



Programa de Pós-Graduação em Engenharia  
de Recursos Naturais da Amazônia

## **UMA NOVA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DE FOGÕES À BIOMASSA**

**Sérgio Aruana Elarrat Canto**

Tese de Doutorado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais da Amazônia, PRODERNA/ITEC, da Universidade Federal do Pará, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais.

Orientador: Carlos Edilson de Almeida Maneschy

Belém

Março de 2014

UMA NOVA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DE FOGÕES À BIOMASSA

Sérgio Aruana Elarrat Canto

TESE SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS DA AMAZÔNIA (PRODERNA/ITEC) DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE DOUTOR EM ENGENHARIA DE RECURSOS NATURAIS.

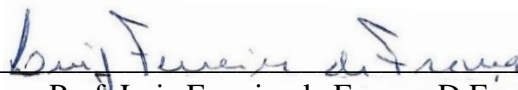
Aprovada por:



---

Prof. Carlos Edilson de Almeida Maneschy, Ph.D.

(PRODERNA/UFPA - Orientador)



---

Prof. Luiz Ferreira de França, D.Eng.

(PRODERNA - UFPA - Membro)



---

Prof. Emanuel Negrão Macêdo, D.Sc.

(PRODERNA - UFPA - Membro)



---

Prof. Augusto Cesar de Mendonça Brasil, D.Sc.

(UnB - Membro)



---

Prof. Carlos Antônio Cabral dos Santos, D.Eng.

(DEM/UFPA - Membro)

BELÉM, PA – BRASIL

MARÇO DE 2014

Dados Internacionais de Catalogação-na-Publicação (CIP)

---

Canto, Sérgio Aruana Elarrat, 1959-  
Uma nova proposta de avaliação de fogões à  
biomassa / Sérgio Aruana Elarrat Canto. - 2014.

Orientador: Carlos Edilson de Almeida  
Maneschky.

Tese (Doutorado) - Universidade Federal do  
Pará, Instituto de Tecnologia, Programa de  
Pós-Graduação em Engenharia de Recursos Naturais  
da Amazônia, Belém, 2014.

1. Energia. 2. Biomassa. 3. Fogões à lenha-  
avaliação. 4. Ergonomia. 5. Ciclo de vida do  
produto. I. Título.

CDD 22. ed. 333.9539

---

*Dedico este trabalho para aqueles que, de alguma maneira, motivaram esta pesquisa, inclusive os que nem conheci, e aos que poderão ser beneficiados com os resultados.*

## AGRADECIMENTOS

Tive o privilégio de sempre ter recebido apoio que partiram de diversas origens e que agora me motivam a expressar minha justa gratidão para:

À *Sociedade brasileira* por ter me proporcionado meios de ensino público e gratuito, que espero honrar e reverter o investimento em benefícios para o país

À *Empresa Ecofogão* personalizada por *Ronaldo, Emílio e Rogério Miranda*;

Às *Fundações Shell e FUNTAC* pela receptividade e colaboração;

À *UFPA*, *minha* grande inspiradora e motivadora;

*PRODERNA*, aos meus orientadores *Carlos Maneschy*. *Especialmente aos* professores *Emanuel Negrão e João Nazareno*, às secretárias *Genilda Amaral, Ádria Vanessa* e ao meu velho amigo *Ribamar Montoril*;

*FEM - LABEM* representada pelos meus superiores e todos os meus colegas de trabalho que sempre me incentivaram e apoiaram incondicionalmente;

Meu grupo de Pesquisa EBMA, aos coordenadores, *Gonçalo Rendeiro, Manoel Nogueira*, meu co - orientador honorário e aos engenheiros *Hendrick Zaráte, Elden Marialva e Robson Santos*;

Meus jovens colaboradores mais diretos do *Labgas - LacBio* que se sucederam para me auxiliar nos ensaios laboratoriais: *Jessé Padilha, Geraldo Oliveira, Jaime Oliveira Junior, Herbert Coutinho, Hussein Gazel, Tiago Santos, Felipe do Carmo, Bernardo Silveira, Ricardo. Jordane Beltrão, João Lopes*;

Meus eternos amigos *Suzana Martins, Fernando Mateus, Cleumara Kosmann, Antônio Fonseca, Carlos Cordeiro, Thiago Pinto e Waldinett Torres, Syglea Vieira, Jesus Cunha, Ivanildo Cintra, Ezequiel Rodrigues, Claudio Duarte*;

Minha Família, de longe, ou de perto, sempre foi percebida;

Todos aqueles que me são caros e eternos, estejam onde estiverem.

Todos que de alguma forma contribuíram;

Minha amada *Dôta*, *que mantém suas pegadas sempre ao lado das minhas*;

A todos: Muito Obrigado.

*Melhorar fogões é melhorar a saúde, salvar vidas, ajudar a mitigar os efeitos das alterações climáticas ao mesmo tempo, poupar dinheiro”.*

***Sarah Butler Sloss,***

*Fundadora Diretora do Ashden Awards for Sustainable Energy*

Resumo da Tese apresentada ao PRODERNA/UFPA como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Doutor em Engenharia de Recursos Naturais (D.Eng.).

## **UMA NOVA PROPOSTA DE AVALIAÇÃO DE FOGÕES À BIOMASSA**

Sérgio Aruana Elarrat Canto

Março/2014

Orientador: Carlos Edilson de Almeida Maneschy

Área de Concentração: Uso e Transformação de Recursos Naturais

Esta pesquisa apresenta o *Método de Avaliação Global de Fogões à Biomassa* - (MAGOF) que inova por considerar um fogão a biomassa um equipamento de uso doméstico, portanto um produto, diferentemente dos protocolos de avaliação conhecidos, que priorizam os aspectos energéticos. O MAGOF determina o índice de Desempenho Global empregando 72 Requisitos de Qualidade referentes ao ciclo de vida do produto, distribuídos por afinidade entre 5 Atributos que irão indicar os Desempenhos Específicos de Projeto, Ambiental, de Funcionalidade, Energético, onde está inserido o conhecido Water Boiling Test (WBT), e o desempenho Econômico. Estas particularidades inovadoras oferecem informações relevantes para projetistas, pesquisadores, fabricantes, usuários, consumidores, investidores, instituições governamentais reguladoras ou fiscalizadoras e demais atores. Estas informações geradas favorecem o processo decisório, a inovação tecnológica, o melhoramento dos fogões, a saúde e segurança dos usuários, a preservação ambiental e reflete na economia. O MAGOF tem relevância de interesse mundial por ser uma ferramenta alinhada aos esforços mundiais na busca de soluções para os abrangentes problemas decorrentes das inadequações dos fogões a biomassa, já que cerca de 2,5 bilhões de pessoas usam lenha ou carvão para cozinhar em todos os continentes, e a Organização Mundial da Saúde (OMS) constatou que cerca de 1,5 milhão de pessoas morrem anualmente vítimas de doenças respiratórias causadas principalmente por fumaça emitidas por fogões à biomassa. A pesquisa também traz uma aplicação do MAGOF num fogão produzido pela empresa Ecofogão e um fogão artesanal amazônico e compara os respectivos desempenhos

Abstract of Thesis presented to PRODERNA/UFGA as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Doctor of Natural Resources Engineering (D.Eng.).

## **A NEW PROPOSAL FOR EVALUATION OF PERFORMANCE WOODSTOVE**

Sérgio Aruana Elarrat Canto

March/2014

Advisor: Carlos Edilson de Almeida Maneschy

Research Area: Use and Transformation of Natural Resources

This research presents the method of Global Assessment of Biomass Stoves - (MAGOF) which innovates by considering a wood stove as a household equipment, thus a product, unlike the known evaluation protocols that prioritize energy aspects. The MAGOF determines the Global Performance index by employing 72 Quality Requirements regarding the product's life cycle, distributed by affinity amongst 5 Attributes that indicate Performances Of Specific Design, Environmental, Featured, Energy, where it is inserted the Water Boiling Test (WBT), and Economic Specific Performance. These innovative particularities offer relevant information for designers, researchers, manufacturers, users, consumers, investors, regulator or supervisory governmental institutions and other actors. This information favors the decision - making process, technological innovation, improved stoves, health and safety of users, environmental preservation and reflects on the economy. The MAGOF is of global relevance since it is aligned with global efforts in seeking comprehensive solutions to the problems arising from the inadequacy of biomass stoves traditionally available, since about 2.5 billion people use wood or charcoal to cook on all continents, and the World Health Organization (WHO) found out that about 1.5 million people die annually from respiratory diseases caused mainly by smoke emitted by biomass stoves. The survey also brings an application of a MAGOF on a stove produced by the Ecofogão company, and an Amazonian handmade stove. A performance comparison is presented, resulting in consistent values regarding other stoves of the same category.



## SUMÁRIO

|  |           |
|--|-----------|
| <b>CAPÍTULO 1</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>INTRODUÇÃO</b> .....  | <b>1</b>  |
| <b>1.1 - Motivação e Objetivos</b> .....                         | <b>1</b>  |
| <b>1.2 - Objetivos</b> .....                                     | <b>8</b>  |
| 1.2.1 - Geral .....  | 8         |
| 1.2.2 - Específicos .....  | 8         |
| <b>CAPÍTULO 2</b> .....  | <b>9</b>  |
| <b>REVISÃO DE LITERATURA</b> .....                               | <b>9</b>  |
| <b>2.1 - Princípios e Tecnologias de Fogões à biomassa</b> ..... | <b>9</b>  |
| <b>2.3 - As emissões dos fogões à biomassa</b> .....             | <b>14</b> |
| <b>2.4 - Chaminé</b> .....                                       | <b>15</b> |
| <b>2.5 - A Evolução dos Métodos de Avaliação</b> .....           | <b>18</b> |
| <b>2.6 - Protocolos Para Avaliação de Fogões</b> .....           | <b>23</b> |
| 2.6.1 - Teste de Cozimento Controlado .....                      | 23        |
| 2.6.2 - Teste de Desempenho na Cozinha .....                     | 23        |
| 2.6.3 - WBT - Teste de Fervura da Água .....                     | 24        |
| 2.6.4 - Padrões de Desempenho de Fogão .....                     | 28        |
| <b>2.7 - O Fogão como um produto</b> .....                       | <b>31</b> |
| 2.7.1 - Desenvolvimento e Avaliações de Produtos .....           | 32        |
| 2.7.2 - Método de Avaliação de Produtos .....                    | 36        |
| 2.7.3 - Requisitos e indicadores de Avaliação .....              | 37        |
| <b>CAPÍTULO 3</b> .....  | <b>41</b> |
| <b>MATERIAIS E MÉTODOS</b> .....                                 | <b>41</b> |
| <b>3.1 - A Proposta do MAGOF</b> .....                           | <b>41</b> |
| <b>3.2 - Aplicação do Modelo</b> .....                           | <b>46</b> |
| 3.2.1 - Ambientação .....  | 46        |
| 3.2.2 - Os Avaliadores .....                                     | 47        |
| 3.2.3 - Fogões de Ensaio .....                                   | 47        |
| 3.2.4 - Ensaio para a Aplicação do MAGOF .....                   | 50        |
| 3.2.5 - Calibração de Instrumentos .....                         | 51        |
| 3.2.6 - Preparação e Caracterização da Biomassa Empregada .....  | 51        |
| 3.2.7 - Avaliação da Usabilidade .....                           | 52        |
| 3.2.8 - Temperatura da carcaça .....                             | 54        |
| 3.2.9 - Perfil das Temperaturas na Chapa .....                   | 55        |
| 3.2.10 - Avaliação das emissões dos Gases da Combustão .....     | 58        |
| 3.2.11 - Emissão de SO <sub>2</sub> .....                        | 61        |
| 3.2.12 - Teste da Água Fervente (WBT) .....                      | 61        |
| 3.2.13 - As Panelas e Demais Materiais .....                     | 62        |
| 3.2.14 - WBT no Metálico .....                                   | 65        |
| 3.2.15 - WBT no Fogareiro .....                                  | 66        |
| 3.2.16 - Ponto de Ebulição .....                                 | 67        |

|  |            |
|--|------------|
| <b>3.3 - WBT no Fogão a Gás .....</b>                      | <b>68</b>  |
| <b>3.4 - Avaliação Econômica .....</b>                     | <b>68</b>  |
| <b>3.5 - Desempenho Global .....</b>                       | <b>68</b>  |
| <b>CAPÍTULO 4 .....</b>                                    | <b>69</b>  |
| <b>RESULTADOS E DISCUSSÃO.....</b>                         | <b>69</b>  |
| <b>4.1 - Desempenho Específico de Projeto.....</b>         | <b>69</b>  |
| 4.1.1 - Análise de Projeto e Fabricação do Fogareiro ..... | 69         |
| 4.1.2 - Análise de Projeto e Fabricação do Metálico .....  | 70         |
| 4.1.3 - Ensaio Perfil de Temperatura na Chapa .....        | 71         |
| 4.1.4 - Imagens com Termovisor .....                       | 75         |
| 4.1.5 - Simulação Computacional.....                       | 75         |
| 4.1.6 - Equações de Conservação .....                      | 76         |
| 4.1.7 - Apresentação do problema físico.....               | 81         |
| 4.1.8 - Condições de Contorno .....                        | 83         |
| 4.1.9 - Modelo Matemático .....                            | 84         |
| 4.1.10 - O Modelo no Ansys .....                           | 85         |
| 4.1.11 - Estratégia para malhar .....                      | 86         |
| 4.1.12 - Propriedades da Malha .....                       | 87         |
| 4.1.13 - Validação dos Resultados.....                     | 88         |
| <b>4.2 - Desempenho específico de Funcionalidade.....</b>  | <b>93</b>  |
| 4.2.1 - Avaliação de Usabilidade do Metálico .....         | 93         |
| 4.2.2 - Variação Dimensional .....                         | 95         |
| 4.2.3 - Avaliação de Usabilidade do Fogareiro .....        | 99         |
| <b>4.3 - Desempenho Específico Ambiental .....</b>         | <b>102</b> |
| 4.3.1 - Caracterização da biomassa usada nos testes .....  | 102        |
| 4.3.2 - Análises dos gases emitidos pelo Metálico .....    | 102        |
| 4.3.3 - Identificação da fonte de SO <sub>2</sub> .....    | 104        |
| <b>4.4 - Desempenho Específico Energético .....</b>        | <b>110</b> |
| 4.4.1 - Determinação do Ponto de Ebulição .....            | 110        |
| 4.4.2 - WBT no Metálico .....                              | 112        |
| 4.4.3 - WBT para o Fogareiro .....                         | 119        |
| <b>4.5 - Desempenho Específico Economico.....</b>          | <b>124</b> |
| <b>4.6 - Desempenho Global. ....</b>                       | <b>128</b> |
| <b>CAPÍTULO 5 .....</b>                                    | <b>131</b> |
| <b>CONCLUSÕES E SUGESTÕES .....</b>                        | <b>131</b> |
| <b>REFERÊNCIAS.....</b>                                    | <b>132</b> |
| <b>APÊNDICE 1 .....</b>                                    | <b>138</b> |
| <b>COMBUSTÃO DE BIOMASSA .....</b>                         | <b>138</b> |
| <b>APÊNDICE 2 .....</b>                                    | <b>150</b> |
| <b>PLANILHAS DO MAGOF .....</b>                            | <b>150</b> |
| <b>APÊNDICE 3 .....</b>                                    | <b>155</b> |
| <b>RESULTADOS DO WBT.....</b>                              | <b>155</b> |

## LISTA DE FIGURAS

|   |    |
|---|----|
| Figura 1.1 - Artesanato Mineiro. ....   | 4  |
| Figura 1.2 - Artesanato indígena da etnia Pataxó – Bahia. ....                          | 4  |
| Figura 2.1 - Fogão com uma chaminé - projetada pela Helps na América Central.....       | 16 |
| Figura 2.2 - Fogão com coifa, Tanzânia. ....  | 16 |
| Figura 2.3 - Afastamentos da chaminé para o telhado.....                                | 18 |
| Figura 2.4 - Figura padrão do WBT.....  | 24 |
| Figura 2.5 - Linha de base para o consumo de fogões com chaminé para vario fogões.      | 29 |
| Figura 2.6 - Linha de base de Emissões de CO .....                                      | 29 |
| Figura 2.7 - Linha de base para particulado para varios fogões testados.....            | 30 |
| Figura 2.8 - Linha de base para a biomassa utilizada .....                              | 30 |
| Figura 2.9 - Modelo do ciclo de vida em espiral conforme Fonseca (2000).....            | 33 |
| Figura 2.10 - Modelo Unificado concebido por Rozenfeld et al (2006).....                | 34 |
| Figura 2.11 - Sistemática da fase Acompanhar Produto e Processo.....                    | 35 |
| Figura 3.1 - Método de Avaliação Global de Fogão à Biomassa (MAGOF).....                | 42 |
| Figura 3.2 - Desenhos em Perspectivas do Fogão modelo Metálico. ....                    | 48 |
| Figura 3.3 - (A) Fogareiro montado e (B) em vista explodida.....                        | 49 |
| Figura 3.4 - Aparato de calibração dos termopares. ....                                 | 51 |
| Figura 3.5 - Faixas para medição de temperatura na caraça do Metálico. ....             | 55 |
| Figura 3.6 - (A) Croqui da malha, (B) Malha traçada na placa, (C) Aparato de ensaio.    | 57 |
| Figura 3.7 - Aparato para a medição de gases.....                                       | 59 |
| Figura 3.8 - Grelha rubra durante a operação.....                                       | 61 |
| Figura 3.9 - Grelha degradada e deformada pelo calor.....                               | 61 |
| Figura 3.10 - Arranjo adotado com base no WBT.....                                      | 62 |
| Figura 3.11 - Painelas utilizadas nos Ensaios WBT nos vários fogões. ....               | 62 |
| Figura 3.12 - Painela quadrada, confeccionada para o WBT no Metálico.....               | 63 |
| Figura 3.13 - Aparato do WBT com painelas quadradas no Metálico.....                    | 65 |
| Figura 3.14 - Aparato do WBT com painelas circulares no Metálico. ....                  | 65 |
| Figura 3.15 - Coleta das massas da biomassa, da agua inicial e final e das cinzas. .... | 66 |
| Figura 3.16 - Aparato no Fogareiro para o WBT. ....                                     | 67 |
| Figura 3.17 - Locação do termopar de controle.....                                      | 67 |
| Figura 3.18 - Aparato para determinar o ponto de ebulição local da água. ....           | 67 |
| Figura 4.1 - Fogareiro montado e com seu tres componentes.....                          | 69 |
| Figura 4.2 - Imagem de divulgação. ....   | 70 |
| Figura 4.3 - Linha de produção.....   | 70 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.4 - Croqui da malha traçada na face superior da placa. ....  | 71  |
| Figura 4.5 - Face superior com a malha e a projeção da saída da câmara. ....  | 71  |
| Figura 4.6 - Gráfico das médias das temperaturas em regime permanente.....  | 72  |
| Figura 4.7 - Distribuição das médias de temperaturas na Chapa.....  | 74  |
| Figura 4.8 - Registos de evolução do aquecimento da placa do Metálico. ....   | 75  |
| Figura 4.9 - Fluxo mássico que entra e sai de um elemento de fluido.....  | 76  |
| Figura 4.10 - Esforços superficiais sobre as faces do elemento de fluido .....  | 77  |
| Figura 4.11 - Esforços normais e tangenciais que atuam sobre um volume de fluido ...                                  | 80  |
| Figura 4.12 - Detalhes Morfológicos do Metálico.....  | 82  |
| Figura 4.13 - Representação do fogão com suas dimensões .....   | 83  |
| Figura 4.14 - Condições de Contorno .....   | 83  |
| Figura 4.15 - . Elementos de analise. ....  | 85  |
| Figura 4.16 - Elementos usados para malhar geometrias tridimensionais. ....   | 86  |
| Figura 4.17 - Malha realizada com Fluent. ....  | 86  |
| Figura 4.18 - Vistas das simulações das temperaturas em regime permanente.....  | 87  |
| Figura 4.19 - Vistas com malha das simulações das temperaturas.....   | 87  |
| Figura 4.20 - Resultados dos ensaios no trecho de regime permanente do sistema. ....                                  | 89  |
| Figura 4.21 - Projeção da saída da câmara de combustão no ressalto da placa. ....                                     | 91  |
| Figura 4.22 - Trincas no bloco cerâmicos e na câmara de combustão.....  | 94  |
| Figura 4.23 - Fita de vedação deteriorada. ....   | 94  |
| Figura 4.24 - Apoios na câmara para o suporte da grelha.....  | 94  |
| Figura 4.25 - Grelhas desgastados pela oxidação.....  | 94  |
| Figura 4.26 - Trincas ocorridas em placas com uso prolongado. ....  | 95  |
| Figura 4.27 - Variação Dimensional. ....  | 96  |
| Figura 4.28 - Placa modificada com orifício e tampa. ....   | 96  |
| Figura 4.29 - Alerta de segurança. ....   | 97  |
| Figura 4.30 - Extremidade da grelha saliente.....   | 97  |
| Figura 4.31 - Marcação das faixas de medição na carcaça do Fogão.....   | 97  |
| Figura 4.32 - Temperaturas médias nas faixas da carcaça do fogão.....   | 98  |
| Figura 4.33 - Média das temperaturas nas faces da carcaça do fogão. ....  | 99  |
| Figura 4.34 - Painel enegrecido.....  | 100 |
| Figura 4.35 - Fumaça produzida.....   | 100 |
| Figura 4.36 – Gráfico da Concentração dos gases emitidos com alimentação de biomassa nos ensaios WBT no Metálico..... | 103 |
| Figura 4.37 – Gráfico da Concentração dos gases emitidos com Temperatura de Controle nos ensaios WBT no Metálico..... | 103 |

