climatológicas diferenciadas.
- Testar a viabilidade de aplicação do equipamento proposto em locais onde se requer umidades baixas e controladas como, por exemplo, em museus e bibliotecas.

REFERÊNCIAS

- ANEEL – Agência Nacional de Energia Elétrica. **Atlas de energia elétrica do Brasil**. 2ª ed. Brasília: ANEEL, 2005. Disponível em: <http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/atlas_eolico_brasil/atlas.htm>. Acessado em: 13 maio 2011.
- APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 21ª ed. Washington: American Public Health Association, 2005.
- ATOL FILTERS. Disponível em: <<http://loja.atolfilters.com.br/>>. Acesso em: 02 nov. 2011.
- BLUE SOL EDUCACIONAL. **Cd-rom do Curso Introdutória a Energia Fotovoltaica**. 2012.
- CAMARGO, J. R.; OLIVEIRA, M. C. C. GODOY JUNIOR, E. Experimental Performance of Thermoelectric Modules Applied to Air Conditioning. In: **12th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences**. Belo Horizonte. 2008.
- CAMARGO, J. R. **Resfriamento Evaporativo**. Editora Ciência Moderna. 2009.
- CAMARGO, J. R.; OLIVEIRA, M. C. C. **Principles of Direct Thermoelectric Conversion**. Heat Analysis and Thermodynamic Effects. Cap. 5. p. 93-106. 2011.
- CAMARGO, J. R.; OLIVEIRA, M. C. C. Projeto de um condicionador de ar automotivo Peltier-Seebeck autossustentável. In: **VI Congresso Brasileiro de Engenharia Mecânica**. Campina Grande, Paraíba. 2010.
- CEMIG. Disponível em: <<http://www.cemig.com.br/Atendimento/Paginas/ValoresDeTarifaEServicos.aspx>>. Acesso em 28 nov. 2012.
- CEPEL – Centro de Pesquisas de Energia Elétrica. **Panorama das energias solar e eólica no Brasil e no mundo**. 2009. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/index.php?link=/apresentacoes.htm>>. Acesso em: 12 maio 2011.
- CHAO, K. K; CHAO, C. C; CHAO, W. L. Evaluation of Colilert-18 for Detection of Coliforms and Escherichia coli in Subtropical Freshwater. **Applied and Environmental Microbiology**. v. 70, n. 2, p. 1242-1244. Fev. 2004.
- COLORLINE. Disponível em: <<http://www.colorline.ind.br/pdf/ponto.pdf>>. Acesso em: 29 maio 2012.
- CRECESB – Centro de Referência para Energia Solar e Eólica Sérgio de Salvo Brito. Disponível em: <<http://www.cresesb.cepel.br/sundata/index.php#sundata>>. Acesso em: 27 nov. 2012.
- DEIONIZADOR. Disponível em: <<http://www.deionizador.com.br/>>. Acesso em: 02 nov. 2011.

FARIAS, S. R. A. **Protótipo de um Microgerador Termelétrico de Estado Sólido: Cogeração a Gás**. Dissertação de Mestrado no curso de Ciência e Engenharia do Petróleo da Universidade Federal do Rio Grande do Norte. UFRN: Natal. 2009.

GUEDES, T. L; LAPOLLI, F. R. Potabilização de água de chuva através de microfiltração. **In: VII Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental**. Criciúma, Santa Catarina, 2012.

GEOWATER. Disponível em: < http://www.geowater.com.br/pagina_indice.asp?iditem=293>. Acesso em: 17 out. 2011.

HENKER, E. **Estudo e Construção de Equipamentos Desumidificadores para Obtenção de Água Potável Utilizando Diferentes Sistemas**. Dissertação de Mestrado no curso de Tecnologia Ambiental pela Universidade de Santa Cruz do Sul. Unisc: Santa Cruz do Sul. 2012.

IDEXX. **Catálogo do Colilert**. Westbrook. Estados Unidos. 2002. Disponível em: <www.idexx.com/pubwebresources/pdf/en_us/water/64063001.pdf>. Acesso em: 5 set. 2011.

INMET. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 27 nov. 2012.

KAMOGAWA, M. Y. **Esalq cria destilador de água de baixo impacto ambiental**. Agência USP de notícias. Abr. 2010. Disponível em: < <http://www.usp.br/agen/?p=23812>>. Acesso em: 02 nov. 2011.

MARTELLI, C. **Uso sustentável dos recursos hídrico e energético do instituto de química: uma economia anual de 1 milhão de litros de água e uma experiência disseminada**. Prêmio UNICAMP de Gestão Ambiental. 2008. Disponível em: < <http://www.cgu.unicamp.br/gestaoambiental/premiogestaoambiental/Usosustentavel-recursos-hidrico-e-energetico-do-IQ.pdf>>. Acesso em: 30 set. 2011.

MELLO, E. C. **O Programa Computacional GRAPSI**. Tutorial do programa, 2011. Disponível em: <http://www.evandro.eng.br/Grapsi_tutorial.pdf>. Acesso em: 25 out. 2012.