|   |     |
|---|-----|
| Figura 4.38 - Grelha deteriorada com escamações. ....                                 | 105 |
| Figura 4.39 - Porções do material da grelha para pulverização na chama. ....          | 105 |
| Figura 4.40 - Concentração de SO <sub>2</sub> (ppm) com pulverização de limalha. .... | 106 |
| Figura 4.41 - Microestrutura do corpo de prova 50x. ....                              | 106 |
| Figura 4.42 - Emissão de gases com a temperatura de controle do Metálico. ....        | 108 |
| Figura 4.43 - Emissão de gases com alimentação de biomassa do Metálico. ....          | 108 |
| Figura 4.44 - Ponto de ebulição da água ....  | 111 |
| Figura 4.45 - Curva de ebulição típica da água a pressão de 1 atm.....                | 112 |
| Figura 4.46 - Arranjo padrão das panelas ....   | 113 |
| Figura 4.47 - Formação de bolhas no fundo da panela mestra e no termopar.....         | 114 |
| Figura 4.48 - Fogareiro com panela de 1 litro no WBT.....                             | 119 |
| Figura 4.49 - Valores dos Desembolsos mensais ....                                    | 127 |
| Figura 4.50 - Valores dos Desembolsos dos sub Itens para o ano 0.....                 | 127 |
| Figura 4.51 - Síntese da avaliação de desempenho ....                                 | 130 |

## LISTA DE TABELAS

|   |     |
|---|-----|
| Tabela 2.1 - Fogões à biomassa classificados pelo tipo combustível utilizado..... | 10  |
| Tabela 2.2 - Tipos de Fogões à biomassa no Mundo.....                             | 11  |
| Tabela 2.3- Fogões que utilizam os princípios de Winiarski. ....                  | 12  |
| Tabela 2.4 - Os dez princípios de Winiarski. ....                                 | 13  |
| Tabela 2.5 - Requisitos de qualidade para fogões à biomassa. ....                 | 32  |
| Tabela 2.6 - Métodos de avaliações de produtos.....                               | 37  |
| Tabela 2.7 - Atributos de produto.....  | 39  |
| Tabela 2.8 - Componentes mínimos dos atributos básicos do produto.....            | 40  |
| Tabela 3.1 - Abordagem dos Desempenhos Específicos. ....                          | 43  |
| Tabela 3.2 - Sistemática de Preenchimento das Planilhas do MAGOF.....             | 45  |
| Tabela 3.3 - Ensaio empregados na aplicação do MAGOF.....                         | 50  |
| Tabela 3.4 - Materiais e Normas Utilizadas na Caracterização de Biomassa. ....    | 52  |
| Tabela 3.5 - Os 10 Princípios Básicos da Usabilidade. ....                        | 53  |
| Tabela 3.6- Materiais utilizados para mapear as temperaturas na chapa. ....       | 56  |
| Tabela 3.7 - Especificações dos Equipamentos Usados na Análise de Emissões. ....  | 60  |
| Tabela 3.8 - Material empregados nos ensaios WBT. ....                            | 64  |
| Tabela 3.9 - Locação dos termopares nos Ensaio WBT no Metálico. ....              | 66  |
| Tabela 4.1 - Comparação dos Resultados no Instante T <sub>máximas</sub> . ....    | 90  |
| Tabela 4.2 - Composição química de diferentes tipos de ferro fundido .....        | 107 |
| Tabela 4.3 - Microscopia Eletrônica de Varredura na grelha do Metálico .....      | 107 |
| Tabela 4.4 - Resultados Típicos do WBT no Metálico com Painelas Quadradas. ....   | 116 |
| Tabela 4.5 - Resultados Típicos do WBT no Metálico com Painelas Circulares. ....  | 117 |
| Tabela 4.6 - Resultado do WBT para o Metálico. ....                               | 118 |
| Tabela 4.7 - Resultado do WBT para o Fogareiro.....                               | 120 |
| Tabela 4.8 - Resultados típicos do WBT aplicado no Fogareiro.....                 | 121 |
| Tabela 4.9 - Estimativa do consumo de combustível. ....                           | 124 |
| Tabela 4.10 - Levantamento de Custos dos Fogões.....                              | 125 |
| Tabela 4.11 - Análise econômica dos desembolsos projetados no periodo de 5 anos.. | 126 |

## NOMENCLATURA

|                               |   |
|-------------------------------|---|
| L                             | Calor de vaporização da água, para as condições locais, kJ/kg |
| C                             | Calor específico da água, kJ/kg°C                             |
| h <sub>lv</sub>               | Entalpia de vaporização da água                               |
| m <sub>Bioq</sub>             | Massa da biomassa consumida, kg                               |
| m <sub>cinza</sub>            | Massa da cinza residual, g                                    |
| m <sub>evap</sub>             | Massa de água evaporada, g                                    |
| m <sub>agua</sub>             | Massa de água formada na combustão, kg                        |
| m <sub>H2O</sub>              | Massa de água nos recipientes no início do experimento, g     |
| m <sub>ar</sub>               | Massa de ar real:   |
| m <sub>ar</sub> <sup>o</sup>  | Massa de ar teórico ou estequiométrico                        |
| m <sub>Bioali</sub>           | Massa de biomassa de alimentação, kg                          |
| m <sub>gas</sub> <sup>o</sup> | Massa de gases estequiométrico                                |
| m <sub>gas</sub>              | Massa de gases real   |
| m <sub>comb</sub>             | Massa do combustível,   |
| m <sub>t</sub>                | Massa total de biomassa utilizada, g                          |
| N <sub>ar</sub>               | Número de moles do ar,  |
| N <sub>comb</sub>             | Número de moles do combustível,                               |
| ppm                           | Parte por milhão  |
| PCI                           | Poder calorífico inferior do combustível, kJ/kg               |
| PCS                           | Poder Calorífico Superior, kJ/kg                              |
| P <sub>nm</sub>               | Potência nominal média, W                                     |
| P <sub>um</sub>               | Potência útil média, W  |
| Q <sub>u</sub>                | Quantidade de calor útil, Joule                               |
| Q <sub>n</sub>                | Quantidade de calor nominal gerado pela biomassa, Joule       |
| T <sub>i</sub>                | Temperatura da água no início do experimento, °C              |
| T <sub>e</sub>                | Temperatura de ebulição, para a pressão no local, °C          |
| h                             | Concentração de hidrogênio do material seco,                  |
| w <sub>bu</sub>               | Teor de umidade em base úmida                                 |
| w <sub>bs</sub>               | Teor de umidade em base seca                                  |
| BioU                          | Umidade da Biomassa, %  |
| V <sub>ar</sub> <sup>o</sup>  | Volume de ar estequiométrico                                  |
| V <sub>ar</sub>               | Volume de ar real   |
| Letras Gregas                 |   |
| η                             | Eficiência, %   |
| α                             | Excesso de ar   |
| Δt                            | Intervalo de tempo total da operação, °C                      |
| λ                             | Razão ar combustível,   |
| Φ                             | Razão de equivalência,  |

# CAPÍTULO 1

## INTRODUÇÃO

### 1.1 - MOTIVAÇÃO E OBJETIVOS

Apesar da humanidade constantemente experimentar avanços tecnológicos que promovem mudanças nas condições de vida no planeta, a combustão continua presente no cotidiano do ser humano, com um importante papel na sua evolução, estando associada às conquistas nos processos industriais e satisfazendo as necessidades básicas humanas de calor e cocção de alimentos que provavelmente foram as primeiras aplicações humanas para o fogo. Ainda hoje é difícil imaginar, no mundo, um lar humano que não utilize o fogo para preparar alimentos, reforçando o sentimento de que apesar de todos os avanços tecnológicos, a humanidade continua ao redor da fogueira, desfrutando dos benefícios do calor e fortalecendo suas relações sociais.

A cocção de alimentos é uma tarefa diária repetida por milhões de pessoas das mais variadas culturas. Os fatores ambientais, culturais e econômicos são determinantes nas escolhas da tecnologia e do combustível. Estima-se que, atualmente, mais da metade da população mundial utiliza biomassa com fogo aberto (BRYDEN *et al.*, 2005), e que cerca de 2,5 bilhões de pessoas no mundo usem lenha ou carvão para cozinhar (WINROCK INTERNATIONAL E SHELL FOUNDATION, 2007). Neste contexto, em países em desenvolvimento são consumidos diariamente dois milhões de toneladas métricas de madeira, carvão, sobras de colheita ou esterco, equivalendo a aproximadamente um quilograma por dia por pessoa (WINROCK INTERNATIONAL E SHELL FOUNDATION, 2007).

A disponibilidade energética tem desigualdades que é perceptível quando se compara o consumo energético per capita médio de 6 kW dos países desenvolvidos, com os países da África e Ásia que consomem apenas um décimo disso. Especificamente a América do Norte consome acima de 10 kW, enquanto na África consome aproximadamente 450 W e o consumo pode variar dramaticamente com a estação do ano, clima e disponibilidade dos combustíveis (WINROCK INTERNATIONAL E SHELL FOUNDATION, 2007).



Outro aspecto da desigualdade está no fato de que apenas 14% da energia consumida mundialmente provêm de biomassa e que os países em desenvolvimento dependem fortemente de biomassa energética, demonstrando a existência de escassez energética (WINROCK INTERNATIONAL E SHELL FOUNDATION, 2007).

A Food and Agriculture Organization of the United Nations - FAO - estima que o número de pessoas que sofre com a escassez aguda de biomassa energética aumentou de aproximadamente 100 milhões entre 1980 para mais de 350 milhões no ano 2000. Com o agravante de que em muitos países em desenvolvimento até 95% da energia da biomassa é destinada ao uso doméstico.

A United States Agency for International Development – USAID - chama a atenção de que o uso de biomassa como combustível é crucial para as economias da maioria dos países em desenvolvimento, já que indiretamente representa comida, medicina e roupa para os pobres urbanos. Este quadro mostra que a energia de biomassa para a cocção de alimentos não é um problema pequeno, com reflexos isolados e distintos, já que os fogões à biomassa são usados em todos os continentes.

O Boletim Energético Nacional (BEN) de 2013, referentes a 2012, publicados pelo Ministério de Minas e Energia, é lacônico quanto ao consumo residencial de lenha, reporta que no período as fontes renováveis geraram energia que representou 42,4% da matriz energética, a lenha e o carvão vegetal representaram 9,1% deste total, correspondendo a 25,7 Mtep. O consumo das famílias representou 9,4 % do consumo total e 27,2 % das fontes renováveis. Com um crescimento de 0,2 %.

Para o Brasil-Ministério De Desenvolvimento Social E Combate a Fome- Mds (2010),a lenha é um recurso renovável que gera emprego e renda localmente e para o Ministério do Meio Ambiente brasileiro a lenha só representa um atraso se for explorada de forma indiscriminada, acredita que o uso for planejado será uma fonte importante de recursos para países em desenvolvimento, longe da ideia de que a lenha seja sinal de pobreza. Dados do Balanço Energético Nacional de 2009, publicado pelo Ministério de Minas e Energia mostrou que a lenha participou da produção energética brasileira com 12,4% e que historicamente o setor residencial brasileiro consome mais lenha do que GLP. Em 2009, da energia consumida no setor veio da lenha 33,9% e 2,3% do carvão vegetal, seguido por gás liquefeito de petróleo - GLP com 26,6%. Goldemberg e Lucon (2012) acrescentam que a lenha e o carvão na maioria das vezes complementam o gás de

cozinha. O botijão de gás aumentou 622% nos últimos dez anos, enquanto o custo da lenha praticamente não tem valor comercial.

O tipo e a quantidades de energia utilizados diferem entre as classes sociais e consequentemente conforme a renda. As classes mais abastadas têm padrões de consumo maiores para satisfazer suas necessidades consumo elevadas, enquanto que as classes menos favorecidas principalmente as comunidades rurais necessitam de energia para satisfazer necessidades mais básicas, como alimentação, abrigo e calor. A lenha é a fonte de energia dominante nas áreas rurais, sendo um trabalho de mulheres crianças colher gravetos como combustível para cozinhas, em vez de comprar madeira.

A retirada de madeira da floresta envolve diferentes tipos de impactos que vão desde abertura de trilhas e o pisoteio de plântulas no local da extração até efeitos sobre as populações das espécies extraídas e na biomassa da floresta (BEZERRA E AGUIAR, 2011).

Durante o século XX ocorreu no Brasil um intenso processo de urbanização com mudanças no comportamento de utilização de fogões e no consumo de lenha e carvão. Na década de 70 o governo federal brasileiro estimulou esta mudança incentivando a substituição do fogão à biomassa por fogão a gás, alegando razões de saúde do usuário. Tal mudança foi mais intensa no meio urbano, onde se verificou que nos domicílios, o percentual de fogão à biomassa baixou drasticamente entre 1960 a 1970. Em 1960, 61% dos domicílios tinham fogão à biomassa e somente 18% fogão a gás. Em 1970, o percentual de domicílios com fogão à biomassa contabilizou 45%, enquanto que os domicílios que tinham fogão a gás já perfaziam 42% do total.

Apesar dos incentivos, na área rural o percentual se manteve praticamente inalterado, em torno de 80%. O IBGE estima que atualmente no Brasil existem 45 milhões de domicílios com 42 milhões de fogão a gás, seis milhões de fogão à biomassa e 3,2 milhões a carvão. Neste painel nove milhões de famílias brasileiras usam fogão à biomassa. Demonstrando que o uso de fogões à biomassa continua sendo significativo.

A preferência por fogões à biomassa é fortemente motivada por custos, disponibilidade de recursos energéticos e cultura. Os consumidores consideram um bom fogão à biomassa não somente por usar pouca lenha, ou ter emissão reduzida, mas a principal qualidade é a maneira como a comida é preparada (BRYDEN *et al.*, 2005).

É fácil perceber que no Brasil, além de uma fonte de calor, o fogão à biomassa tem valores intangíveis associados à memória afetiva. Havendo abundância de lenha, o fogão pode ficar aceso o dia inteiro, sendo usado para cozinhar, assar e aquecer a água de banho. Nas regiões mais frias, ganha mais uma referência como fonte de calor e aconchego para combater o frio tornando a cozinha um recinto acolhedor para reuniões familiares, além de ser uma referência de boa comida caseiras.

Esta imagem carregada de simbolismo é recorrente na música, na literatura, na poesia, no artesanato. Figura 1.1 mostra o artesanato de Minas Gerais que reproduz um típico fogão mineiro com riqueza de detalhes, da mesma maneira pode ser vista na miniatura do fogareiro indígena, mostrado na Figura 1.2, produzido pela etnia Pataxó, na Bahia. Frequentemente os veículos de propaganda laçam mão destas referências como atrativo em restaurantes, por exemplo.



Figura 1.1 - Artesanato Mineiro.

Fotos do autor



Figura 1.2 - Artesanato indígena da etnia Pataxó – Bahia.

Durante esta pesquisa foi evidenciada, além dos aspectos socioculturais, a multifuncionalidade dos fogões à biomassa, especialmente no ambiente rural. Os usuários de fogão à biomassa na ilha do Marajó reportaram conhecer os malefícios causados pelo calor e pela fumaça e acrescentaram que os seus fogões tem as funções de afugentar os insetos xilófagos que atacam os telhados de palha e o madeirame das casas e os transmissores de doenças, como a malária. A fumaça também é usada para conservar sabão, defumar alimentos e a fuligem tem fins medicinais, da mesma forma que é utilizada nas zonas rurais da região sudeste, recebendo a mesma denominação de origem tupi: Picumã, ou Tisna.

A Organização Mundial da Saúde - OMS - estima que mais de 1,5 milhões de pessoas morrem anualmente no mundo, vítimas da poluição doméstica, deste total, são 80 mil crianças da América Latina e quase metade do Brasil (PRIETSCH *et al.*, 2003). Os fogões à biomassa são os principais responsáveis, devido as particularidades do uso contínuo no ambiente doméstico e a proximidade com os usuários, os mais vulneráveis são aqueles que passam mais tempo compartilhando o mesmo ambiente do fogão, como as mulheres, os idosos, os doentes e as crianças. (REEVE *et al.*, 2013).

A Aliança Global para Fogões Limpos, da Fundação das Nações Unidas, propôs para 2015 programas para estimular o uso de fogões com tecnologias mais aprimoradas nos países em desenvolvimento para atenuar problemas de saúde causados pela fumaça. A Organização Mundial de Saúde (OMS) indicou que no mundo todo 3 bilhões de pessoas ainda dependem de biomassa como lenha, carvão e até esterco de gado para cozinhar, produzir energia e aquecer suas casas.

Diante da extensão dos riscos oferecidos por fogões ineficientes surgiram iniciativas para reduzi - los que aliaram instituições mundiais como a ONU, FAO, OMS, de governos de países da África, Europa, Ásia e América, Winrock, Proleña, Instituto de Desenvolvimento Sustentável e Energias Renováveis - IDER, Aprovecho Research Center, Berkeley University of Califórnia - UCB, Volunteers in Technical Assistance - VITA, Technology Institute/Eindhoven, Indian Institute of Science - IISC, Shell Foundation, Engineers in Technical and Humanitarian Opportunities of Service - ETHOS, indústrias como a PHILLIPS, a Ecofogão, e agências de fomento como o Banco Mundial, o surgimento de programas como o Partnership for Clean Indoor Air - PCIA - que conta atualmente com 461 instituições parceiras que estão envolvidas em pesquisas científicas, assim como iniciativas individuais de especialistas e cientistas que desenvolveram modelos de fogões bem sucedidos, como Crispin Pemberton - Pigott, Paul Anderson que alia gasificação aos fogões à biomassa e Tom Reed que passou décadas pesquisando a queima de madeira e produziu fogões com ventiladores com grande sucesso (BRYDEN *et al.*, 2005).