MINISTÉRIO DA SAÚDE. **Portaria nº 2.914, 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. Disponível em: < http://bvsms.saude.gov.br/bvs/saudelegis/gm/2011/prt2914_12_12_2011.html>. Acesso em: 24 out. 2012.

MORNIGSTAR. Disponível em: < <http://www.morningstarcorp.com/pt/products>>. Acesso em: 28 nov. 2012.

MUNDO EDUCAÇÃO. Disponível em: < <http://www.mundoeducacao.com.br/quimica/destilacao.htm>>. Acesso em: 29 maio 2012.

NEW QUÍMICA. Disponível em: < http://www.newquimica.com.br/produtos_view.asp?id=132&secao=22>. Acesso em: 29 maio 2012.

OLIVEIRA, M. C. C. **Projeto e desenvolvimento de condicionador de ar automotivo ecoeficiente**. Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Ambiental e Sanitária. Unita: Taubaté. 2010.

PARRON, L. M; MUNIZ, D. H. F; PEREIRA, C. M. **Manual de Procedimentos de Amostragem e Análise Físico-química de Água**. Colombo: Embrapa Florestas, 2011.

Disponível em:

<<http://www.infoteca.cnptia.embrapa.br/bitstream/doc/921050/1/Doc232ultimaversao.pdf>>.

Acesso em: 26 set. 2012.

PELTIER. Disponível em: < <http://www.peltier.com.br/faqs.htm>>. Acesso em: 12 jul. 2012.

POLI CONTROL. **Catálogo e Especificações dos Produtos**. Disponível em: <

<http://www.policontrol.com.br/catalogo.pdf>>. Acesso em: 22 jan. 2013.

QUIMIS. Disponível em: <<http://quimis.com.br>>. Acesso em: 29 maio 2012.

SARTORI, E. R; BATISTA, E. F; SANTOS, V. B; FATIBELLO FILHO, O. Construção e aplicação de um destilador como alternativa simples e criativa para a compreensão dos fenômenos ocorridos no processo de destilação. **Química Nova na Escola**. v. 31, n. 1, p. 55-57. fev. 2009.

SERAPHIM, O. J; SIQUEIRA, J. A. C; SILVA, C. D; FIORENTINO, J. J; ARAÚJO, J. A. B. Eficiência energética de módulos fotovoltaicos mono e poli-cristalinos em função da radiação solar global. In: **5º Encontro de Energia em Meio Rural**. Campinas. 2004.

Disponível em: <http://www.proceedings.scielo.br/pdf/agrener/n5v1/049.pdf>. Acesso em: 23 maio 2011.

TAVARES, G. A; BENDASSOLLI, J. A; SOUZA, G; NOLASCO, F. R. Implantação de uma estação de produção de água desionizada para uso nos laboratórios do CENA/USP empregando resinas de troca iônica. **Revista Analytica**. n. 10. p. 36-42. abril/maio 2004.

UFCG. Universidade Federal de Campina Grande. Noções Sobre Tratamento de Água.

Disponível em: < http://www.dec.ufcg.edu.br/saneamento/Tratam01_int.htm>. Acesso em: 22 jan. 2013.

UNIÁGUA. **Universidade da Água**. Disponível em: <<http://uniagua.org.br>>. Acesso em: 17 out. 2011.

WALLACE, J.M; HOBBS, P.V. **Atmospheric Science: An Introductory Survey**. 2nd Edition. Academic Press of Elsevier. 2006.

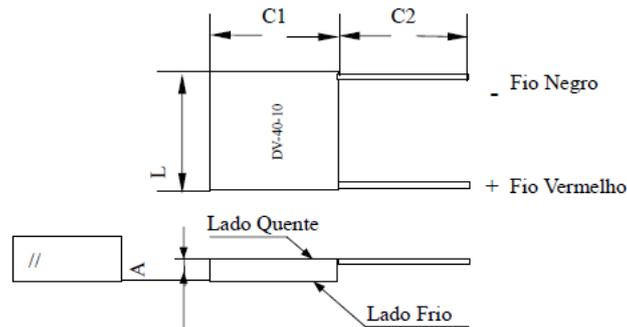
Anexo A

Especificações do Módulo Termelétrico Utilizado



Datasheet: DV-40-10

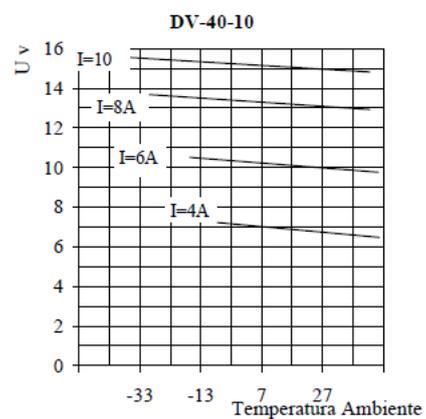
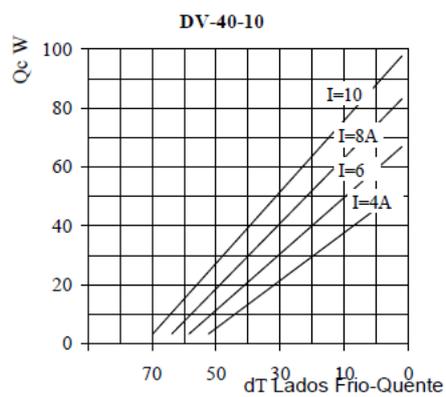
1.1 Diagrama