A organização ETHOS—Engineers Technical and Humantarian Opportunities of Service - promove encontros anuais tendo como tema central o desenvolvimento de fogões à biomassa. O Primeiro Seminário Brasileiro sobre Fogões Ecológicos foi realizado por iniciativa da PROLENHA e do CEPAN, em Recife - Pernambuco, nos dias

11 e 12 de Julho de 2013. O objetivo do seminário foi discutir a problemática ocasionada pelo uso de fogões à biomassa primitivos no Brasil, e analisar as possíveis soluções; bem como trocar experiências sobre a promoção de fogões ecológicos; além de propor iniciativas e estratégias de desenvolvimento para um maior acesso das famílias as tecnologias de fogões ecológicos.

A PROLENHA estima que no Brasil aproximadamente nove milhões de famílias brasileiras ainda utilizam biomassa para cozinhar, das quais 50% estão no nordeste. A grande maioria utiliza diariamente fogões de desenho primitivo, muito ineficientes e que emitem grande quantidade de fumaça, o que leva à morte prematura de 21 mil pessoas todos os anos no País, devido a problemas de saúde decorrentes da exposição à fumaça. Algumas das principais conclusões e recomendações do Seminário, foram:

- Formular a criação de políticas públicas de segurança energética, meio ambiente, desenvolvimento agrário, desenvolvimento social e saúde para a difusão de tecnologias de fogões à biomassa menos poluentes e mais eficientes, aqui descritos como fogões ecológicos ou ecoeficientes;
- Incentivar a pesquisa e geração de dados na temática do uso doméstico da lenha com fogões tradicionais e ecoeficientes, seus impactos na floresta e na saúde, para difundir os benefícios dos fogões ecoeficientes;
- Sensibilizar o poder público: MMA, MME, MDA, MS, MDS, além de governos estaduais e municipais para a causa.

Considerando que um fogão à biomassa é um artefato de uso doméstico, com diversos usuários no mundo, o trabalho de melhoria precisa também observar os fatores culturais envolvidas, pois um projeto pode encontrar resistências dos usuários, como ocorreu no México quando 50% das mulheres preferiam seus antigos fogões apesar de menos eficientes e mais perigosos. Foi preciso um trabalho de convencimento e a colaboração dos usuários para melhorar o projeto para que, no final, 70% das famílias passassem a utilizar o fogão Patsari regularmente (STILL E MACCARTY, 2008). Em Bangladesh, as mulheres disseram que sabiam sobre os benefícios que fogões novos trazem à saúde, mas foram cautelosas em adotá-los à frente da família, dos amigos e de líderes comunitários. Muitas disseram temer que os novos fogões fossem alterar o sabor da comida e desagradar seus maridos.

O custo é outro fator que dificulta a disseminação. Rogério Carneiro, da Ecofogão em entrevista reportou que ainda não existe uma indústria global de fogão à biomassa com boa eficiência. Na Índia, a comercialização dos fogões começou em 2008 e estão iniciando na África e no Brasil, embora já existam, no mercado brasileiro, vários modelos de fogões ditos ecológicos apresentando boa queima, baixo consumo de biomassa e menor emissão de poluentes, como preconiza a OMS, como também existe uma grande demanda por este tipo de produto. Entretanto, o preço desses fogões ainda é proibitivo para as camadas mais pobres da população, exatamente as que mais dependem do equipamento. Muito antes, já se enunciava que a organização do mercado de fogões à biomassa e a melhoria da logística do fornecimento de biomassa criaria oportunidades para a criação de empregos, melhor aproveitamento de recursos ambientais e impulsionaria a melhoria tecnológica, mesmo em ambientes urbanos (BARNES *et al.*, 1994).

Sarah Butler Sloss, fundadora Diretora do Ashden Awards for Sustainable Energy, acredita que para melhorar fogões os custos não são grandes, os mecanismos de ampliação de produção não são complexos e os benefícios são múltiplos, que inclui qualidade de vida e ambiental.

Para atender o mercado em grande escala é importante o envolvimento de programas governamentais e de empresas para aumentar a abrangência. Também é importante trabalhar com estreita colaboração das comunidades. Um aparelho a combustão deve satisfazer uns requisitos básicos, especialmente o consumo mínimo de combustível, o baixo nível de emissão de poluentes atmosféricos e a comodidade de operação como facilidade de limpeza, acendimento e ausência de odores desagradáveis, sendo necessário projetar cuidadosamente o equipamento, até chegar à solução mais eficiente (FERREIRA, 2001). Os projetistas precisam identificar as reais necessidades dos usuários, tratando o fogão como um produto e assim fazer uso das Metodologias de Projeto de Produto para melhorar a tecnologia, aumentar as chances de sucesso, superar as barreiras, permitir que os projetos sejam socialmente aceitos, culturalmente apropriados e economicamente viáveis.

O interesse científico vem se intensificando nos últimos 20 anos, a reboque das questões ambientais e redução dos custos sociais, com o objetivo de melhorar a qualidade de vida e evitar o desperdício de biocombustíveis (NOGUEIRA E LORA, 2003). Ferreira

(2001) infere que em situações de crise de suprimento de combustíveis, a eficiência torna-se o parâmetro dominante, pois representa a quantidade de trabalho necessário à obtenção do combustível. Nos países de baixa renda, é regra geral o uso de lenha catada, estume bovino e restos agrícolas. Em geral dispersos, cuja coleta requer esforço físico. Dobrar a eficiência de um fogão significa reduzir o trabalho de coleta.

A eficiência é o item mais discutido entre os pesquisadores. A definição é controversa devido aos vários sentidos dados e pela operação com fatores muito variáveis e de difícil controle. Entretanto, existe uma grande variedade de fogões e persiste a necessidade de determinar a eficiência das unidades. Para isto é necessário ter um padrão de procedimentos para reger uma avaliação. Com os resultados de maneira confiável é possível conhecer o desempenho de uma unidade, compará-la com outra, fundamentar observações que irão auxiliar os projetistas e movimentar a evolução tecnológica.

Este trabalho se alinha com o desejo da coletividade e aos esforços científicos para apresentar uma metodologia de avaliação de desempenho de fogões à biomassa.

## **1.2 - OBJETIVOS**

### **1.2.1 - Geral**

Contribuir para o melhoramento dos fogões a lenha empregado um protocolo de avaliação que gere informações de interesse dos projetistas, construtores, financiadores, comerciantes, usuários e entidades públicas de fomento e controle e demais atores envolvidos com fogões à biomassa.

### **1.2.2 - Específicos**

- Desenvolver um método de avaliação de fogões à biomassa abrangente, acessível e universal que seja capaz de avaliar um fogão à biomassa em todo seu ciclo de vida fornecendo informações de interesse a todos os atores envolvidos;
- Testar o protocolo.

## CAPÍTULO 2

### REVISÃO DE LITERATURA

#### 2.1 - PRINCÍPIOS E TECNOLOGIAS DE FOGÕES À BIOMASSA

Até o ano 2010 a literatura científica sobre fogões a biomassa era escassa. A produção bibliográfica era impulsionada por algumas universidades, ONGs, instituições governamentais de países em desenvolvimento e fundações interessadas no tema. O material produzido tornou-se um clássico que ainda hoje é referência importante. O WBT (Water Boiling Test) é um exemplo de teste produzido na década de 80 que embora seja periodicamente revisado é empregado com os mesmos princípios.

A fogueira é certamente o fogão mais antigo e mais simples que se tem notícia e que ainda é largamente utilizada, inclusive tecnicamente, sendo referenciada como fogo aberto, ou fogão de três pedras e serve de referência no processo de aperfeiçoamento de fogões. Os pesquisadores Grant Ballard e Kirk Smith postularam que a eficiência é influenciada pela maneira como o fogo é controlado e formularam a teoria de que o fogo de três pedras pode ser mais limpo e mais eficiente do que muitos fogões modernos, desmitificando a ideia de que qualquer coisa é melhor do que o fogo aberto (BRYDEN *et al.*, 2005).

A experiência adquirida com o tempo, somada às estratégias desenvolvidas e as observações fez a humanidade produzir uma grande variedade de fogões e acumular um volumoso conhecimento tácito que não deve ser menosprezado pelo olhar científico no aprimoramento dos projetos em busca de um fogão ideal (BRYDEN *et al.*, 2005).

Os fogões a lenha produzidos no mundo são bastante diversificados e estão presentes em todos os continentes. A Tabela 2.1 mostra a classificação de fogões conforme o tipo de combustível empregado na combustão, segundo Nogueira e Lora (2003) enquanto que a Tabela 2.2 traz alguns exemplos da grande variedade de tipos de fogões espalhados pelo mundo e que utilizam tecnologias diversificadas, englobando o rústico fogão de três pedras, os industrializados de elevado desempenho, co-geradores de calor e eletricidade e ainda fogões gaseificadores. Todos coexistem em locais distintos justificados pelas necessidades e preferências do usuário. Ferreira (2001) postula que Um fogão bem construído pode ser usado de forma relativamente cômoda, permitindo tirar bom proveito do combustível colhido no local de uso.



No Brasil também existe uma grande variedade de fogões à biomassa. Ferreira (2001) traça uma linha de evolução que inclui os fogões indígenas fundamentados no conhecimento secular dos índios, passa pelo tradicional fogão à biomassa construído em alvenaria de tijolos com uma chapa de ferro fundido com aberturas para a colocação das panelas em contato direto com a chama, ressalta que a íntima relação da cultura mineira com os fogões a lenha contribuiu para a evolução tecnológica, somando o conhecimento trazido pelos migrantes e por fim os resultados das pesquisas científicas para melhorar o desempenho dos fogões. Os fogões estão em todos os continentes então esses esforços são contínuos incentivados por organizações não Governamentais, Governos, centros de pesquisa que produzem trabalhos como o de Lau *et al.* (2013) que propuseram melhorias para fogões brasileiros, ou Ward *et al.* (2013), que avaliaram mudanças em fogões em escolas e Ware *et al.* (2013) que estudaram a poluição interior no Alasca.

Tabela 2.1 - Fogões à biomassa classificados pelo tipo combustível utilizado.

| <b>Tipo de Combustível</b> | <b>Tipos de fogões</b>    |              |
|----------------------------|---------------------------|--------------|
| Carvão Vegetal             | Cerâmicos                 |              |
|                            | Metálicos                 |              |
| Lenha                      | Sem Chaminé               | Uma panela   |
|                            |                           | Multipanelas |
|                            | Tradicional - três pedras |              |
|                            | Com Chaminé               | Leve         |
| Pesado                     |                           |              |
| Resíduos Agrícolas         | Compactos                 |              |

Fontes: <http://www.pciaonline.org>; Nogueira e Lora (2003)

Tabela 2.2 - Tipos de Fogões à biomassa no Mundo.

|  |  |   |
|--|--|---|
|  <p>Fogo aberto - Índia *</p>   |  <p>Lucia Stove - Haiti**</p>     |  <p>Ilha do Marajó -Brasil</p>         |
|  <p>China***</p>                |  <p>Fogão Upesi - Quênia**</p>    |  <p>Fogareiro - Pará - Brasil</p>      |
|  <p>Eco stove - EUA**</p>      |  <p>Fogão PHILLIPS - Índia**</p> |  <p>Fogão Geralux - AC - Brasil -</p> |
|  <p>Minas Gerais - Brasil</p> |  <p>Ecoforno - MG - Brasil</p>  |  <p>Fogão Patsari - México**</p>     |
| <p>Fontes: **www.bioenergylists.org/es/countries</p>   |  | <p>* <a href="http://www.pciaonline.org">http://www.pciaonline.org</a></p>  |

Samuel Baldwin tomou por base suas experiências quando estudou fogões na África e publicou em 1987 o livro: Biomass Stoves: Engineering Design, Development and Dissemination (Fogões de Biomassa: Projeto de Engenharia, Desenvolvimento, e Difusão) que se tornou uma referência na área. Outra referência importante para a realização de projetos de fogões foram os Princípios de Projeto de Rocket Stove elaborados em 1982 por Larry Winiarski, que faz recomendações por meio de dez princípios de projetos de fogões que são utilizados com sucesso em vários projetos de fogões (BRYDEN *et al.*, 2005).

Tabela 2.3- Fogões que utilizam os princípios de Winiarski.

| <b>Fogão</b>        | <b>Local de uso</b> | <b>Organização projetista</b>     |
|---------------------|---------------------|-----------------------------------|
| Fogão de Ferro      | Guatemala           | HELPS                             |
| EcoStove            | Nicarágua           | PROLEÑA                           |
| Justa               | Honduras            | AHDESA e Tree, Water and People", |
| ProBEC              | África do Sul       | GTZ                               |
| Ecoforno e Metálico | Brasil              | Ecofogão                          |
| Rocket              | Vários              | Várias utilizam                   |

Fontes: Nogueira e Lora (2003), Bryden *et al.* (2005) e Bailis *et al.* (2007)

Nos últimos 20 anos, foram construídas variações do Fogão Rocket em mais de 20 países. Os projetos foram promovidos por instituições governamentais, não governamentais e empresas. A Tabela 2.3 lista fogões destacados que utilizam a câmara Rocket Stove com os respectivos países para os quais foram desenvolvidos e as organizações que os desenvolveu passam a estudar mais fortemente a melhoria de fogões como é o caso de pesquisas como de Bajpai e Bajpai (2013) que propões aprimoramento de fogões e Ochieng *et al.* (2013) que relaciona a aceitação de novas tecnologias com baixo custo de aquisição e operação, enquanto que trabalhos com o de Hoppin e Jacobs (2013) preocupa - se com os prejuízos causado pelas emissões à saúde das pessoas.

Os Princípios de Winiarski combinam combustão limpa, com a otimização da troca de calor e atende a todos os tipos de fogão à biomassa com alimentação intermitente e pode atender localmente às necessidades da população. Os princípios são válidos para câmaras de combustão que queimam grandes quantidades de combustível de cada vez e àqueles que usam ventiladores, embora funcionem diferentemente. A essência de alguns princípios pode ser percebida com facilidade em fogões populares, construídos com o conhecimento tácito. Mostrando que a percepção de Winiarski para o fenômeno da

combustão de biomassa considera as condições reais. A Tabela 2.4 lista os 10 princípios desenvolvidos por Winiarski para fogões à biomassa. Nesta pesquisa, o fogão principal de teste usa essa tecnologia.

Tabela 2.4 - Os dez princípios de Winiarski.

|    |  |
|----|--|
| 1  | <b>Isolar o entorno do fogo com materiais leves resistentes ao calor.</b><br>O isolante deve ser leve e poroso.  |
| 2  | <b>Usar um duto isolado curto acima do fogo.</b><br>O duto acima do fogo deve ter altura de três vezes o diâmetro para estimular a combustão completa, reduzindo as emissões nocivas.  |
| 3  | <b>Iniciar a queimar da biomassa pelas pontas das hastes que entram na câmara.</b><br>O controle da temperatura é melhor, evita - se o processo de pirólise na parte que não está diretamente na chama. Haverá menos fumaça e ainda ajudará no processo de secagem.                                |
| 4  | <b>Controlar a intensidade do calor pela quantidade de biomassa que entra em combustão</b><br>O controle d a intensidade do calor pode ser feito ajustando a quantidade de biomassa que será queimada.   |
| 5  | <b>Manter uma corrente de ar distribuída por toda biomassa</b><br>Manter um bom fluxo de ar em torno da biomassa melhora a combustão, ajuda a manter a temperatura alta e <b>promover a</b> queima limpa. Um fluxo de ar deficiente empobrece de combustível a mistura e gerar CO e particulado.   |
| 6  | <b>Evitar a entrada de excesso de ar frio na câmara</b><br>Deve - se ajustar o sistema para a razão eficaz para o tamanho da câmara e quantidade de combustível. O excesso de ar reduz a temperatura e prejudica a combustão,  |
| 7  | <b>Manter as dimensões por toda a passagem do gás quente da entrada da câmara até a saída da chaminé, dando consciência à superfície transversal.</b><br>Os espaços internos do fogão por onde flui ar e os gases quentes até a chaminé devem ser todos da mesma seção para facilitar o escoamento |
| 8  | <b>Usar uma grelha para biomassa</b><br>A grelha favorece com que o ar primário e o ar secundário fluam com facilidade. Permite que o fluxo de ar seja pré - aquecido e seco, facilitando a queima da biomassa.  |
| 9  | <b>Isolar o caminho do fluxo de calor</b><br>O caminho isolado irá mantém o calor dos gases da combustão para transferi - lo às panelas. Se o calor penetra no corpo do fogão, a panela é aquecida lentamente  |
| 10 | <b>Maximizar a transferência de calor para a panela</b><br>Para aumentar as trocas térmicas, os gases quentes devem ser mantidos em contato com a superfície da panela. O isolamento do fogão é primordial para um bom desempenho.   |

### 2.3 - AS EMISSÕES DOS FOGÕES À BIOMASSA

Há relação de causa e efeito entre a contaminação do ar interior e as infecções agudas do trato respiratório em crianças menores que 5 anos. Bronquite crônica, assim como a DPOC (Doença Pulmonar Obstrutiva Crônica) tem como causa principal os resíduos da queima incompleta de biomassa que produz substâncias nocivas à saúde humana, como o material particulado, monóxido de carbono, óxido nítrico, óxidos sulfúricos, formaldeído, hidrocarbonetos e material orgânico policíclico que inclui carcinogênicos como o benzopireno. As partículas residuais da queima de biomassa têm a presença de particulado, carbono orgânico, K e Cl juntamente com S, Ca, Mn e Zn, sendo todas essas partículas inaláveis. Comprovando que as emissões de gases e particulados dos fogões à biomassa podem prejudicar a saúde dos moradores da residência. (ABELIOTIS E PAKULA, 2013).

As partículas inaláveis podem ser definidas como aquelas cujo diâmetro aerodinâmico é menor que 10  $\mu\text{m}$ . Que podem ainda ser classificadas como partículas inaláveis finas – MP2,5 (<2,5 $\mu\text{m}$ ) que atingem os alvéolos, que são afetados somente com partículas menores que 2,5  $\mu\text{m}$ . Estas partículas são provenientes da combustão. As partículas inaláveis grossas (2,5 a 10 $\mu\text{m}$ ) atingem os brônquios e bronquíolos e representam mais riscos à saúde. Este é um dos mais preocupantes problemas produzido por fogões, que tem estimulado pesquisas para mitigação (DA COSTA *et al.*, 2013)

A partir de 1990 a legislação brasileira passou a se preocupar com as partículas classificadas como "Partículas Inaláveis". Fixando os padrões primários e secundários deste poluente por meio da resolução Conama nº 3 de 1990.

Nos Estados Unidos da América, a Agência de Proteção Ambiental – EPA - em 1999 definiu padrões de qualidade do ar ambiente para seis poluentes, como: Monóxido de carbono, dióxido de nitrogênio, ozônio, dióxido de enxofre, chumbo, PM10 (10 $\mu\text{m}$ , em 1997 foi estipulado PM 2,5. (2,5  $\mu\text{m}$ ), mas a literatura faz referência aos dois índices como padrões (ARBEX, 2001); (REBELATTO, 2005) (WARD E NOONAN, 2008). Estes limites estão sendo revisados de 15  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  para entrar em vigor a partir de 2015. Com o objetivo de reduzir as emissões, em torno de 80%. O limite estabelecido pela União Europeia é de 40  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (GODOY, 2008).

Rogério Miranda, em 2008, visitou 100 residências no Estado de Minas Gerais e constatou que percentualmente o nível de exposição à poluição das casas era:

- 8% - Pouca Exposição
- 26% - Exposição Leve
- 42% - Exposição Moderada
- 23% - Exposição Intensa
- 01% - Exposição Severa

Também observou que é necessário determinar o nível de particulado no ar. As consequências desta exposição para a saúde dependem não apenas do nível da poluição, mas principalmente do tempo que os indivíduos passam respirando o ar poluído, já chegam a ficar expostos aos altos níveis de poluição por períodos de 3 a 7 horas/dia, durante muitos anos. Os mais expostos são aqueles que permanecem mais tempo nos ambientes poluídos, ou seja, principalmente as mulheres, as crianças, os idosos e os doentes. Como a tarefa de cozinhar ocorre diariamente e consome várias horas do dia, a exposição é persistente e duradoura (MIRANDA, 2007) e Palm (2013).

## **2.4 - CHAMINÉ**

As chaminés livram o ambiente das emissões, mas também tem importância no desempenho de todo o sistema e deve ser considerada no projeto, na operação e até mesmo nas avaliações.

Sob os aspectos técnicos, é sempre bom colocar uma chaminé em qualquer fogão à biomassa para garantir a qualidade do ar doméstico, a saúde aos usuários da habitação e uma queima mais eficiente (NOGUEIRA E LORA, 2003), pois esse acessório além de combater a poluição intradomiciliar promove a circulação adequada de ar e permite controlar o excesso de ar na câmara, melhorando a qualidade da queima da biomassa. Na Europa Cerqueira *et al.* (2013) estudaram às emissões domésticas de formaldeídos para encontrar meios de proteger os usuários.

Comumente são difundidas duas maneiras eficientes de fazer a tiragem natural em um fogão à biomassa: a Chaminé (Figura 2.1) e a Coifa (Figura 2.2). A Chaminé é um sistema com um duto fechado conectado na continuação da câmara. A Coifa é um captador colocado acima do fogão (BATES, 2007).



Figura 2.1 - Fogão com uma chaminé - projetada pela Helps na América Central  
Fonte: Practical Action foto: HELPS international



Figura 2.2 - Fogão com coifa, Tanzânia.  
Fonte: Practical Action foto: Practical Action East Africa

A chaminé tem como função principal manter o ambiente isento das emissões da combustão, direcionando a fumaça pelo duto para fora do recinto, empregando princípios físicos de diferença de pressão. Por isto se for mal projetada pode contribuir para que o sistema gere muita fumaça, aumentar o consumo de combustível podendo exceder ao do fogo aberto. Um fogão com uma chaminé de sucesso requer que o projeto siga critérios técnicos para o dimensionamento, seja bem executada e bem mantida. Incluindo a limpeza regular.

As normas técnicas brasileiras de responsabilidade da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT - são lacônicas quanto às especificidades das chaminés de fogões à biomassa. Fazendo referências diretas a grandes chaminés de aplicações industriais, ou para equipamentos domésticos a gás, ou ainda para coleta e análise de efluentes. Entretanto a Índia, a China, os Países Baixos e a África do Sul produziram normas que abordam para fogões à biomassa que abordam chaminés.

Bates (2007) recomenda que, para um projeto atinja um bom desempenho da chaminé, deve - se partir da premissa de que o ar quente sobe pela chaminé puxando o ar fresco em sua esteira para a câmara do fogão. A diferença de temperatura e, conseqüentemente, de pressão entre os gases de combustão e o ar exterior é determinante no projeto. Se a chaminé for externa, estará sujeita ao ar frio que irá diminuir a temperatura dos gases, desacelerando o fluxo, reduzindo a quantidade de ar introduzido na fornalha e dificultando a geração de mais calor. O que irá estagnar o fluxo de ar e dos gases de combustão, facilitando a formação de produtos do alcatrão que facilita a

impregnação de material particulado nas paredes internas da chaminé, prejudicando o desempenho.

O creosoto vegetal bruto é originado na destilação do alcatrão vegetal. Mas se a chaminé estiver isolada, ou abrigada, permanecerá quente e os gases subirão rapidamente. Recomenda - se que cada fogão à biomassa tenha a sua própria chaminé, tanto para segurança, como para garantir uma boa tiragem.

Considerando os aspectos dimensionais o desempenho de uma chaminé melhora com a altura, já que na coluna mais elevada é maior a diferença entre a pressão interna e do ar exterior. Este é um parâmetro que deve ser considerado no projeto, já que se a chaminé for dimensionada muito pequena restringirá o fluxo, e terá uma extração deficiente e se for muito grande, causará queda de pressão, os gases perderão velocidade, resfriarão e irão condensar no interior da chaminé, formando água, creosoto e tendo uma extração lenta.

Os produtos do alcatrão tendem a acumular em cantos de condutos retangulares, por isto são preferíveis dutos circulares, por oferecerem menor resistência ao fluxo e mais fáceis de limpar. A limpeza frequente da chaminé é importante para o bom funcionamento do fogão. A chaminé, ou conduto, deve ser limpo a cada duas ou três semanas, por isso deve ser fácil de desmontar para tornar esta tarefa fácil e rápida.

Sempre que possível a chaminé deve estar localizada o mais próximo possível do ponto mais alto da casa. As chaminés domésticas seguem uma série de recomendações de posicionamento com relação ao telhado da casa. Bates (2007) sugere a regra 900 - 600 - 3000 (Figura 2.3), pela qual a altura deve ser no mínimo 900 mm acima do telhado e pelo menos 600 mm mais alto do que qualquer parte do telhado num raio horizontal de 3000 mm (WOODSTOCK SOAPSTONE, 2004).



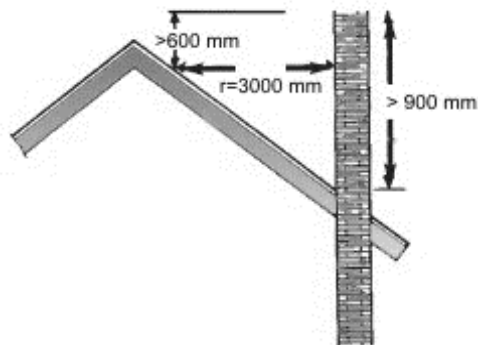


Figura 2.3 - Afastamentos da chaminé para o telhado  
Fonte: Woodstock Soapstone, 2004

Para Gonçalves (1984) o interior da chaminé deve ser de material que facilite a limpeza. Devem ser evitadas as perdas de carga geradas pelos cotovelos, bifurcações, mudanças de diâmetros, ou longos dutos horizontais. Um fogão com chaminé traseira não deve ter mais do que três cotovelos e um fogão com chaminé de topo não deve exceder a dois.

## 2.5 - A EVOLUÇÃO DOS MÉTODOS DE AVALIAÇÃO

A diversidade de fogões provocou iniciativas mundiais para a criação de programas internacionais de controle de qualidade que contribuísse para o aperfeiçoamento dos modelos e na construção de indicadores de avaliação de desempenho, e conseqüentemente promover a inovação, validar o potencial do fogão em laboratório, comparar fogões de lugares distintos do mundo, conhecer e transferir tecnologia, criar a possibilidade de certificar segundo um padrão de qualidade, quantificar o desempenho, estabelecer um padrão internacional, estabelecer normas de segurança, garantir a durabilidade dos fogões de cozinha e identificar o "melhor" fogão para finalidades e públicos distintos, tais como, financiadores, consumidores e projetistas e fiscalizadores.

Elaborar um método de avaliação não foi uma tarefa simples pois a eficiência de um conjunto fogão - panela é um sistema complexo, com muitos pontos de trocas térmicas e com controle delicado. O fogo aberto pode alcançar até 90% de eficiência na conversão de madeira em calor, mas só uma pequena parte deste calor é transferida para as panelas. Conseqüentemente, mesmo que a combustão da biomassa na câmara do fogão seja completa, sua eficiência pode ser baixa, pois a transferência de calor para as panelas é afetada pelos fenômenos de condução, convecção e radiação. Em resumo, para uma boa

eficiência térmica é necessário que se garanta inicialmente a qualidade da combustão e se maximize a transferência de calor do fogão para as panelas.

Estas preocupações há muito tempo mobilizavam vários grupos de pesquisas e iniciativas individuais que produziram diversos procedimentos, protocolos e normas para aplicação em diversas partes do mundo com multiplicidade de visões. E assim, foram sendo desenvolvidos muitos métodos, alguns até conflitantes.

Na tentativa de unificá - los, durante o Sétimo Seminário de Fogões à biomassa em Louvain, Bélgica, em março de 1982, foi acordado um esforço sistemático para alcançar um consenso para testes de fogões à biomassa. Os resultados já começavam a surgir em maio de 1982, num encontro de grupos de pesquisa em Marselha. Nesta reunião houve o entendimento da urgência para a adoção de um protocolo internacionalmente aceitável. Foram então apresentadas diversas publicações existentes sobre o tema, mas nenhuma das sugestões publicadas foi adotada integralmente como padrão. Na reunião em Marselha resultou nos seguintes pontos consenso:

- Adoção de um padrão mundial simples, objetivo e com exigências rígidas pontuais;
- Distinguir o teste aplicado localmente por usuários de fogão dos testes onde os resultados são planejados e transmitidos para outros lugares;
- O protocolo deveria abranger amplamente as várias aplicações e o possível ajuste, mais íntimo, com a arte culinária atual praticada;
- O protocolo deve requerer vários parâmetros que influenciam no desempenho de fogão.

Após análise e sistematização dos documentos existentes o “Grupo de Marselha” concluiu que deveriam existir protocolos locais para alimentos, combustíveis e panelas, enquanto que o Fogão deveria seguir uma descrição exclusiva e detalhada, num relatório que seria produzido seguindo um protocolo internacional, e recomendações de produção e elaboração. O esboço desta proposta foi submetido à aprovação e a avaliações.

A próxima rodada de discussão foi convocada pela VITA e ocorreu em dezembro de 1982, em Arlington, EUA. Foi apoiada pelos governos dos Países Baixos e IBM/Europa e a USAID, que também financiou a edição revisada do manual. Nesta reunião os treze especialistas em fogão de dez países que participaram do processo,

concordaram na prescrição de três testes básicos para uma padronização com rigor científico nas avaliações de fogões. O chamado “Grupo Arlington” desejava assegurar a manutenção de um elevado grau de uniformidade nos resultados de testes feitos ao redor do mundo, com a expectativa de que a difusão dos procedimentos de padronização dos testes viesse a permitir a comparação de projetos de fogões de forma mais sistemática. Propiciando a comparação dos resultados dos testes e desenvolvimentos de técnicas. Beneficiando, assim, todos aqueles que dependem de recursos de floresta no mundo. Vigorou a expectativa de aperfeiçoamento contínuo, neste processo surgiram o WBT (Water Boiling Test), KPT (Kitchen Performance Test) e o CCT (Controlled Cooking Test) sendo ainda os mais referenciados que constantemente são revistos e atualizados em eventos que reúnem muitos interessados.

Still e Maccarty (2008) relatam que, em outubro de 2006, foram realizadas duas reuniões: a primeira em Bonn, na Alemanha, para tratar de normas para fogões domésticos por indicação do Centro de Pesquisa Aprovecho, apoiado pela Universidade Berkeley, da Califórnia; a segunda reunião, organizada pela GTZ, contou com a participação da Partnership for Clean Indoor Air Planning - PCIA. Na sequência, em 2007, foi realizada a reunião em Seattle, antes e durante a Conferência da ETHOS sobre fogões. Na ocasião, a Fundação Shell declarou que tinha interesse pelo desenvolvimento de um conjunto de normas para fogões à biomassa, que pudesse ser empregado em campo e em laboratório, bem como a necessidade de uma ferramenta de certificação para que a Fundação Shell promovesse produtos melhores. Para formular uma norma era necessário primeiramente um teste eficaz para facilitar o consenso entre diversos cientistas com métricas distintas, assim, optou - se por basear a norma em protocolos e normas já existentes internacionalmente, em 2007, os três testes de eficiência para fogões à biomassa da VITA eram os mais conhecidos.

O WBT inspirou as normas oficiais da Índia, China e África do Sul e posteriormente serviu a própria Fundação Shell e protocolos do Instituto Holandês de Tecnologia Eindhoven. O trabalho do Eindhoven foi realizado por um grupo composto pelos pesquisadores Prasad, Visser e Verhaart que foram financiados para investigar a combustão de biomassa e fogões à biomassa. O trabalho terminou em 1991 com a conclusão de que testar fogões que usam combustíveis sólidos é mais difícil devido à variação da quantidade de madeira, como também o fato de que a qualidade do

combustível é facilmente afetada pelo teor de umidade, poder calorífico, teor de cinzas, teor de voláteis e as demais propriedades. Concluíram também que a saída de calor e o tamanho da panela têm um grande efeito sobre a transferência de calor. Ocorre redução da potência com painelas menores. O nível da água na panela também pode alterar a transferência de calor. Sobre a operação dos testes, inclusive o WBT, consideraram que a recuperação do carvão não é bem definida e dependente muito do operador, já que o carvão tem pouco peso e está sempre sujeito a grandes erros. Estimar a intensidade da combustão do carvão produzido por lenha é uma tarefa complicada. Muitas tarefas devem ser feitas entre as fases, com manuseio de material a alta temperatura com risco de acidentes, elevando a probabilidade de ocorrer erros na coleta de dados. Uma alternativa é instrumentalizar o monitoramento, tem como desvantagens de encarecer o processo com equipamentos e treinamentos.

O relatório propôs que a eficiência para o conjunto panela - fogão fosse estabelecida pelo WBT em regime estacionário. O grupo considerou que utilizar água no lugar de alimentos não é uma simulação do processo de cocção de alimentos, mas sim a medição de um processo de transferência de calor, com a água como um meio conveniente para medir a transferência de calor do fogo para a panela e por fim propôs que se adote um simples teste de desempenho em estado estacionário para estimar o desempenho dos fogões na cozinha.

Posteriormente foi feita uma revisão no WBT pela Universidade de Berkeley/SHELL HEH - Household Energy and Health Programme manteve os procedimentos das fases de Alta Potência e Baixa Potência. A terceira fase decorre imediatamente da segunda, a água deve ferver durante 45 minutos. Esta etapa simula o tempo de cozimento de legumes em grande parte do mundo. A eficiência é dada pela razão entre a energia recebida pela água, tanto o calor sensível como o latente pela energia fornecida pela biomassa. Nessa revisão do WBT foi inserida informações de emissões (CO, CO<sub>2</sub>, PM) coletadas durante o ensaio. Como resultado o teste pode indicar além de um único número para avaliar a eficiência térmica do fogão, parâmetros para uma boa previsão do desempenho de fogão, úteis como:

- Tempo para ferver;
- O consumo de específico de combustível;
- Potência;
- Retomada de tempo e temperatura entre baixa e alta potência;
- Rendimento térmico.

O WBT teve objeções, Kirk Smith concluiu em seu relatório de testes feitos para a Fundação Shell, que o protocolo não pode ser aplicado para prever desempenho em muitas condições de campo, já que provavelmente não foi feito para uso no campo e recomendou uso do CCT ou o KPT. Considera também que os protocolos devem priorizar os testes de laboratório para permitir a comparação de resultados e coloca em destaque o WBT, já que o CCT e o KPT utilizam combustíveis locais, painéis de diferentes formas e materiais influenciam nos testes, tornando os resultados não comparáveis aos testes feitos em outra região (STILL E MACCARTY, 2008). Entretanto o site Cookstove.net contesta estas alegações:

*...” a diferença entre a situação de laboratório e uma situação prática tem sido muitas vezes colocada de tal maneira a sugerir que os trabalhos de laboratório não pode fornecer orientações para o desenvolvimento de fogões eficientes. Alega - se que o trabalho de campo só pode levar a projetos práticos...os dois tipos de trabalho são essenciais para o desenvolvimento de trabalhos bem sucedidos” (COOKSTOVE.NET, 2007)*

O WBT foi se tornando consenso e considerada que seria uma escolha óbvia da ISO. É amplamente utilizado não somente para avaliara somente fogões, Huboyo *et al.* (2013) empregaram o protocolo para compara o desempenho de *Jatropha curcas* (Pinhão Manso) como biomassa em diferentes fogões, assim como a qualidade do ar.

Pesquisadores do BTG- Biomass Technology Group (COOKSTOVE.NET, 2007), alertam que embora o WBT seja uma forma conveniente e precisa para testar um fogão, as técnicas de medição devem ser bem definidas, a fim de produzir resultados confiáveis e precisos, porque o processo e as variáveis não são tão simples como pode parecer à primeira vista. A influência da panela foi reconhecida há muito tempo pelos avaliadores holandeses de fogões a gás. Tanto que, o VEG Gas Institute, na Holanda, usa uma regra de ouro para fogões a gás, que relaciona o fluxo de calor do fundo da panela

em 3,5 W/cm<sup>2</sup> com a eficiência de 50 %. A razão para a escolha de 3,5W/cm<sup>2</sup> são as painéis de alumínio comumente utilizadas na Europa. É uma situação em que os valores podem variar e ser considerados para os fogões à biomassa.

Na comparação entre normas e protocolos Still e Maccarty (2008) indicam que as normas internacionais de 1985, dos Indianos, dos chineses, da Eindhoven e da Fundação Shell não incluem níveis de desempenho sugeridos, ou obrigatórios. Entretanto, a norma sul - africana SANS 1243:2007 para fogões de parafina é interessante como um modelo, porque estabelece níveis de desempenho, durabilidade e estabilidade em linguagem simples. Uma abordagem semelhante parece prática para fogões à biomassa.

O WBT tornou - se um padrão internacional para avaliar fogões e em 2009 foi lançada a 4<sup>a</sup> versão em razão do interesse mundial. Borges (1994) utilizou o protocolo na primeira versão VITA em sua pesquisa com um fogão de queima limpa. Na Índia Mukunda *et al.* (1988) avaliaram o fogão portátil para uma panela, no México, Berrueta *et al.* (2007) empregaram o WBT para avaliar um fogão Patsari seguido por muitos outros.

## **2.6 - PROTOCOLOS PARA AVALIAÇÃO DE FOGÕES**

### **2.6.1 - Teste de Cozimento Controlado**

Este teste consiste em avaliar o consumo de combustível no preparo de uma refeição pré - definida. O resultado será a quantidade de energia consumida por pessoa por dia, em Megajoule (MJ). Este teste dificilmente reflete o consumo real de combustível, pois é improvável que os fogões sejam utilizados em condições semelhantes (NUNES, 2008). Mas se serve como uma ponte entre o WBT e os testes de desempenho de cozinha, treinando - se cozinheiros locais a preparem refeições nos fogões experimentais. Neste texto este teste será referenciado como CCT (Controlled Cooking Test).

### **2.6.2 - Teste de Desempenho na Cozinha**

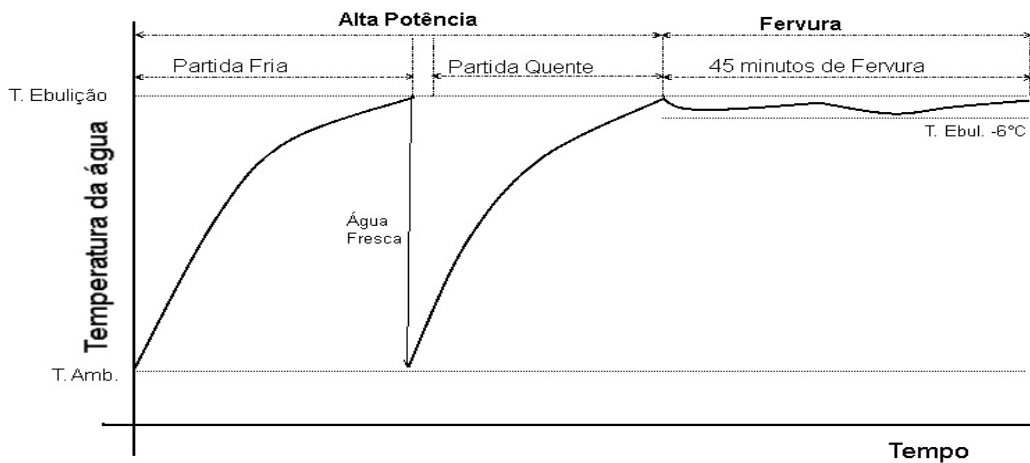
Este teste avalia o consumo de combustível em certa quantidade de casas selecionadas entre 100 ou mais, para medir, em MJ, a quantidade de energia da lenha que foi consumida por dia, por pessoa de famílias reais, podendo ser comparado quando cozinham com um fogão tradicional, e quando usam um fogão experimental. É registrado

apenas quanta lenha a família usou no teste (NUNES, 2008). Neste texto este teste será referenciado como KPT (Kitchen Performance Test).