1.2 Dimensões e Especificações

C1 (mm)	L (mm)	A (mm)	C2 (mm)	Paralelismo
39.5±0.2	39.5±0.2	3.30±0.1	150±3	≤0.05

Pares	I _{max} (A)	V _{max} (V)	Q _{max(w)} dT=0	dT _{max} (C) Q=0	R(Ω)
127	10	15.4	85.1	68	1.08±0.1



Anexo B

Especificações do Módulo Fotovoltaico considerado nos cálculos de dimensionamento



Características



Módulo de alta eficiência de conversão
(até 13,5%), através de alta eficiência de células e uma tecnologia de fabricação líder.



Tolerância positiva
Tolerância positiva garantida de 0~5% que assegura a confiabilidade de potência de saída.



TruPower™ da Suntech
O processo TruPower™ da Suntech neutraliza o efeito LID (Degradação Induzida por Luz) inicial.



Excelente desempenho com luz fraca
Excelente desempenho em ambientes de pouca luz (manhã, final do dia e dias nublados).



Resistente a ventos fortes e nevascas
Todo o módulo é certificado para resistir a ventos fortes (2400 Pascal) e nevascas (5400 Pascal) *



Processo de classificação de corrente da Suntech
Todos os módulos da Suntech são classificados e embalados por corrente, maximizando a produção do sistema através da redução de perdas devido a efeitos de mismatch até 2%.



A Suntech garante a durabilidade e eficiência de seus módulos.

- Líder mundial na fabricação de módulos fotovoltaicos em silício cristalino
- Capacidade de fabricação e tecnologia inigualável a nível mundial
- Controle de qualidade rigoroso que satisfaz as mais elevadas normas internacionais: ISO 9001: 2008 e ISO 14001: 2004

Garantia líder da Indústria



- Garante 6,7% a mais de energia do que o padrão de mercado durante mais de 25 anos
- Garantia transmissível de 25 anos a nível de produção de energia: 5 anos/95%, 12 anos/90%, 18 anos/85%, 25 anos/80% **
- Baseada na potência nominal
- Garantia de 5 anos contra defeitos de fabricação.



Orifícios de drenagem especialmente concebidos e construção rígida para evitar que a estrutura se deforme ou parta, devido ao tempo frio e outras forças.

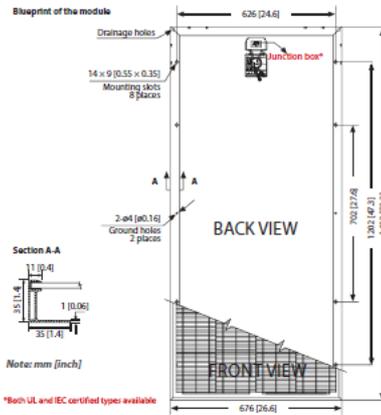


A mais recente caixa de derivação com classificação IP65 melhora a estabilidade de desempenho do módulo. Os conectores de elevado desempenho proporcionam uma interligação de baixa resistência para garantir a total utilização da produção de energia.

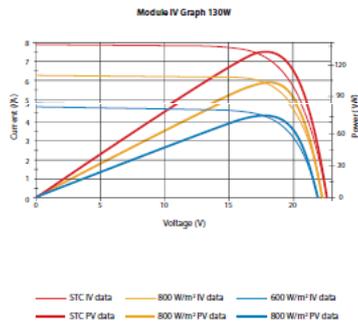
* Consulte o manual de instalação padrão do módulo Suntech para obter mais detalhes.
** Consulte a garantia do produto Suntech para obter mais detalhes.

STP 135D -12/TEA

www.blue-sol.com



Curva corrente-tensão e potência-tensão (230-20)



Excelente desempenho em condições de luz fraca: a uma intensidade de irradiação de 200 W/m² (AM 1,5, 25 °C), atinge-se 96% ou mais da eficiência STC (1000 W/m²)

SUNTECH

A Suntech Power é a maior fabricante de módulo solar de silício cristalino do mundo com mais de 2,5 GW de produtos solares instalados em todo o mundo. Todos os produtos são projetados em conformidade com os padrões da IEC e UL e fabricados nas normas ISO9001 e ISO14001 certificação de instalação de produtos. A Suntech também é a um membro ativo do Ciclo PV, uma associação independente da indústria fotovoltaica dedicada a estabelecer uma "retomada" e programa de reciclagem para módulos solares fotovoltaicos e fim de vida de resíduos.

www.blue-sol.com

Características eléctricas

STP 135D -12/TEA	
Tensão de máxima potência (Vmp)	17,5 V
Corrente de máxima potência (Imp)	7,71 A
Tensão em circuito aberto (Voc)	22,3 V
Corrente de curto-circuito (Isc)	8,20 A
Potência máxima (Pmax) em condições de teste padrão (STC)	135 Wp
Eficiência do módulo	13,5%
Temperatura de funcionamento do módulo	-40 °C a +85 °C
Tensão máxima do sistema	1000 V DC
Corrente máxima por fusíveis em série	20 A
Tolerância de potência	0/+5 %

STC: Irradiação de 1000 W/m², temperatura do módulo de 25 °C, AM=1,5;
Tolerância de medição de potência: ± 3%

Características mecânicas

Células solares	Policristalinas 156 x 156 mm (6 polegadas)
N.º de células	36 (4 x 9)
Dimensões	1482x676x35mm
Peso	12kg
Vidro frontal	Vidro temperado de 3,2 mm
Estrutura	Liga de alumínio anodizado
Caixa de derivação	Classificação IP65
Cabos de saída	H+S (2,5mm ²)
	Comprimentos simétricos (-) 750mm (+) 750mm
Conectores	Plug MC4

Características de temperatura

Temperatura nominal de funcionamento da célula (NOCT)	45±2 °C
Coefficiente de temperatura da Pmax	-0,47%/°C
Coefficiente de temperatura da Voc	-0,34%/°C
Coefficiente de temperatura da Isc	0,045%/°C

BlueSol
energia solar

Ribeirão Preto - SP
Tel: (16) 4009-5600

São Paulo - SP
Tel: (11) 3728-9421

Rio de Janeiro - RJ
Tel: (21) 2112-4943

Anexo C

Especificações dos Controladores de Carga considerados nos cálculos de dimensionamento.

SunSaver

Small system controllers

6.5A or 10A or 20A

12 VDC or 24 VDC

May be used in parallel for higher current



ProStar

Mid-range controllers

15A or 30A at 12/24 VDC

15A at 48 VDC

Positive or negative ground

May be used in parallel for higher current



Apêndice I

- Primeira Fase: Testes iniciais utilizando um módulo termelétrico

Data	T amb (°C)	UR (%)	Corrente (A)	Tensão (V)	T frio (°C)	T quente (°C)	hora
18/09/2012	25,4	53	0,48	1	20,2	25,5	14:38
	25,7	52	1,01	2	16,6	26	14:43
	25,8	50	1,52	3	14,9	26,6	14:47
	25,9	50	1,97	4	14,6	27,1	14:51
	26,2	49	2,43	5	11,8	28,5	14:58
	26,3	49	1,91	3,8	13,4	28,4	15:00
	26,4	48	2,44	4,9	11,6	28,4	15:02
19/09/2012	25,9	42	4,15	10	28,3	39,9	15:23
	25,9	42	3,81	9	29	39,1	15:26
	25,9	42	3,51	8	27,7	37,4	15:37
	25,9	40	3,2	7	25,8	35,4	15:43
	25,9	40	2,82	6	23,2	33,6	15:48
	25,9	40	2,4	5	21	31,6	15:58
	25,9	40	1,95	4	20,1	29,8	16:04
	25,9	40	1,49	3	19,7	28,7	16:08
	25,9	40	1	2	20	28,1	16:13
	25,9	40	0,5	1	21,3	27,2	16:18
20/09/2012	23	79	0,52	1	21,9	23,1	11:00
	23	79	0,96	2	20,7	23,4	11:05
	23	79	1,41	3	18,2	24,4	11:13
	23,1	77	1,91	4	14,4	25,3	11:23
	23,1	76	2,5	5	12,7	27,2	11:37
	23,1	75	2,98	6	11,8	28,4	11:41
	23,2	75	3,33	7	11,4	29,9	11:45
	23,2	74	3,94	8	12	32,5	11:49
	23,3	74	4,41	9	11,8	34,4	11:51
	23,3	74	4,65	10	14	36,4	11:55
28/09/2012	19	50	1,68	3,5	11,5	19,5	9:26