### 2.6.3 - WBT - Teste de Fervura da Água

O WBT é definido na versão 4.2.2 como uma simulação simplificada do processo de cozinhar que é empregado para medir quão eficientemente um fogão usa a lenha para aquecer água em panelas, como também mede as emissões produzidas no processo de cozimento. Em essência o método determina o desempenho do fogão pela razão entre a energia utilizada para aquecer uma conhecida quantidade de água, pela energia fornecida pela biomassa empregada no processo.

Diferentemente dos métodos CCT e KPT, o WBT emprega água para que os resultados sejam mais estáveis e padronizados, já que a água tem propriedades conhecidas, comportamento estável, e pode ser encontrada com facilidades em grande parte do planeta. O WBT é composto pelas três fases mostradas no esquema da Figura 2.4.



2wq'  
Figura 2.4 - Figura padrão do WBT

Fonte: WBT versão 4.2.2

O teste é feito em sequência:

- *Passo 1* - Inicia na etapa de *Partida Frio*, dentro da fase de *Alta Potência*, a panela com água à temperatura ambiente é aquecida até atingir a temperatura de ebulição da água, são medidos o tempo, a água remanescente e a biomassa consumidos até a fervura da água; em seguida;
- *Passo 2* - Inicia - se a etapa de *Partida Quente*, ainda na fase de *Alta potência*, com o fogão aquecido, a água e a biomassa são repostas e repete - se os procedimentos do ensaio da *Partida a Frio*, assim novamente, quando a água entrar em ebulição anota - se o tempo da fase, pesa - se a água remanescente e a biomassa residual, inclusive as cinzas;
- *Passo 3* - Em seguida inicia a fase de *Baixa Potência*, a etapa de *Fervura*, recolocando a panela no fogão sem repor a água e por 45 minutos se mantém a temperatura da água até 6°C abaixo da temperatura de ebulição, então são registrados o consumo de biomassa, o tempo decorrido na fase e o peso da água remanescente. Durante todos os procedimentos, as emissões são monitoradas.

Os dados coletados, após serem tratados, são lançados nas planilhas de cálculos constantes do protocolo, que apontam para cada fase os desempenhos determinados pela equação (2.1 as potências, os consumos específicos de combustível, as emissões de CO, CO<sub>2</sub> e teores de particulados.

$$\eta = \frac{m_{H_2O} \cdot C \cdot (T_e - T_i) + m_{evap} \cdot L}{m_{Bioq} \times PCI} \times 100\% \quad (2.1)$$

Sendo:

|          | Simbolo                     | Descrição                                    | Unidade |
|----------|-----------------------------|--|---------|
| Biomassa | m <sub>Bioali</sub>         | Massa de biomassa de alimentação             | kg      |
|          | m <sub>cinza</sub>          | Massa de cinza residual                      | kg      |
|          | m <sub>Bioq</sub>           | Biomassa consumida                           | kg      |
|          | PCS                         | Poder Calorífico Superior                    | kJ/kg   |
|          | PCI                         | Poder Calorífico Inferior (base de trabalho) | kJ/kg   |
|          | BioU                        | Umidade da biomassa                          | %       |
| Água     | m <sub>H<sub>2</sub>O</sub> | Média da massa de água inicial               | kg      |
|          | m <sub>evap</sub>           | Média da massa de água evaporada             | kg      |
|          | C                           | Calor Específico da Água                     | kJ/kg°C |
|          | T <sub>i</sub>              | Temperatura inicial da água                  | °C      |
|          | T <sub>e</sub>              | Temperatura de ebulição na pressão local     | °C      |
|          | L                           | Calor de vaporização inicial da água         | kJ/kg   |



O protocolo WBT é revisto periodicamente em eventos que congregam instituições mundiais interessadas em aprimorar os procedimentos. Uma importante alteração aconteceu na década de 80, quando o tempo de fervura passou de 30 para 45 minutos, baseado no fato de que a grande maioria dos legumes do mundo necessitam de aproximadamente 45 min para serem cozidos. A versão mais recente é a 4.2.2, de 22 de abril de 2013, que corrigiu a planilha de cálculo.

Em fevereiro de 2012, em Haia, com mais de 90 participantes, de 23 países, ocorreu o International Workshop on Cookstove, da ISO, presidido pelo American National Standards Institute e organizado pela Aliança Global para Fogões Limpos e pela PCIA, com a meta de estabelecer um documento que desse orientações para os governos, políticos, investidores, fabricantes e demais interessados de como classificar fogões em quatro indicadores de desempenho: eficiência, o total de emissões, as emissões no interior dos ambientes e segurança de guia. Esta International Workshop Agreement (IWA) teve apoio unânime dos participantes da reunião, representando um passo significativo nos esforços globais para ampliar fogões de combustíveis limpos. Principalmente porque um IWA pode ser usado como um precursor para uma norma internacional. Um caminho natural já que o WBT influenciou outros protocolos empregados no mundo.

A norma indiana “Biomassa Sólida com Panela Padronizada”, CSI 1315Z, é influenciada pelo WBT, está em vigor desde 1991, para orientar a determinação do desempenho de fogões empregando uma panela padrão, que é colocada no equipamento alimentado por quatro lotes de combustível em intervalos de 15 minutos. A temperatura da água é elevada até 80 °C e agitada até 5 °C abaixo do ponto de ebulição. O tempo é registrado. Uma segunda panela com água à temperatura ambiente é colocada no fogão até que cesse a combustão. A eficiência é calculada pela razão entre a quantidade de calor utilizado e a quantidade de calor fornecido, levando - se em conta o calor específico do metal da panela. A relação CO/CO<sub>2</sub> é calculada pela medição de ambos os gases. Utiliza - se uma coifa coletora colocada acima do fogão. O material particulado é medido usando - se técnicas e equipamentos específicos como bomba de vácuo e filtro de depósito de amostragem. As temperaturas da superfície do corpo do fogão também são registradas.

O protocolo oficial da República Popular da China emprega a queima de biomassa para ferver uma quantidade de água para determinar a eficiência térmica, as taxas de elevação de temperatura e a de vaporização e aquecimento de água. Uma quantidade

especificada de madeira é usada até água entrar em ebulição. A água é substituída por outra à temperatura ambiente que ferverá por vinte minutos, a temperatura da água reflete a capacidade de aquecimento do fogão após o fogo ser extinto. As emissões não eram medidas.

Na Europa está em vigor a norma N 13240:2011 que especifica os requisitos relativos ao projeto, fabricação, construção, segurança e desempenho (eficiência e emissão) de aquecedores que utilizam combustíveis sólidos.

No Brasil as normas que tratam de eficiência de fogões são principalmente destinadas a fogões elétricos, ou a gás, com destaque para a Portaria 73 de 2002 do INMETRO que trata de etiquetagem e a Portaria Interministerial do MME - MCT - MDIC nº 363 - 2007 que regulamenta os índices mínimos de eficiência de fornos a GLP e Gás Natural (GN). Esta portaria define índices mínimos de eficiência energética a serem obedecidos obrigatoriamente por todos os fogões e fornos a gás fabricados e comercializados no país a partir de maio de 2008. Os índices mínimos de eficiência compreendem a mesa de cocção e o forno e possuem valores e métodos de ensaio diferentes (ANDRADE *et al.*, 2009).

O rendimento para a mesa de cocção é calculado usando os parâmetros do aquecimento da água que é dado pela relação entre o rendimento dos queimadores e a quantidade de energia térmica efetivamente absorvida pelo conteúdo de um recipiente padrão com uma determinada massa de água aquecida durante o intervalo de tempo até que a temperatura da água se eleve de 20°C para 90°C, e a quantidade de energia térmica disponível pela combustão completa do gás em função de seu poder calorífico, que é dado pela equação (2.2).

$$\eta_{quem} = \frac{U_{quem}}{U_{gas}} \cdot 100 \quad (2.2)$$

Sendo:

- $\eta_{quem}$  - Rendimento do queimador
- $U_{quem}$  - Energia térmica efetivamente absorvida pelo recipiente com água
- $U_{gas}$  - Energia Térmica disponível pelo gás

O índice mínimo de eficiência energética da mesa de cocção é calculado a partir da média aritmética dos  $n$  queimadores, cuja potência nominal seja igual ou superior a 1,16 kW (equação (2.3)). O índice mínimo de eficiência energética deve ser de 56 %.

$$\eta_{\text{mesa}} = \frac{\sum_1^n \eta_{\text{queim}}}{n} \geq 56\% \quad (2.3)$$

Sendo:

|                       |                              |
|-----------------------|------------------------------|
| $\eta_{\text{mesa}}$  | Rendimento da mesa de cocção |
| $\eta_{\text{queim}}$ | Rendimento do queimador      |
| n                     | Quantidade de queimadores    |

#### 2.6.4 - Padrões de Desempenho de Fogão

Em 2005, a Fundação Shell solicitou ao Centro de Pesquisa Aprovecho para investigar os valores de referência de desempenho para fogões de várias tecnologias em diversos aspectos. O trabalho empregou o WBT em fogões com e sem chaminé e dados bibliográficos para definir as linhas de base para a emissão de CO, níveis de emissão de particulados e o consumo de biomassa para fogões sem chaminé, mostrados nas Figura 2.1 a 2.4. Estas importantes referências auxiliam tanto a comparação de desempenho de diversos fogões, como servem de fonte de informação para investidores e consumidores, projetistas de fogões. Estas informações favorecem o desempenho tecnológico, comparara desempenhos, com isto, permite desonerar e simplificar os projetos.

Cabe ressaltar que o WBT é periodicamente revisado e a versão que este trabalho foi realizado evidentemente não é a mais recente, entretanto, pode - se esperar pouca, mudanças no resultado, visto que, nesta pesquisa é empregada a fase de fervura na fase de Baixa Potencia do protocolo que pouco foi alterada nas revisões do protocolo.

Iniciando a apresentação pela Figura 2.5 que mostra a comparação do consumo de biomassa para fogões com chaminé quando fervem por 45 minutos 5 litros de água, conforme o WBT.

A Figura 2.5 é o resultado da pesquisa que indica o consumo de biomassa num ensaio WBT para vários fogões com chaminé e tecnologias distintas, onde a linha de base estabelecida é de 1500 g.

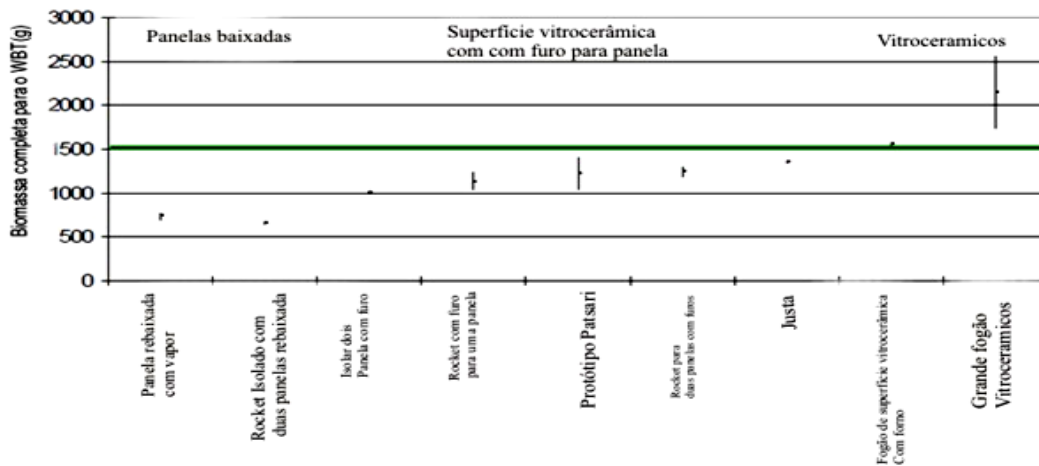


Figura 2.5 - Linha de base para o consumo de fogões com chaminé para vario fogões

Fonte :Still e Maccarty (2008)

A Figura 2.6 mostra os resultados encontrados para linha de base de 20g para de CO emitidos num ensaio WBT em vários fogões.

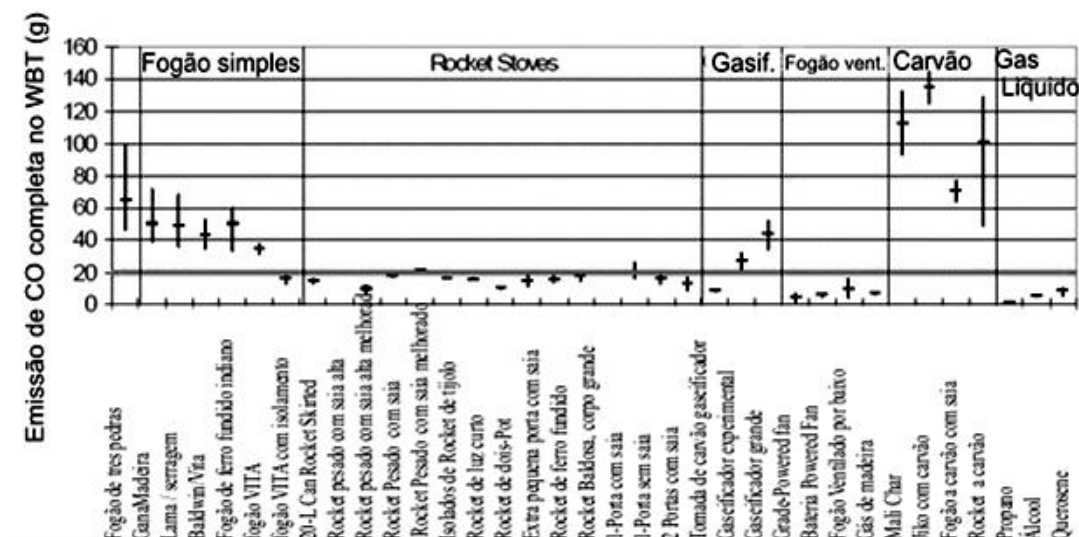


Figura 2.6 - Linha de base de Emissões de CO

Fonte :Still e Maccarty (2008)

A geração de partículas em suspensão (2,5 micros ou menor) por fogões sem chaminé são exibidas na Figura 2.7, onde a linha de base é 1500µg de emissão de particulado para um ensaio de WBT.

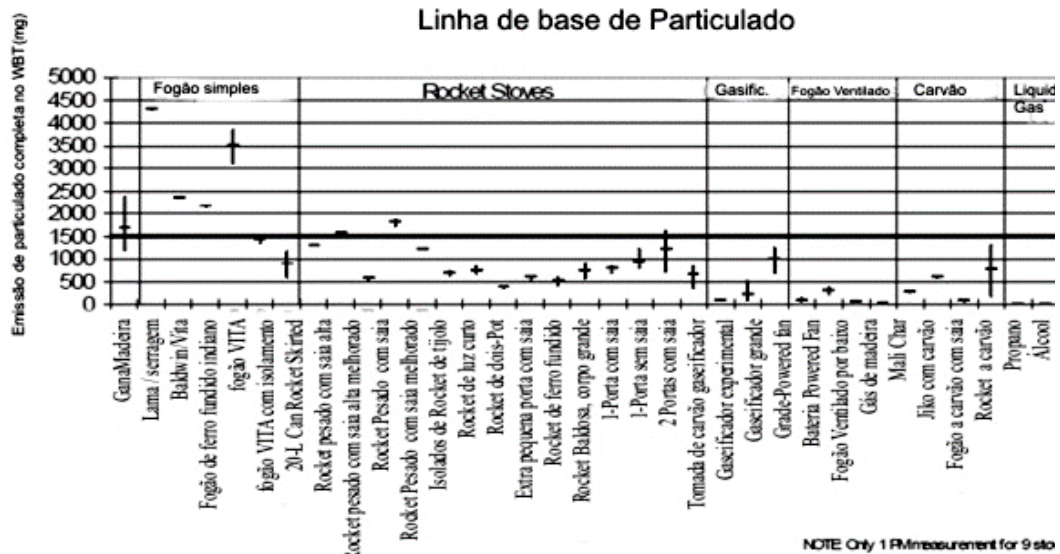


Figura 2.7 - Linha de base para particulado para varios fogões testados  
 Fonte :Still e Maccarty (2008)

A Figura 2.8 mostra o consumo de referência de lenha num fogão à biomassa sem chaminé

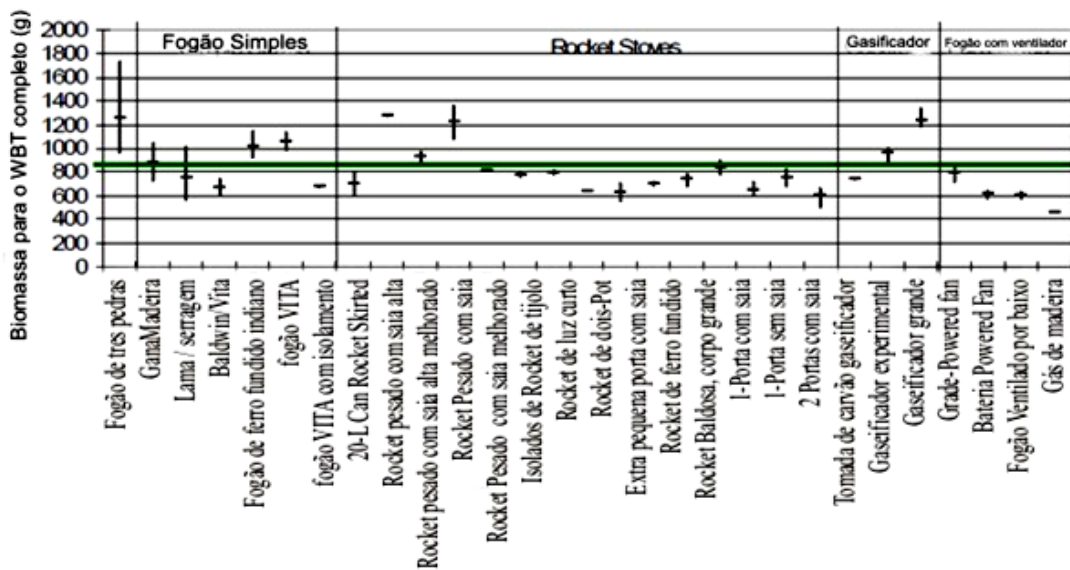


Figura 2.8 - Linha de base para a biomassa utilizada  
 Fonte :Still e Maccarty (2008)

O BTG calcado na alegação de que um fogão à biomassa é um sistema muito complexo para ser representado por um número, ponderam que os componentes do sistema são o operador, o combustível, a associação panela - fogão e os alimentos a serem cozidos. Cada componente tem sua entrada para o sistema e influencia o resultado. Recomenda que a melhor abordagem seja testar as partes e depois combina - las para produzir resultados aplicáveis a todo o sistema. Este pensamento reforça a corrente que

acredita que uma norma elimine os erros do operador com o estabelecimento de procedimentos precisos para alimentar o combustível no fogão e coletar os dados. O segundo item é o alimento a ser cozido, que é bem substituído pela água, já que é um líquido padrão com características conhecidas facilitando a operação, restando a relação panela - fogão. O WBT se apresenta como o documento mais provável de se tornar uma norma internacional.