• Primeira Fase: Testes iniciais utilizando dois módulos termelétricos

Data	T amb (°C)	UR (%)	Corrente (A)	Tensão (V)	T frio (°C)	T quente (°C)	hora
20/09/2012	23,5	73	1,04	1	16,3	24	13:47
	23,6	72	2,01	2	11,4	25,6	13:55
	23,6	72	3,02	3	8	27,2	14:03
	23,7	71	4	4	5,7	29,4	14:11
	23,7	71	4,51	4,5	5,7	30,7	14:15
	23,7	71	3,86	4	6,6	29,4	14:18
	23,8	71	2,93	3	7,9	27,5	14:21
	23,8	71	1,94	2	10,5	25,5	14:27
	24	70	0,91	1	15,2	24,1	14:35
	24,1	70	1,95	2	12,2	25,7	14:42
	24,1	70	2,91	3	9	27,5	14:52
	24,1	70	3,87	4	7,3	29,5	14:57
	24,1	70	4,85	5	6,9	32,3	15:04
	24,2	70	4,42	4,5	7,9	31	15:12
	24,1	70	4,4	4,5	7,6	31	15:28
	24,1	69	4,41	4,5	7,4	31	15:47
24,3	69	4	4,5	7,6	31,3	16:13	
21/09/2012	21,2	88	0,9	1	18,4	21,4	10:00
	21,3	88	1,87	2	17,8	22,4	10:09
	21,7	87	2,85	3	16,3	23,1	10:22
	22,1	85	3,77	4	15,9	25,7	10:44
	22,3	85	4,65	5	16,8	26,6	10:59
	22,5	84	3,72	4	17,2	26,2	11:09
	22,6	84	2,82	3	17,2	25	11:13
	22,6	83	1,95	2	17,2	23,4	11:18
	22,6	83	0,9	1	17,2	22,7	11:21
	22,1	82	2,17	2,1	12,7	24	16:00
24/09/2012	20,5	71	1,23	1,3	13,7	21,4	10:37
	21,1	68	1,68	1,7	12,8	21,5	11:20
	21,8	69	1,32	1,4	13,4	22,8	14:40
	22	68	1,97	2	11,8	24	14:58
	22,1	68	4,49	4,6	9,8	29,5	15:44
	22,3	68	4,47	4,6	9,4	29,7	17:00
26/09/2012	19,5	66	0,86	1	12,7	18,9	09:52
	19,5	66	1,4	1,5	10,5	19,3	09:56
	19,5	67	1,94	2	8,9	19,9	10:02
	19,6	64	2,49	2,5	7,3	20,6	10:18
	19,8	64	2,95	3	6,8	21,2	10:34
	20,1	61	3,45	3,5	6,4	22,1	10:45
	20	61	3,97	4	4,7	22,4	10:54
	20	62	4,48	4,5	5,5	23,4	11:04
	20,3	63	4,96	5	5,1	24,3	11:11
	20,2	58	2,29	2,3	8	19,9	14:31

Data	T amb (°C)	UR (%)	Corrente (A)	Tensão (V)	T frio (°C)	T quente (°C)	hora
	19,6	58	2,29	2,3	7,3	19,6	14:41
	19	59	2,29	2,3	6,7	19,6	15:00
	18,1	60	2,3	2,3	5,8	18,7	15:30
	18	60	2,3	2,3	5,4	18,3	16:00
	18,1	60	1,38	1,5	7,9	17,6	16:05
	18,1	59	0,85	1	9	17,2	16:17
	18,1	59	2,42	2,5	5	18,1	16:26
	17,8	58	3,41	3,4	3	18,9	16:32
	17,6	58	4,4	4,5	1,9	20	16:39
	17,1	59	4,4	4,5	1,4	19,8	16:50
27/09/2012	18,8	49	1,71	1,8	6,9	17,9	10:00
	18,8	49	1,64	1,8	7	18,6	10:23
	19,2	48	1,61	1,8	7	18,3	10:30
	19,7	47	2,53	2,8	5	20,2	11:07
	20,5	46	3,17	3,5	4,1	21,8	11:30
	21,6	46	3,2	3,5	4,3	21,9	14:00
	20,2	49	3,22	3,4	6,6	22,1	14:30
	19,6	49	3,22	3,4	5,7	21,8	15:00
	19,8	48	3,22	3,4	5,4	21,5	15:30
	20,2	48	3,18	3,4	4,2	21,4	16:00
	19,7	47	3,21	3,4	3	22,1	16:30
	19,1	47	3,14	3,4	2,9	21,8	17:00
	18,2	49	3,16	3,4	1,9	21,1	17:30
28/09/2012	19,6	47	1	1	11,8	19,1	09:40
	19,7	48	1,42	1,5	8,6	19,2	09:50
	20	46	1,94	2	7,2	20,2	10:00
	20,1	46	2,51	2,5	6,3	20,8	10:10
	20,2	45	1,98	2	7,9	20,6	10:20
	20,5	46	1,98	2	7,9	20,8	10:30
	21,2	45	1,97	2	8,5	21,4	11:00
	21,7	43	1,96	2	8,3	21,8	11:30

Apêndice II

- Segunda Fase: Testes com a configuração final, utilizando dois módulos termelétricos e umidificador de ar.

Data	Tambe (°C)	URe (%)	Tambi (°C)	URi (%)	i (A)	U (V)	Tf (°C)	Tq (°C)	hora
02/10/2012	28,5	43	25,8	60	1,83	2,0	11,5	22,0	15:05
	28,9	43	23,8	66	1,81	2,0	11,1	23,3	15:10
	29,0	41	23,4	63	1,74	2,0	12,4	24,4	15:20
	29,1	41	22,7	77	1,78	2,0	11,2	22,4	15:40
	29,0	40	21,5	82	1,79	2,0	10,8	21,9	15:50
	29,0	40	20,8	85	1,79	2,0	10,5	21,8	16:00
	29,0	40	21,2	86	1,83	2,0	11,1	22,2	16:10
	28,4	42	20,0	89	1,79	2,0	10,6	22,6	16:30
	26,3	56	20,5	99	1,83	2,0	10,9	21,8	17:00
03/10/2012	22,3	67	21,7	68	1,56	1,7	11,0	22,1	9:00
	23,7	61	21,2	69	1,58	1,7	10,8	22,1	9:30
	24,7	59	21,5	71	1,60	1,7	11,1	22,6	10:00
	25,7	56	22,0	71	1,58	1,7	11,7	23,0	10:30
	26,6	52	22,5	68	1,57	1,7	12,0	23,7	11:00
	27,6	48	23,2	66	1,48	1,7	13,4	23,8	11:30
	28,2	48	23,3	72	1,99	2,2	12,1	23,8	11:45
	28,8	46	21,8	80	2,12	2,2	9,9	24,0	13:35
	29,4	45	24,4	63	2,06	2,2	11,0	26,5	14:00
	30,5	40	23,6	70	1,99	2,2	10,5	24,7	14:30
	30,3	39	23,1	71	1,98	2,2	10,4	24,6	15:00
	30,3	39	23,3	71	1,96	2,2	10,5	25,0	15:30
	29,2	40	23,2	71	1,96	2,2	11,5	24,4	16:00
	29,0	40	23,2	71	2,53	2,7	9,9	25,5	16:30
28,0	41	23,1	70	2,36	2,7	9,9	25,2	17:00	
04/10/2012	22,8	67	21,7	77	1,90	2,0	11,1	21,5	9:00
	25,7	56	21,8	79	1,86	1,9	11,6	22,1	11:10
	26,4	51	21,7	78	1,85	1,9	11,7	22,3	11:30
	27,3	49	22,0	77	1,84	1,9	11,9	23,0	12:00
	28,9	44	23,0	71	2,40	2,6	12,2	25,4	13:30
	29,1	41	23,0	75	2,40	2,6	11,7	25,1	14:00
	29,4	41	21,3	90	2,42	2,6	10,4	22,6	14:30
	29,3	41	22,8	77	2,35	2,5	11,8	24,5	15:00
			22,0	77			11,6		15:35
05/10/2012	24,5	60	22,4	84	1,12	1,2	14,0	20,8	9:45
	25,8	56	20,0	97	1,13	1,2	12,7	19,1	10:00
	27,1	49	19,7	99	1,13	1,2	12,4	19,5	11:00
	27,9	47	21,6	83	1,11	1,2	13,6	21,7	11:25
	29,2	44	21,5	92	2,31	2,5	10,0	23,4	14:44
	28,8	43	22,5	81	2,19	2,5	11,3	23,6	15:45

Data	Tambe (°C)	URe (%)	Tambi (°C)	URi (%)	i (A)	U (V)	Tf (°C)	Tq (°C)	hora
05/10/2012	26,5	53	20,7	97	2,22	2,5	9,4	21,8	16:45
08/10/2012	25,5	51	23,7	59	1,41	1,5	13,6	23,4	9:36
	26,2	44	22,5	64	1,36	1,5	12,4	22,7	10:37
	28,0	41	23,1	62	1,36	1,4	12,6	26,6	11:35
	29,8	39	24,6	60	1,92	2,0	12,7	25,9	14:28
	30,5	33	24,5	61	1,90	2,0	14,0	26,6	15:00
	29,0	32	23,2	64	1,91	2,0	11,8	24,7	16:53
09/10/2012	23,4	59	21,3	76	1,93	2,0	12,1	23,4	9:30
	25,7	49	21,8	68	1,93	2,0	11,1	23,7	10:00
	28,0	41	22,1	75	1,43	1,5	13,0	22,8	11:25
	27,6	42	21,8	73	1,88	2,0	11,4	23,4	14:00
	27,6	39	22,5	67	2,25	2,4	10,5	24,9	16:20
	27,1	38	22,5	67	2,25	2,4	10,5	24,7	17:00
10/10/2012	24,0	55	22,2	75	1,36	1,5	12,4	22,2	9:25
	25,9	49	20,3	79	1,38	1,5	11,7	21,2	10:20
	27,6	42	21,0	81	1,37	1,5	12,1	22,0	11:20
	29,0	40	20,6	81	1,84	2,0	10,8	23,2	14:20
	29,0	38	20,5	82	1,86	2,0	10,5	22,8	15:20
	29,0	35	19,7	79	1,87	2,0	9,8	22,5	16:30
15/10/2012	20,7	59	19,8	65	1,33	1,5	10,5	20,2	9:15
	24,8	51	22,5	57	1,30	1,5	13,4	23,4	11:30
	27,7	40	23,7	53	1,65	1,8	12,9	24,9	14:10
	27,8	35	20,7	68	1,57	1,8	10,5	22,0	15:45
	26,9	36	22,5	57	1,55	1,8	11,4	23,4	16:45
16/10/2012	23,5	59	21,2	80	1,38	1,4	10,8	20,0	9:40
	25,6	50	19,1	92	1,37	1,4	10,7	20,2	11:30
	26,9	48	19,1	99	1,88	1,9	7,9	20,2	14:00
	27,7	45	22,0	75	1,43	1,5	11,7	22,9	15:30
	26,5	47	18,8	99	1,74	1,7	7,9	19,3	16:30
17/10/2012	20,2	80	20,2	83	1,30	1,4	11,2	20,2	9:00
	19,8	82	19,7	86	1,26	1,4	10,8	19,8	9:10
	19,8	85	19,6	88	1,01	1,1	12,3	19,6	9:12
	19,6	86	19,5	88	1,00	1,1	12,0	19,6	10:00
	20,3	82	20,0	87	1,00	1,1	12,5	20,2	11:00
	22,6	76	21,6	78	1,06	1,1	13,4	22,1	13:00
	22,5	70	21,8	74	1,15	1,2	12,7	22,1	14:00
	22,6	70	22,1	74	1,13	1,2	13,1	22,3	15:30
	22,6	68	22,1	71	1,12	1,2	12,8	22,4	16:50
18/10/2012	23,4	74	22,1	86	1,16	1,2	13,7	21,9	9:15
	25,1	67	21,0	89	1,16	1,2	13,4	21,8	10:00
	27,0	58	21,2	97	1,15	1,2	14,0	22,1	11:25
	28,8	50	24,1	69	1,44	1,5	14,0	25,2	14:00
	29,2	40	20,6	89	1,46	1,5	12,1	21,5	15:30