## **2.7 - O FOGÃO COMO UM PRODUTO**

Os protocolos para avaliar fogões à biomassa mais difundidos, inclusive o WBT, priorizam a avaliação do desempenho térmico, contrariando Still e Maccarty (2008) que defendem que os requisitos de avaliação de um Fogão à biomassa não devem se restringir unicamente às eficiências da combustão e da troca de calor. Esta visão é convergente com Iida (2005) quando afirma que além da avaliação técnica deve - se considerar fatores humanos e a usabilidade pela importância na viabilidade de um produto, que nesses casos estão sendo negligenciados, como também os fatores econômicos e ambientais. Autores como Nogueira e Lora (2003), Bryden *et al.* (2005) alertam para a necessidade dos projetos de fogão levarem em consideração as necessidades e opiniões dos usuários. Uma recomendação que tem concordância com Baxter (2000) que preconiza que um produto para ser bem sucedido deve atender bem sua função, para isto atender requisitos abrangentes que envolvem interesses do consumidor, ou usuários, dos vendedores, dos fabricantes, dos projetistas, dos empresários e da legislação

Iida (2005) ressalta que a cozinha é o lugar mais frequentado da casa, mas não menos perigoso. Os acidentes domésticos são muitas vezes mais numerosos do que no trabalho, ou no trânsito. Um fogão é utilizado dentro das residências, manuseado diariamente, mantém contato direto com usuários diversos e oferece vários riscos. As atividades domésticas representam uma das maiores ocupações humanas em todo o mundo, com predominância do elemento feminino (IIDA, 2005). A má usabilidade representa desconforto e insegurança para o usuário, o que ressalta a necessidade de que as avaliações de fogões sejam mais amplas, verificando aspectos além da eficiência, como a segurança do usuário, as viabilidades produtiva, econômica e ambiental. Com esta ótica também irão ser verificados fatores que podem ser decisivos para o sucesso de um fogão.

Diante da deficiência dos resultados das avaliações feitas pelos protocolos mais difundidos atualmente, os usuários, construtores, financiadores e órgãos governamentais, na prática, complementam subjetivamente as avaliações com critérios próprios. Daí a necessidade de uma padronização e o passo inicial é reconhecer o fogão à biomassa como um produto de uso doméstico e como tal, seguir os preceitos recomendados do projeto ao descarte para qualquer produto. Dentro desta visão, na literatura, encontram - se indicações de requisitos de qualidades para fogão à biomassa sugeridos por Still e Maccarty (2008), Borges (1994) e Nogueira e Lora (2003) que estão sistematizadas na Tabela 2.5, que podem servir de requisitos de avaliação.

Tabela 2.5 - Requisitos de qualidade para fogões à biomassa.

|   |   |
|---|---|
| 1   | Alta eficiência de combustão e alta taxa de transferência do calor gerado pela biomassa para as painéis |
| 2   | Potência térmica suficiente de pelo menos 4 kW durante uma hora e trinta minutos                        |
| 3   | Baixo custo de aquisição e manutenção   |
| 4   | Durabilidade  |
| 5   | Baixa emissão de gases nocivos, de efeito estufa e contaminantes ao meio Ambiente                       |
| 6   | Boa usabilidade   |
| 7   | Facilidade de fabricação, usando os materiais e recursos locais   |
| 8   | Facilidade de manutenção, usando os recursos locais   |
| 9   | Uso seguro  |
| 10  | Não sujar as painéis  |
| 11  | Ter partida rápida  |
| 12  | Ter combustão completa  |
| Fontes: Still e Maccarty (2008), Borges (1994) e Nogueira & Lora (2003) |   |

### 2.7.1 - Desenvolvimento e Avaliações de Produtos

Desenvolver um produto é uma tarefa complexa que requer pesquisa, planejamento, controle e método. Diversas técnicas e ferramentas foram desenvolvidas com esta finalidade. Tais como de Asimow, M., em 1962, W., French, M. J., em 1985, Hubka, V. e Eder, W.E, em 1988, Cross, N., em 1989 e muitos outros. Em 1996, Paul G. e Beitz, W. desenvolveram uma metodologia que é muito bem aceita internacionalmente, com procedimentos bem apresentados na norma inglesa BS 7000 da British Standard Institution do Guide to Managing Product Design (BAXTER, 2000). Nelson Back, UFSC, publicou em 1983 o livro “Metodologia de Projeto de Produtos Industriais” que se tornou

uma referência e desencadeou em torno do autor o surgimento de um grupo de pesquisa sobre metodologia de projeto de produto. Outra importante referência decorrente desses avanços foi a tese de doutorado de Jorge Fonseca, de 2000, na Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC, (FONSECA, 2000), que apresentou o Modelo Espiral do Ciclo de Vida, mostrado na Figura 2.9, trata - se de um modelo que emprega a Análise do Ciclo de Vida nas várias fases do projeto de forma espiral, indicando a recorrência das atividades no decorrer do desenvolvimento do produto que tem a função para nortear o gerenciamento desde o planejamento até o descarte, na mesma linha de pesquisa Rozenfeld *et al.* (2006) desenvolveram o modelo unificado mostrado na Figura 2.10.

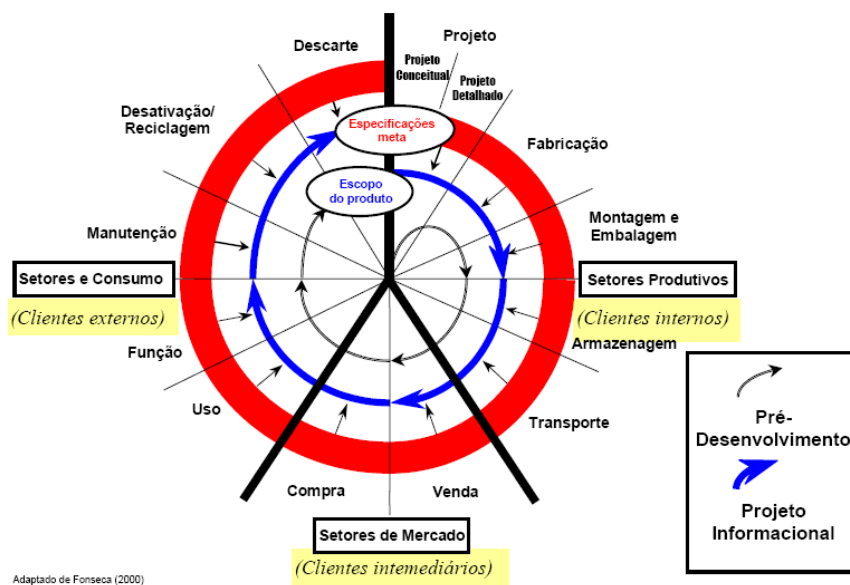


Figura 2.9 - Modelo do ciclo de vida em espiral conforme Fonseca (2000).



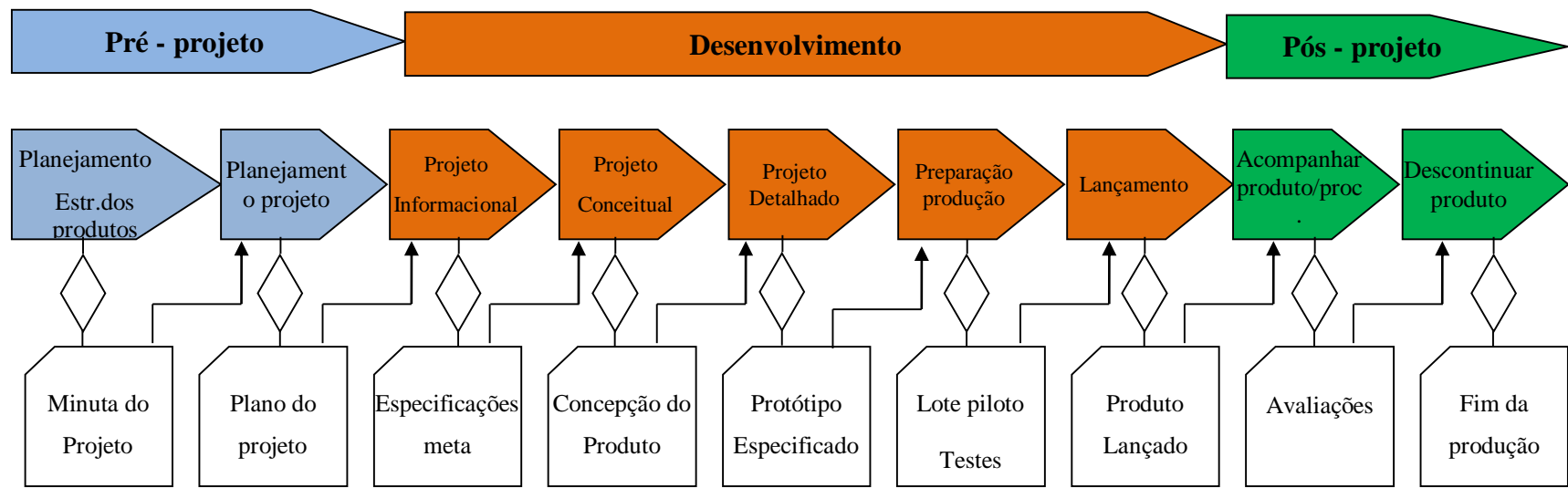


Figura 2.10 - Modelo Unificado concebido por Rozenfeld et al (2006)

Sendo o fogão à biomassa um produto, a avaliação de desempenho enquadra - se na fase de Acompanhar o Produto e Processo, que objetiva acompanhar o desempenho do produto, identificando falhas e oportunidades de melhoria, antecedendo a indicação do fim da vida útil do produto, dando garantias de que a retirada cause o menor impacto possível aos ao meio ambiente. É aconselhável realizar avaliações periódicas mesmo depois que produto estabilizar a produção, para detectada com antecedência as necessidades de mudanças e a obsolescência do produto.

O esquema do desdobrando a fase é mostrado na Figura 2.11 delinea a sistemática contendo a auditoria pós - projeto, avalia - se a satisfação dos clientes e monitora - se o desempenho do produto tanto em termos técnicos como econômicos, incluindo a produção, assistência técnica e aspectos ambientais.

A Auditoria Pós - projeto é uma atividade que tem o objetivo de reduzir falhas e refinar o processo de desenvolvimento com a filtragem e análise de eventos críticos e disseminação do conhecimento gerado.

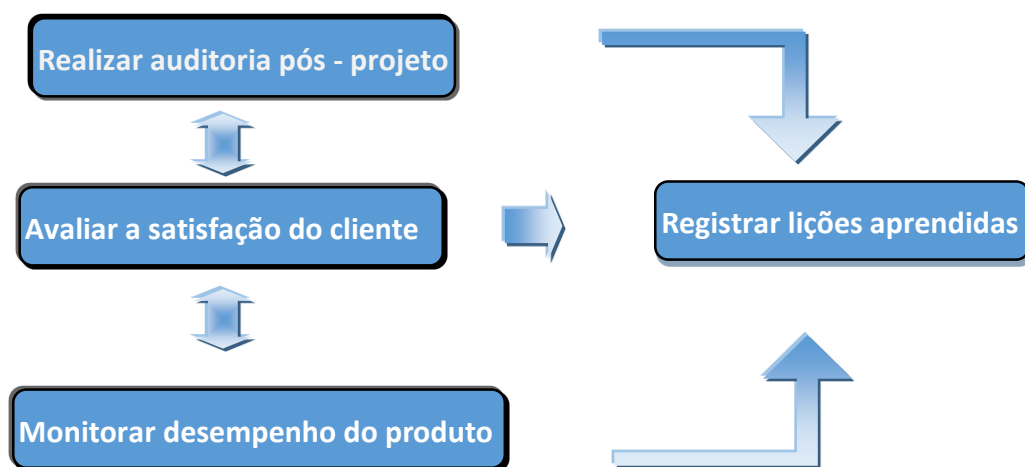


Figura 2.11 - Sistemática da fase Acompanhar Produto e Processo.  
Fonte: Rozenfeld *et al.* (2006)

A Avaliação da Satisfação do Cliente serve para verificar quão precisos foram os resultados dos detalhamentos para atender as necessidades do consumidor, que também pode gerar informações para a avaliação de desempenho do produto. A coleta de dados é feita no contato direto do com o consumidor via 0800, homepage, pesquisa de satisfação, dados da assistência técnica, entrevistas com clientes (ROZENFELD *et al.*, 2006).

O Monitoramento de Desempenho do Produto deve acontecer com frequência ao longo de toda a vida útil do produto, já que é necessário verificar continuamente o seu desempenho técnico, econômico, ambiental, de produção e de serviços. O monitoramento do mercado fornece a maioria das informações para esta fase. São monitorados os serviços associados, aspectos ambientais; problemas detectados na assistência técnica; desempenho no processo produtivo, desempenho em vendas, avaliação de custos do produto, confiabilidade, conformidade, eficiência da produção, eficiência do produto.

As atividades desta fase são essencialmente baseadas no tratamento de informações, exigindo uma sistemática bem estruturada para que se possa lidar com informações internas e externas, assim como ferramentas eficazes que proporcionem respostas confiáveis. É exatamente neste aspecto que esta pesquisa irá se concentrar. Propondo não só o método, mas também os requisitos de qualidade e os indicadores para a avaliação de desempenho de fogões à biomassa.

### **2.7.2 - Método de Avaliação de Produtos**

Os métodos de avaliação são ferramentas inestimáveis para um pesquisador, ou profissional, por isto necessitam ser selecionadas com critérios para que os resultados confiáveis.

Existe uma grande variedade de métodos e ferramentas com características próprias e aplicações específicas. A abundância de métodos pode dificultar a seleção do método mais apropriado. Stanton e Young (1998) reduzem a seleção a quatro fatores básicos que podem auxiliar na seleção do método mais adequado:

- O estágio do desenvolvimento do produto;
- A forma que o produto está;
- A necessidade de acesso ao usuário final;
- Tempo disponível.

A Tabela 2.6 relaciona alguns métodos existentes com as fases do desenvolvimento do produto que melhor se aplicam estas propostas.

Tabela 2.6 - Métodos de avaliações de produtos

| Método  | Fases do desenvolvimento do produto |         |           |          |                |
|---|-------------------------------------|---------|-----------|----------|----------------|
|   | Concepção                           | Projeto | Protótipo | Operação | Acompanhamento |
| Análise da tarefa para indicação de erros (TAFEI)         | ■                                   | ■       |           |          |                |
| Observação  |                                     | ■       | ■         | ■        |                |
| Análise da hierarquia de tarefas (HTA)                    |                                     | ■       | ■         | ■        |                |
| Sistemática de redução e predição de erro humano (SHERPA) |                                     | ■       | ■         | ■        |                |
| Análise de vínculo  |                                     |         | ■         |          |                |
| Análise de arranjo físico                                 |                                     |         | ■         |          |                |
| Heurístico  | ■                                   | ■       | ■         | ■        | ■              |
| Checklist   | ■                                   | ■       | ■         | ■        | ■              |
| Entrevista  | ■                                   | ■       | ■         | ■        | ■              |
| Questionário  | ■                                   | ■       | ■         | ■        | ■              |
| Grade de repertório                                       | ■                                   | ■       | ■         | ■        | ■              |

A escolha do método mais adequado não é suficiente para se atingir bons resultados, devido, principalmente, à precisão do próprio método e as interferências do avaliador. Um avaliador experiente, com bom entendimento da área da avaliação terá melhor percepção da situação de conformidade do que está sendo avaliado e com isto reduzirá a margem de erros de avaliação (KOSMANN *et al.*, 2002).

### 2.7.3 - Requisitos e indicadores de Avaliação

Qualquer que seja o método de avaliação empregado é necessário estabelecer os requisitos de avaliação relevantes na análise, assim como os indicadores de qualidade. Neste sentido, os requisitos mais apropriados são os dados coletados nas atividades de levantamentos nas etapas de elaboração do projeto o que permite seguir a etapa de Monitoramento do Desempenho do Produto e verificar se as metas foram atingidas. Desta maneira, cabe considerar as necessidades do cliente, os atributos de projetos e as especificações que integraram as fases de Projeto informacional, Projeto conceitual da Megafase de Desenvolvimento (Figura 2.10).

Relacionar os atributos relevantes para distintos produtos é uma tarefa complexa, difícil e que pode inviabilizar um projeto. Para auxiliar a fazer frente a esta dificuldade foram iniciadas pesquisas para identificar os requisitos de qualidade padrões para tornar

a identificação menos aleatória. A Tabela 2.7 traz a classificação dos atributos dos Produtos proposta por Fonseca (2000), que sintetiza uma ampla gama de pesquisas na identificação dos atributos de produtos. Cabe ressaltar que se optou pelo termo “atributo” por deixar menos lugar a dúvidas que os termos “*Características*” ou “*Propriedades*”, sugeridos por alguns autores. O termo propriedades normalmente é referente às substâncias, enquanto o termo “*Característica*” poderia ser usado ao produto acabado (FONSECA, 2000).

Os **Atributos Gerais** estão relacionados às respostas que os mesmos devem dar às necessidades expostas pelos clientes e usuários, tanto pela adequação do produto durante o seu “passo temporal” pelas fases do ciclo de vida, como quanto à adequação às “Condições Permanentes” que o produto vai apresentar em uso e funcionamento.

Os **Atributos Básicos** são os mais importantes para qualquer produto industrial e representam seus fatores de competitividade, identificam as características e propriedades permanentes dos produtos. Servem de referência para as avaliações de produtos tanto pelo mercado, como durante uma análise das características de projeto. No mínimo são de onze atributos (Tabela 2.8) para tornar o uso possível, já que cada atributo básico do produto é um ramo especializado do projeto de engenharia.

Tabela 2.7 - Atributos de produto.

|                       |                               |   |
|-----------------------|-------------------------------|---|
| Atributos Gerais      | 1. Atributos básicos          | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Funcionamento</li> <li>2. Ergonômico</li> <li>3. Estético</li> <li>4. Econômico</li> <li>5. Segurança</li> <li>6. Confiabilidade</li> <li>7. Legalidade</li> <li>8. Patente</li> <li>9. Da Normalização</li> <li>10. Modularidade</li> <li>11. Impacto ambiental</li> </ol>       |
|                       | 2. Atributos de Ciclo de Vida | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Fabricação</li> <li>2. Montagem</li> <li>3. Embalagem</li> <li>4. Transporte</li> <li>5. Armazenagem</li> <li>6. Comercialização</li> <li>7. Função</li> <li>8. Uso</li> <li>9. Manutenção</li> <li>10. Reciclagem</li> <li>11. Descarte</li> </ol>                               |
| Atributos Específicos | 1. Atributos Materiais        | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Geometria               <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Cor</li> <li>2. Forma</li> <li>3. Configuração</li> <li>4. Textura</li> <li>5. Dimensões</li> <li>6. Ajuste</li> <li>7. Acabamento</li> </ol> </li> <li>2. Material</li> <li>3. Cor</li> <li>4. Peso</li> </ol> |
|                       | 2. Atributos energéticos      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Força</li> <li>2. Cinemática</li> <li>3. Tipo de energia</li> <li>4. Fluxo</li> </ol>   |
|                       | 3. Atributos de Controle      | <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Sinais</li> <li>2. Estabilidade dos sistemas</li> <li>3. Controle dos sistemas</li> </ol>   |

Fonte: Fonseca(2000)

Tabela 2.8 - Componentes mínimos dos atributos básicos do produto.

|  |  |
|--|--|
| <b>Atributos Básicos</b>   | <b><u>Funcionamento:</u></b> Aspectos vinculados com a operação do produto.<br>Rendimento, desempenho, eficiência, função.   |
|  | <b><u>Ergonômico:</u></b> Aspectos vinculados com a relação homem-máquina.<br>Ergonomia do uso, seqüência de ações, uso.   |
|  | <b><u>Estético:</u></b> Aspectos vinculados com a aparência do produto. Expressividade, símbolos, signos, linguagem do produto, semiótica, semântica.              |
|  | <b><u>Econômico:</u></b> Aspectos vinculados com o custo de produção e o preço de venda. Financiamentos, capital, juros, amortização.                              |
|  | <b><u>Segurança:</u></b> Aspectos vinculados com a segurança durante o uso e funcionamento<br>Proteção contra acidentes, atos inseguros, funcionamento inseguro.   |
|  | <b><u>Confiabilidade:</u></b> Aspectos vinculados com o uso e funcionamento estável.<br>Taxa de falhas, redundâncias ativa ou passivas.                            |
|  | <b><u>Legal:</u></b> Aspectos vinculados com as leis onde vai ser comercializado o produto<br>Leis sobre uso ou segurança, leis ambientais, leis sobre comércio.   |
|  | <b><u>Patentes:</u></b> Problemas relativos ao uso de patentes registradas. Grau de novidade do produto, patentabilidade, pagamento de royalties, uso de patentes. |
|  | <b><u>Da Normalização</u></b> Problemas relativos ao uso de elementos e peças normalizadas.<br>Normas internas, locais, setoriais, nacionais e internacionais.     |
|  | <b><u>Da Modularidade</u></b> Problemas relativos ao projeto modular de componentes.<br>Módulos de fabricação, de uso, de manutenção.                              |
| <b><u>Do Impacto Ambiental</u></b> Problemas relativos à contaminação ou degradação<br>Ambiental, desativação, reciclagem, descarte. |  |

Fonte: Fonseca (2000)

O produto fogão à biomassa também envolve múltiplas atributos da produção ao descarte. Reforçando a necessidades de que a sua avaliação de desempenho deve ser expandida além dos atributos térmicos e considerar as condições que satisfaçam os requisitos e necessidades dos atores de toda a cadeia que envolve produtores, investidores, os órgãos governamentais, os consumidores e os usuários. Esta pesquisa apresenta como alternativa para solucionar o problema da deficiência dos métodos de avaliação disponíveis o *Método de Avaliação Global de Fogões à biomassa - MAGOF*.

## CAPÍTULO 3

### MATERIAIS E MÉTODOS

#### 3.1 - A PROPOSTA DO MAGOF

Para materializar o resultado desta pesquisa, que daqui para frente será intitulado *de Método de Avaliação Global de Fogões à biomassa - MAGOF -*, os procedimentos metodológicos foram desenvolvidos em três etapas. A primeira foi a *Pesquisa Bibliográfica*, onde foram identificados os atributos, os requisitos de qualidade e de avaliação para um fogão à biomassa para balizar a elaboração do protocolo. A segunda fase tratou da *elaboração do MAGOF*, suas planilhas, os mecanismos de preenchimento e interpretação de resultados e na fase três foi realizada uma *Aplicação do Modelo* com o intuito de testar o protocolo em condições reais.

O *MAGOF* parte das premissas que um fogão à biomassa é um produto de uso doméstico, com atributos comuns, segue um ciclo de vida, tem aplicabilidade mundial, tem grande variedade de concepções e por isto necessita ser avaliado para atender condições universais, por um método que tenha boa adaptabilidade, simplicidade, facilidade de atualização, confiabilidade, seja aplicável em diferentes configurações de fogões, forneça informações uteis para projetistas, fabricantes, investidores, organismos governamentais, usuários e consumidores.

O Método é composto de 5 índices de Desempenhos Específicos que se referem a atributos distintos, que combinados compõem o Coeficiente de Desempenho Global. A Figura 3.1 esquematiza o Método com os Desempenhos Específicos de Projeto, Funcionalidade, Econômico, Energético e Ambiental, que indicarão os pontos fortes e fracos em cada uma das áreas de abordagens avaliadas, para atender os interesses no processo decisório de cada ator. As abordagens dos Desempenhos Específicos estão apresentadas na Tabela 3.1. As Planilhas do MAGOF são mostradas no Apêndice A.

Os *Desempenhos Específicos* são agrupados nas planilhas de acordo com o atributo correspondente, de tal forma que, abranja o ciclo de vida de um fogão, os requisitos de qualidade e as especificações que foram levantados na literatura. Nos ensaios são empregadas as ferramentas da AET - *Análise Ergonômica do Trabalho*.



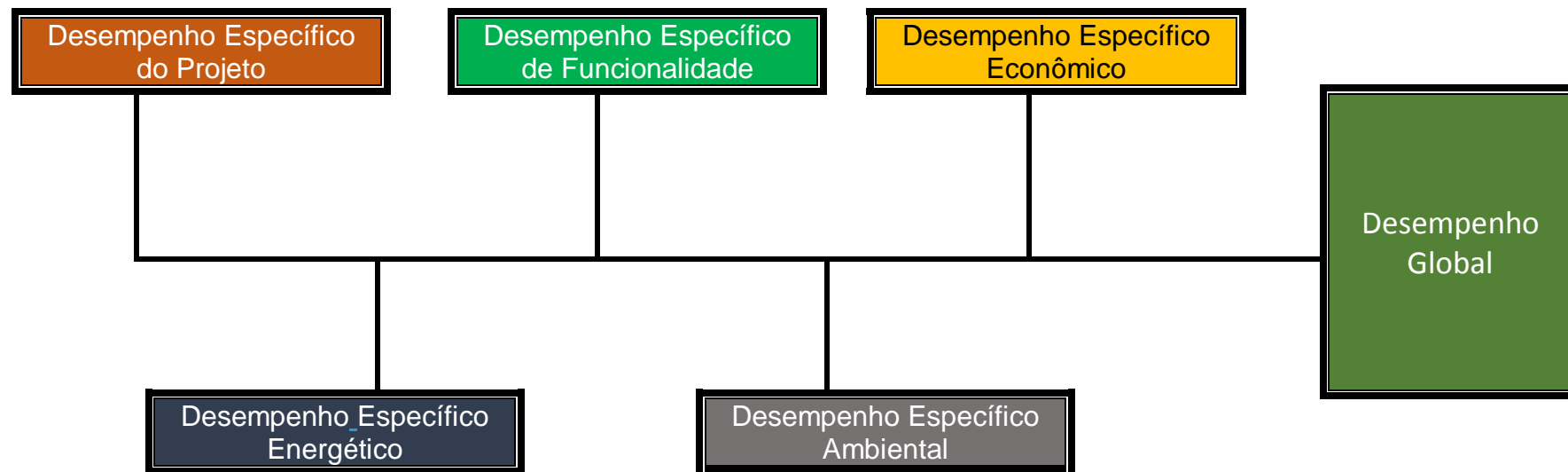


Figura 3.1 - Método de Avaliação Global de Fogão à Biomassa (MAGOF).

Tabela 3.1 - Abordagem dos Desempenhos Específicos.

| <b><u>Atributos dos Desempenhos Específicos</u></b> | <b>Aspectos abordados</b>   |
|---|---|
| <b><u>Projeto</u></b>                               | <p>Aparência, linguagem do produto, aceitação cultural e social;</p> <p>Manufatura, técnica construtiva, distribuição, Influência das patentes registradas, pagamento de royalties</p> <p>Uso de elementos e peças normalizadas.</p> <p>Normas internas, locais, setoriais, nacionais e internacionais. Legislação sobre fabricação, uso, comercio e ambiental.</p> |
| <b><u>Funcionalidade</u></b>                        | <p>Operação do fogão, relação homem - máquina.</p> <p>Ergonomia no uso e manutenção.</p> <p>Manejo da biomassa</p> <p>Estabilidade no uso e funcionamento.</p> <p>Segurança durante o uso e a manutenção</p>  |
| <b><u>Energético</u></b>                            | <p>Desempenho energético</p> <p>Consumo de biomassa</p> <p>Qualidade da combustão.</p>  |
| <b><u>Econômico</u></b>                             | <p>Custos locais comparados a de fogões a gás que satisfaçam as mesmas necessidades do usuário com relação a projeto, manufatura, aquisição, distribuição, uso, manutenção, descarte.</p>   |
| <b><u>Ambiental</u></b>                             | <p>ACV, contaminação ou degradação Ambiental, desativação, reciclagem, descarte.</p> <p>Impactos ambientais no uso e manutenção</p> <p>Fontes de suprimento manejadas.</p> <p>Conformidade com a legislação</p>   |

A sistemática do MAGOF emprega a combinação dos métodos Checklist, Questionário, Entrevista, Heurístico e Grade de Repertório para avaliar os requisitos de avaliação com igual relevância, partindo - se do princípio de que qualquer requisito avaliado pode ser decisivo na seleção do produto, então os pesos de todos os atributos foram considerados iguais. A linguagem empregada é direta e sempre afirmativa para que o avaliador simplesmente indique se o requisito avaliado foi atendido Plenamente, Parcialmente, ou Não foi Atendido, assinalando na planilha como Pleno, Parcial e Negado, respectivamente, assim a própria planilha orienta e conduz o avaliador, exigindo reduzida carga mental no preenchimento, promovendo aproveitamento do tempo, produzindo resultados assemelhados com redução da margem de erros.

O resultado é obtido pela soma das colunas de atendimentos e calculados os percentuais de cada uma que representarão os Coeficientes dos Desempenhos Específicos. O Desempenho Global é calculado pela somatória geral dos padrões de atendimento dos requisitos e calculados os percentuais. As planilhas permitem a avaliação de mais de um fogão, bastando acrescentar um conjunto de colunas de atendimento para cada fogão que será avaliado, a Tabela 3.2 mostra instruções esquemática de preenchimento da metodologia. A apresentação do resultado deve ser feita em Figuras para facilitar a compreensão dos perfis de cada desempenho avaliado. Como ferramentas é indicado o uso de planilhas de cálculo eletrônicas, como o Excel. O modelo completo das Planilhas está no Apêndice B.

Tabela 3.2 - Sistemática de Preenchimento das Planilhas do MAGOF.

| Atributo              | Requisito de Avaliação | Atendimento ao Item   |   |   |
|-----------------------|------------------------|---|---|---|
|                       |                        | Pleno   | Parcial   | Negado  |
| 1                     | 1                      | Assinalar com X os requisitos que Foram <u>Atendidos Plenamente</u>     | Assinalar com X os requisitos que Foram <u>Atendidos Parcialmente</u>     | Assinalar com X os requisitos que <u>Não foram atendidos</u>          |
| n                     | n                      |   |   |   |
| Desempenho Específico |                        | <b><math>DE_{Pleno} = \frac{\sum PL}{\sum RA} \times 100</math></b>     | <b><math>DE_{Parcial} = \frac{\sum PA}{\sum RA} \times 100</math></b>     | <b><math>DE_{Negado} = \frac{\sum NA}{\sum RA} \times 100</math></b>  |
|                       |                        | $\sum PL$ – Soma dos Requisitos do atributo <u>Atendidos Plenamente</u> | $\sum PA$ - Soma dos Requisitos do atributo <u>Atendidos Parcialmente</u> | $\sum NA$ - Soma dos Requisitos dos atributos <u>Não Atendidos</u>    |
|                       |                        | $\sum RA$ - Soma dos Requisitos do Atributo                             | $\sum RA$ - Soma dos Requisitos do Atributo                               | $\sum RA$ - Soma dos Requisitos do Atributo                           |
| Desempenho Global     |                        | <b><math>DG_{Pleno} = \frac{\sum TPL}{\sum TR} \times 100</math></b>    | <b><math>DG_{Parcial} = \frac{\sum TPA}{\sum TR} \times 100</math></b>    | <b><math>DG_{Negado} = \frac{\sum TNA}{\sum TR} \times 100</math></b> |
|                       |                        | $\sum TPL$ - Total de Requisitos <u>Atendidos Plenamente</u>            | $\sum TPA$ Total de Requisitos <u>Atendidos Parcialmente</u>              | $\sum TNA$ - Total de Requisitos <u>Não Atendidos</u>                 |
|                       |                        | $\sum TR$ - Todos os requisitos   | $\sum TR$ - Todos os requisitos   | $\sum TR$ - Todos os requisitos                                       |

## 3.2 - APLICAÇÃO DO MODELO

### 3.2.1 - Ambientação

A pesquisa de campo foi realizada majoritariamente na região amazônica, com coletas de dados nos estados do Pará, Amapá, Acre, também foram colhidas informações do uso e fabricação de fogões na região Nordeste nos estados do Ceará e Maranhão, Na região Sudeste nos Espírito Santo, Minas Gerais, Rio de Janeiro e na Região sul, nos estados de Santa Catarina e Paraná.

A aplicação do Protocolo foi feita no Laboratório de Engenharia Mecânica da UFPA. Quando foram necessários ensaios em ambiente aberto, as condições ambientais foram tipicamente amazônicas.

Nos testes de laboratório foi utilizada apenas biomassa amazônica. Borges (1994) divide as maneiras de carregar o combustível no fogão como:

- *Regime Estacionário* - quando o sistema é alimentado em pequenos intervalos com pequenas cargas;
- *Regime Permanente Periódico* - o sistema é alimentando com grandes cargas em períodos longos.

Optou - se por empregar em todos os ensaios o Regime Estacionário por ser mais aproximado da forma tradicional de como os fogões à biomassa são usados regionalmente, além de permitir controlar melhor o processo de combustão, apesar de exigir mais manobras do usuário.

Foram utilizados como objetos de pesquisa um fogão à biomassa produzido industrialmente pela empresa Ecofogão, modelo Metálico, um fogão à biomassa popular na Amazônia, conhecido como Fogareiro com boca de barro.

Para apoiar a coleta de informações para aplicação do MAGOF foram usados um fogão a gás comercial para auxiliar a determinação do *Desempenho Específico Econômico* e um fogão elétrico para determinar o ponto de ebulição local em apoio o *Desempenho Específico Energético*.

### 3.2.2 - Os Avaliadores

Stanton e Young (1998) postularam que o avaliador desempenha um papel fundamental em qualquer avaliação, podendo influenciar nos resultados de acordo com sua experiência, ou pelos procedimentos adotados. Sendo uma premissa válida também para o MAGOF, preliminarmente a equipe de avaliação, composta pelo autor e os bolsistas que participaram da pesquisa, foi familiarizada com os fogões a serem avaliados, para que conhecessem o funcionamento, os cuidados, as formas de manipulação, o planejamento dos ensaios que foram feitos, como também os equipamentos empregados. Tudo para garantir o bom uso do *Método* e dar consistência ao resultado. Este procedimento preliminar deve ser empregado em qualquer avaliação.

### 3.2.3 - Fogões de Ensaio

Dois fogões de origens e características diferentes foram selecionados como objetos de pesquisa levando em conta a disponibilidade, a aceitação popular, o apoio técnico e a tecnologia empregada:

- Fogão modelo *Uso Múltiplo Metálico*, fabricado pela empresa brasileira *Ecofogão*. Por simplificação de referenciamento, esse fogão foi referenciado neste texto como *Metálico*;
- *Fogareiro com boca de barro* - Fogão à biomassa muito popular em localidades amazônicas, é vendido em feiras livres. As unidades utilizadas na pesquisa foram adquiridas na feira livre do Ver - o - Peso, na cidade de Belém do Pará. Este fogão foi denominado no texto como *Fogareiro*.

#### 3.2.3.1 - *Metálico*

O fogão à biomassa do modelo *Uso Múltiplo Metálico* (Figura 3.2) é produzido pela empresa brasileira *Ecofogão*, sediada em Belo Horizonte - MG. É constituído de um bloco de material cerâmico, no qual fica embutida a câmara de combustão de biomassa no estilo *Rock Stove*, com grelha, favorecendo a entrada do ar primário e secundário, a oxigenação da lenha e, conseqüentemente, melhorando a qualidade de combustão. Sobre o bloco, encaixa - se uma chapa metálica com nervuras que direcionam os gases de combustão num percurso helicoidal sob a chapa até a chaminé tubular metálica, que faz a tiragem natural dos gases e do particulado. Esta concepção construtiva permite usar

várias panelas simultaneamente em temperaturas diferentes como alternativas para a cocção de diferentes tipos alimentos.

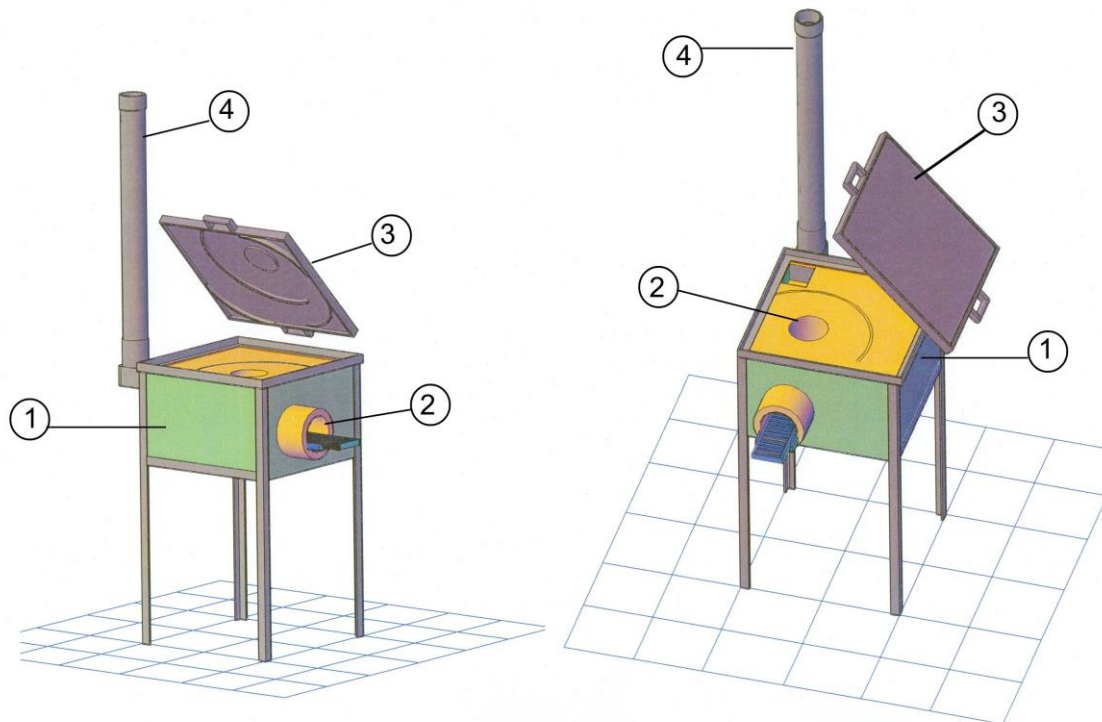


Figura 3.2 - Desenhos em Perspectivas do Fogão modelo Metálico.

| <b>Legenda</b>                             |   |
|--|---|
| <b>Identificação</b>                       | <b>Propriedades</b>   |
| 1 - Base de Cerâmica                       | Dimensões 575 mm x 575mm x 365 mm<br>Material cerâmico                          |
| 2 - Câmara de Combustão tipo Rocket Stove  | Material cerâmico   |
| 3 - Chapa com as nervuras na face inferior | Material é ferro fundido,<br>Diensões 565mm x 565mm x 2mm                       |
| 4 - Chaminé                                | Tubo de 100mm X 3000 mm, em três estágios de 1 metro cada, em chapa galvanizada |

### 3.2.3.2 -Fogareiro de boca de barro

Trata - se de um fogão a carvão, ou à lenha, para uma panela, bastante utilizado pelas populações ribeirinhas da Amazônia, comumente é produzido em série, por pequenas olarias, num processo em semi - industrial. O modelo utilizado é composto por três peças que são apresentadas montado na figura 3.2 - A e em vista explodida na figura 3.2 – B.

Quando utilizado com carvão, as brasas são colocadas sobre a grelha, no bocal cerâmico, onde é assentada a panela. Pela abertura da base o ar entra num fluxo ascendente e atravessa a camada de carvão e os gases da combustão escoam pelos 4 sulcos laterais do bocal. Como foi utilizado com biomassa para manter os padrões e comparação, a alimentação foi feita pela abertura da base para permitir que a biomassa fosse manejada à medida que as pontas das hastes fosse queimando.