Data	Tambe (°C)	URe (%)	Tambi (°C)	URi (%)	i (A)	U (V)	Tf (°C)	Tq (°C)	hora
18/10/2012	26,8	46	19,7	97	1,48	1,5	10,2	20,2	17:15
19/10/2012	23,2	71	22,6	77	0,99	1,1	14,5	22,3	8:57
	25,5	62	19,7	99	1,02	1,1	12,3	19,6	10:20
	27,2	57	23,2	75	0,99	1,1	14,9	23,4	11:30
	29,2	50	22,5	87	1,41	1,4	13,4	23,4	14:10
	28,0	51	22,4	86	1,29	1,4	13,6	23,4	15:40
	26,5	56	22,8	82	1,30	1,4	14,0	23,7	16:55
22/10/2012	22,3	76	22,5	76	1,35	1,1	14,8	22,1	8:53
	25,0	68	22,5	81	1,10	1,1	15,3	23,0	10:05
	28,0	58	24,1	74	1,10	1,1	16,9	24,6	11:47
	30,0	48	22,7	90	1,58	1,4	14,3	23,4	14:12
	29,5	46	25,9	64	1,26	1,4	16,1	26,7	16:43
23/11/2012	22,0	65	22,3	56	1,30	1,4	13,4	22,7	9:32
	26,6	51	24,2	60	1,21	1,3	15,7	24,7	10:30
	28,8	51	25,7	59	1,69	1,8	15,6	26,8	11:50
	31,8	37	28,2	46	2,25	2,4	15,9	30,5	14:20
	32,0	32	22,2	86	3,99	4,3	12,7	29,1	15:45
	31,5	35	26,6	56	3,93	4,2	14,3	32,9	17:30
27/11/2012	23,1	75	22,6	77	1,14	1,2	15,2	23,4	9:50
	25,3	69	22,3	87	1,37	1,5	14,3	23,7	10:50
	24,6	78	22,6	91	1,35	1,4	14,9	24,0	12:05
	27,9	65	25,4	73	1,27	1,5	16,3	26,0	14:30
	28,0	64	24,4	84	1,26	1,5	16,2	25,6	15:55
	26,4	68	24,3	85	1,25	1,5	15,8	25,3	17:30
28/11/2012	23,3	81	23,0	85	1,23	1,4	14,8	23,3	9:33
	26,0	71	22,5	99	0,88	0,9	16,9	23,3	10:28
	26,3	70	22,7	91	0,87	0,9	17,0	23,4	10:35
	28,1	65	24,1	85	0,85	0,9	18,8	24,9	11:33
	31,0	50	24,8	80	1,24	1,4	16,9	25,6	14:16
	31,5	48	23,1	98	1,21	1,4	15,6	24,0	15:55
	29,2	43	24,8	68	1,21	1,3	15,9	25,9	17:17
29/11/2012	21,7	71	21,6	68	1,25	1,4	12,7	21,8	8:39
	24,7	61	23,0	66	1,22	1,3	14,3	23,7	9:46
	27,8	55	24,4	69	1,20	1,3	15,9	25,3	11:40
	31,0	33	26,2	48	1,48	1,7	15,6	27,5	14:15
	31,8	31	24,5	54	1,44	1,6	14,6	26,2	15:45
	31,4	31	23,6	60	1,42	1,6	14,3	24,7	16:10
30/11/2012	22,8	64	23,2	63	1,27	1,5	14,0	23,7	9:30
	26,0	51	21,8	78	1,30	1,5	13,4	22,8	10:30
	27,9	49	22,8	77	1,29	1,5	14,6	24,0	11:40
	30,2	41	23,0	80	1,28	1,5	14,6	24,3	14:13
	30,9	40	23,6	77	1,33	1,5	14,9	24,6	15:00
	31,0	38	23,7	78	1,34	1,5	14,7	24,6	16:00
	30,6	39	23,4	80	1,35	1,5	14,6	24,3	17:01

Data	Tambe (°C)	URe (%)	Tambi (°C)	URi (%)	i (A)	U (V)	Tf (°C)	Tq (°C)	hora
04/12/2012	24,5	70	23,6	71	1,31	1,4	15,9	24,6	9:04
	27,2	58	24,8	70	1,36	1,5	15,9	25,6	10:50
	28,2	55	24,5	72	1,70	1,8	14,6	25,9	11:48
	32,0	41	26,1	68	1,58	1,7	15,9	27,8	14:50
	31,3	45	24,1	82	1,58	1,7	14,6	25,6	16:20
	31,6	44	27,2	65	1,55	1,7	16,9	29,3	17:20
05/12/2012	24,6	73	24,7	71	1,28	1,4	15,9	25,3	9:00
	28,0	59	25,9	65	1,17	1,3	17,5	26,8	10:12
	30,3	49	25,6	73	1,29	1,4	17,1	26,8	11:30
	33,2	43	27,6	66	1,25	1,4	18,5	28,7	14:14
	33,4	42	26,0	78	1,24	1,4	17,9	27,2	15:35
	33,2	41	26,8	70	1,23	1,4	18,1	28,5	16:30
06/12/2012	24,7	67	26,2	68	1,18	1,4	16,9	25,9	9:36
	27,7	59	25,8	73	1,17	1,4	17,5	26,9	10:53
	30,5	51	26,5	68	1,14	1,5	18,1	27,5	11:50
	32,8	47	26,2	76	1,43	1,8	17,2	27,8	14:18
	32,0	45	26,9	68	1,48	1,8	16,9	28,7	16:10
	31,7	44	27,8	77	1,48	1,8	16,2	27,5	17:44
07/12/2012	26,0	70	23,6	92	1,18	1,3	16,6	23,4	9:03
	30,1	55	22,6	99	1,05	1,2	15,6	22,8	10:52
	31,1	50	25,2	80	1,01	1,2	17,8	26,2	11:53
	30,2	52	22,6	99	0,90	1,2	16,2	24,3	14:27
	31,8	47	27,7	67	0,90	1,2	20,0	28,4	16:10
	29,8	58	23,8	99	1,22	1,5	15,6	24,6	17:20
10/12/2012	25,0	78	24,7	79	1,52	1,5	16,2	25,3	9:50
	28,2	61	25,9	70	1,50	1,5	17,5	26,9	11:00
	30,0	59	23,8	94	1,16	1,2	17,8	24,7	12:13
	31,9	48	27,3	67	1,10	1,2	19,9	28,1	14:24
	32,1	44	22,8	99	1,17	1,2	16,2	23,4	16:25
	30,4	49	24,5	83	1,15	1,2	17,5	25,9	16:55
12/12/2012	24,5	81	24,1	88	1,04	1,2	17,1	24,3	9:26
	28,4	65	23,8	91	1,00	1,2	17,6	24,6	11:12
	30,2	59	24,4	90	1,01	1,2	18,1	25,3	12:17
	32,1	46	23,5	97	1,02	1,2	17,1	24,4	14:46
	24,7	71	21,8	99	0,91	1,2	15,6	21,5	15:33
	23,6	81	22,5	99	0,80	1,0	16,9	22,8	17:05
14/12/2012	25,0	79	23,7	89	0,92	1,2	17,5	23,5	9:30
	26,6	73	22,8	99	0,90	1,2	17,5	23,7	11:17
	27,9	70	25,0	89	0,91	1,2	18,5	25,6	14:40
	27,4	70	22,8	99	0,95	1,2	15,9	22,8	16:40
08/01/2013	26,4	69	27,4	63	0,91	1,1	19,1	25,6	10:25
	32,4	48	28,7	61	0,84	1,1	21,6	28,9	14:20
	28,2	58	27,1	60	1,41	1,8	17,5	28,2	16:40

Data	Tambe (°C)	URe (%)	Tambi (°C)	URi (%)	i (A)	U (V)	Tf (°C)	Tq (°C)	hora
08/01/2013	28,3	59	27,2	62	1,35	1,7	17,9	28,2	17:11
09/01/2013	24,1	83	24,5	80	1,21	1,5	18,2	24,3	9:20
	26,7	77	25,0	86	1,05	1,4	18,4	25,6	10:36
	29,5	60	27,2	67	1,27	1,6	19,1	28,0	14:42
	26,1	70	25,8	77	1,62	1,9	17,0	26,8	17:10