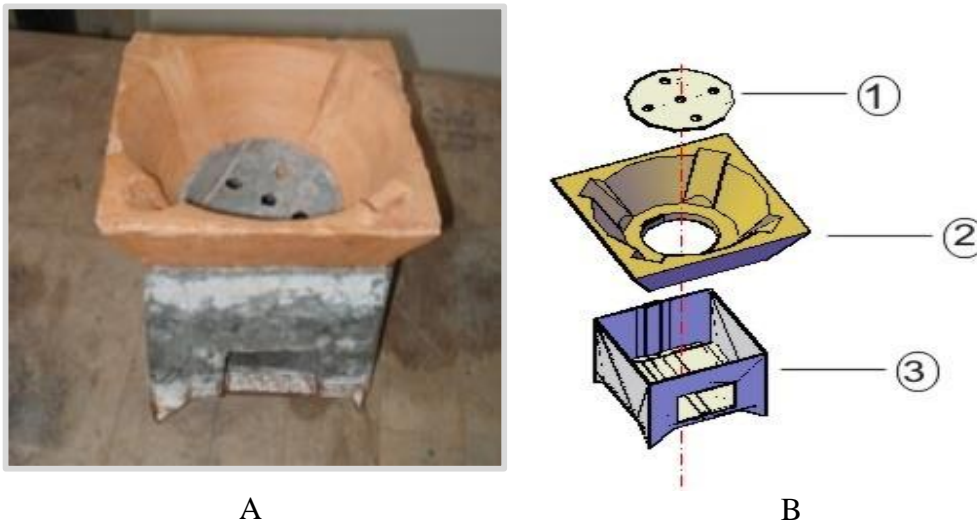


Figura 3.3 - (A) Fogareiro montado e (B) em vista explodida

Legenda

1 - Grelha 2 - Bocal Cerâmico 3 - Base Metálica



### 3.2.4 - Ensaios para a Aplicação do MAGOF

O preenchimento das planilhas do MAGOF é uma tarefa simples, entretanto para fazê-lo é necessários subsídios, que são gerados em ensaios laboratoriais e que podem contribuir com mais de uma Avaliação de Desempenho Específico. Os ensaios empregados nesta aplicação estão descritos na Tabela 3.3.

Tabela 3.3 - Ensaios empregados na aplicação do MAGOF.

| Ensaios obrigatórios   | Objetivo   | DE aplicado        |   |                |   |                             | Fogão aplicado |
|--|--|--------------------|---|----------------|---|-----------------------------|----------------|
|  |  | P                  | F | e              | E | A                           |                |
| Calibração de Instrumentos   | Calibrar os instrumentos que serão utilizados para evitar erros de leitura   |                    | X | X              | X |                             | -              |
| Preparo e Caracterização de biomassa   | Preparar e fazer a caracterização energética da biomassa utilizada nos ensaios   | X                  | X | X              | X | X                           |                |
| Usabilidade  | Avaliar a adequabilidade ao uso e segurança dos fogões   | X                  | X | X              | X | X                           | Ambos          |
| Temperatura da carcaça   | Medir a temperatura na carcaça do fogão, para verificar se está na faixa de segurança para o operador e avaliar o isolamento térmico | X                  | X | X              |   |                             | Ambos          |
| Análise de gases   | Determinar as concentrações dos gases emitidos pela queima da biomassa.  |                    |   | X              | X | X                           | Metálico       |
| WBT  | Avaliar o desempenho energético do fogão   |                    | X | X              | X | X                           | Ambos          |
| <b>Ensaios extraordinários decorrentes das necessidades apresentadas pelo Metálico</b> |  |                    |   |                |   |                             |                |
| Investigação das trincas na chapa  | Identificar as causas das trincas que surgiram na chapa do Metálico  | X                  | X | X              |   |                             | Metálico       |
| Perfil de temperatura da Chapa   | Medir as diversas temperaturas sobre a chapa e verificar o comportamento do Metálico   | X                  | X | X              |   |                             | Metálico       |
| Emissão de SO <sub>2</sub>   | Identificar a fonte de emissão inesperada de SO <sub>2</sub> .   | X                  |   | X              | X | X                           | Metálico       |
| Legenda:   |  |                    |   |                |   |                             |                |
| P - Projeto  |  | F - Funcionalidade |   | e - Energético |   | E - Econômico A - Ambiental |                |

### 3.2.5 - Calibração de Instrumentos

Neste procedimento preparatório foram verificados o funcionamento e a precisão dos equipamentos que foram usados nos ensaios. As balanças foram aferidas com peso padrão e estão dentro do prazo de aferição do INMETRO. Os 8 termopares foram calibrados num banho térmico e monitorados com um conjunto de aquisição de dados composto por um aquisitor CONTEMP e um computador, visto na Figura 3.4. O mesmo conjunto foi utilizado em vários ensaios. Como os resultados indicaram que os desvios estavam dentro da margem de erro. Desta maneira foram considerados confiáveis.

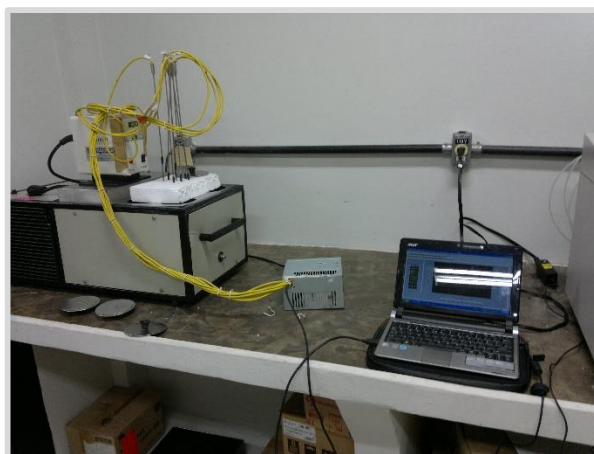


Figura 3.4 - Aparato de calibração dos termopares.

### 3.2.6 - Preparação e Caracterização da Biomassa Empregada

Este ensaio é obrigatório e preliminar a todos os demais. Tem o objetivo de preparar e fazer a caracterização energética da biomassa que será utilizada nos demais ensaios.

Para garantir a confiabilidade dos parâmetros dos testes dependentes da biomassa, naqueles testes feitos na aplicação, empregou - se biomassa da mesma espécie, mesma origem, mesmas condições de armazenamento, umidade e dimensões padronizadas.

A espécie de biomassa amazônica utilizada foi Jatobá (*Hymenaea Courbaril* e *p*). As análises foram realizadas no LacBio - *Laboratório Setorial de Caracterização de Biomassa do EBMA – UFPA*. A Tabela 3.4 mostra as normas e materiais utilizados.

Tabela 3.4 - Materiais e Normas Utilizadas na Caracterização de Biomassa.

| Teste  | Norma   | Norma de preparação e armazenamento de biomassa     | Equipamentos principais utilizados   |
|--|---|---|--|
| Teor de Cinzas   | ASTM D1102 - 84   | D346, D2013   | Mufla Carbolite AAF - 1100   |
| Teor de Voláteis   | ASTM E872 - 82  | D346, D2013, E871                                   | Mufla Carbolite AAF - 1100   |
| Umidade  | ASTM E871 - 82  | D346, D2013   | Estufa elétrica Odontobrás EL - 1.4  |
| PCS  | ASTM E711 - 87  | D346, E1, E180, E775, E790, E829                    | Bomba Calorimétrica Ika Werke C2000  |
| Análise Elemental  | Manual do Equipamento                                   | Manual do Equipamento                               | Analisador Elemental Perkin Elmer Series II CHNS/O 2400  |
| Carbono fixo   | 100 - (T Volateis + TCinzas)                            | D346, D2013, E871                                   | Mufla Carbolite AAF - 1100   |
| Densidade a granel   | Massa de combustível que pode conter em um metro cúbico | Uma caixa com um metro cúbico e uma balança digital | Balança digital Toledo com carga máxima de 15 kg e divisão de 5 g. leitura com três dígitos significativos |
| $PCI = (1 - w_{bu}) \cdot PCS - [9 \cdot h \cdot h_{lv} \cdot (1 - w_{bu})] - w_{bu} \cdot h_{lv} \quad (3.1)$ |   |   |  |

Sendo os parâmetros da equação 3.1:

- PCI Poder calorífico superior  
 $w_{bu}$  Teor de umidade da biomassa,  
 $h$  Teor de hidrogênio do material seco  
 $h_{lv}$  Entalpia de vaporização da água à 25°C

### 3.2.7 - Avaliação da Usabilidade

Embora cada produto tenha suas particularidades intrínsecas decorrentes da forma, função, material, tecnologia e até mesmo cultura, a Usabilidade tem 10 princípios gerais (STANTON, 1998), mostrados na Tabela 3.5 que são desejáveis a um bom produto.

Tabela 3.5 - Os 10 Princípios Básicos da Usabilidade.

|  |   |
|--|---|
| <b>1. Diálogo Simples e Natural</b>                  | O uso deve ser o mais simples possível  |
| <b>2. Linguagem Coerente com o usuário</b>           | Os diálogos devem ser expressos claramente em palavras, expressões e conceitos familiares aos usuários  |
| <b>3. Minimizar a Carga de Memória do Utilizador</b> | Minimizar a memorização e informações de uso  |
| <b>4. Consistência</b>                               | Usar um padrão de significados. A consistência é um dos princípios mais básicos da usabilidade  |
| <b>5. Retorno</b>                                    | O sistema deve informar continuamente o usuário sobre o que está ocorrendo. O retorno não deve esperar até que um erro ocorra, mas deve prosseguir paralelamente à entrada de informação. |
| <b>6. Saídas Claramente Marcadas</b>                 | Saída fácil e explícita de tantas situações quanto possível, que permita cancelar a operação, ou desviar  |
| <b>7. Alternativas de uso</b>                        | Usuários experientes podem aumentar a produtividade   |
| <b>8. Mensagens de Erro</b>                          | Informar ao usuário sobre o erro que ocorreu para facilitar o reparo, ou evitar a reincidência  |
| <b>9. Prevenção de Erros</b>                         | Esta previsão pode ser obtida através de análises feitas junto a usuários   |
| <b>10. Ajuda e Documentação</b>                      | O ideal é não ser necessário recorrer ao manual. Caso aconteça, o sistema de ajuda deve ser o mais claro e conciso possível.  |

Os resultados da análise de Usabilidade fornecem informações ao MAGOF que subsidiam os preenchimentos das planilhas dos Desempenhos Específicos de Funcionalidade, Projeto e Econômico.

Avaliar a Usabilidade de um produto acabado, ou em projeto, é uma oportunidade para verificar os fatores ergonômicos tocantes a relação homem - máquina como antropometria, biomecânica, fisiologia e aspectos intrínsecos como a funcionalidade, confiabilidade, segurança, durabilidade, acabamentos sem cantos vivos, aspectos relacionados a manutenção, eficiência do projeto e da operação, dentre outros, por isto exige - se que o avaliador acumule conhecimento e para isto é necessário que entreviste e observe usuários, fabricantes e demais atores, por um período de tempo que envolva o ciclo de vida do produto.

As análises dos fogões foram realizadas pelos pesquisadores empregando os métodos *Observação* e *Heurístico*, baseados nas informações do fabricante, das entrevistas com usuários e pela experiência pessoal adquirida no contato direto que tiveram com os fogões durante todos os ensaios realizados

### **3.2.8 - Temperatura da carcaça**

Este ensaio avalia a segurança do operador tomando como referência a norma sul - africana SANS 1243 (2007) destina - se a fogões de parafina que estabelece temperaturas máximas de 40 °C das carcaças dos fogões, para impedir que o usuário sofra queimaduras. O ensaio permite também testar a eficiência do isolamento térmico e foi integrado ao MAGOF com reflexos nos Desempenhos Específicos de Projeto, Funcionalidade e energético.

O ensaio consiste basicamente em medir as temperaturas na carcaça dos fogões. Um procedimento muito simples no Fogareiro, Entretanto, no Ecoforno foram encontradas faixas de temperaturas diferente, então a carcaça foi demarcada como mostra a Figura 3.5 Para a medição foi usado um Pirômetro óptico Raytec MX, foi empregada uma câmara térmica FLIR I60 para gerar mais uma fonte de dados para comparar os resultados e promover o refinamento dos resultados.

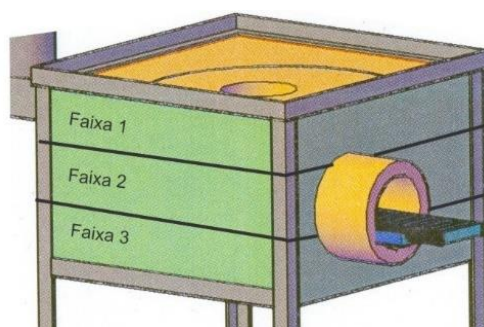


Figura 3.5 - Faixas para medição de temperatura na caraça do Metálico.

### 3.2.9 - Perfil das Temperaturas na Chapa

O Metálico é anunciado como um fogão que tem a característica especial de oferecer ao usuário diferentes temperaturas na zona de cocção para facilitar trabalho de cozinhar, ao mesmo tempo que economiza combustível. Este efeito é gerado por uma nervura circular que integra a face inferior da placa e direciona os gases da combustão, criando as diferenças de temperatura na zona de cocção. Uma inovação tecnológica patenteada pelo fabricante. O ensaio Perfil de Temperatura na Chapa visou caracterizar o fogão avaliando qual o comportamento da temperatura sobre a área de cocção e reunir informações para determinar os Desempenhos Específicos relacionados ao comportamento.

O ensaio extraordinário *Perfil de Temperatura na Chapa* foi planejado para ser realizado unicamente no Metálico para investigar a influência da nervura, conhecer o perfil de temperatura gerado na placa, avaliar a consistência do projeto e reunir informações para auxiliar a obtenção dos *Desempenhos Específicos do Projeto, de Funcionalidade, Usabilidade e Energético*.

Foram feitos três procedimentos e os resultados foram comparados. O primeiro ensaio consistiu em registrar simultaneamente as variações das temperaturas de oito pontos pré-determinados sobre a chapa de ferro do fogão, na queima de uma única batelada de biomassa. Foram feitas 5 repetições e adotou - se como resultado a média aritmética dos três ensaios mais consistentes.

Nos preparativos do ensaio foi traçada uma malha de giz na área de cocção da placa, como é mostrado nas Figura 3.6 A e B, para mapear as zonas de temperaturas de maneira que os 8 termopares fossem locados nos mesmos pontos de contato e assim garantir que a fidelidade dos resultados nas repetições do ensaio.

Estes pontos de coleta foram delimitados por círculos vazados para que os termopares ficassem em contato direto com a placa, evitado que o giz interferisse na transferência de calor. Para reduzir as perdas térmicas foi empregada pasta térmica nos contatos entre as pontas dos termopares e a placa do fogão. O material empregados estão listados na Tabela 3.6.

Tabela 3.6- Materiais utilizados para mapear as temperaturas na chapa.

| <b>Função</b>           | <b>Materiais e equipamentos</b>                                   | <b>Especificações</b>  |
|-------------------------|---|--|
| Combustível             | Biomassa vegetal  | Jatobá (Hymenaea Courbaril)  |
| Medição de temperaturas | 8 Termopares de contato, tipo K                                   | Faixa de leitura: - 50°C ~ +1500°C<br>Precisão: ± 0,4% Leit. ou ±1,1°C |
| Aquisição de dados      | Computador  | Netbook Acer de 10"  |
|                         | Software  | DAQFactory 5.73 (AZEOTECH, 2007)<br>Versão gratuita.                   |
|                         | Aquisitor de dados  | Marca COMTEMP modelo A202  |
| Marcação da malha       | Giz branco  |  |
| Ignição da biomassa     | Gás butano  |  |
| Correção de contato     | Pasta térmica   |  |
| Velocidade dos gases    | Anemômetro com molinete telescópico - Marca Testo, modelo 350/454 |  |

O aparato foi montado como é visto nas Figura 3.6 - C, D. O Programa DAQ Factory foi calibrado para coletar as temperaturas dos 8 pontos a cada 10 segundos.

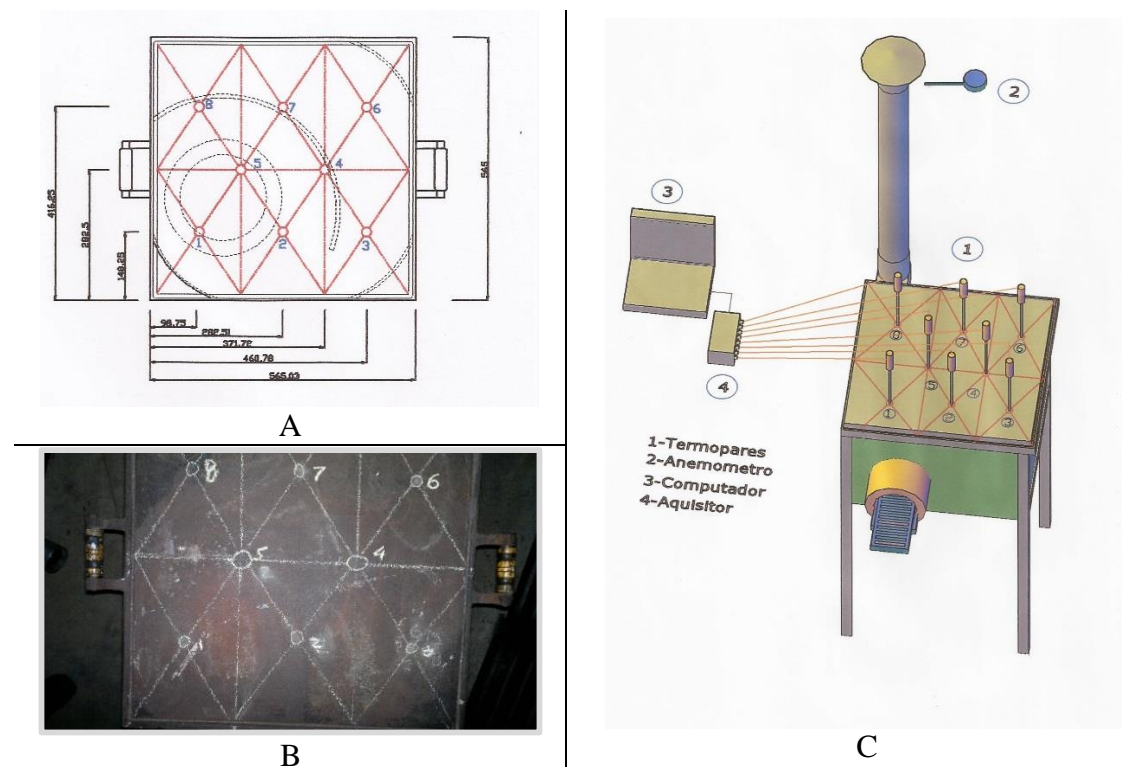


Figura 3.6 - (A) Croqui da malha, (B) Malha traçada na placa, (C) Aparato de ensaio.

Nas repetições desse ensaio foram empregadas cargas únicas de 500 g de biomassa para evitar perturbações e permitir que o sistema entrasse em regime permanente naturalmente e mais rápido e assim facilitar a interpretação e o uso dos resultados com mais clareza.

No segundo procedimento foi realizado uma serie de imagens térmicas a cada 5 minutos, empregado uma câmara FLIR I60, nas mesmas condições do primeiro ensaio. Este procedimento gerou imagens reais do fenômeno, oferecendo uma valiosa ferramenta de análise.

Finalmente foi elaborada uma simulação computacional somente no Metálico com caráter qualitativo, empregando o programa Fluent com o objetivo de oferecer um modelo digital para auxiliar na interpretação do comportamento da dinâmica da transferência de calor na chapa. O uso de protótipos para o desenvolvimento de produtos é muito mais caro do que a aplicação de modelos computacionais. Além disso, o controle que se tem sobre experiências virtuais é muito maior do que temos sobre as experiências reais. É muito vantajosos poder variar parâmetros sem a necessidade de realizar ensaios para conhecer os resultados com detalhes de difícil obtenção, mesmo que qualitativamente. A



quantidade de informações obtidas a partir de simulações permite a compreensão em maior detalhe dos processos que ocorrem durante a conformação ou operação de um produto.

A Dinâmica de Fluidos Computacional (CFD) consiste na análise do movimento de fluidos por meio de simulações numéricas. Seu objetivo é a procura de uma solução aproximada das equações que regem o movimento dos fluidos, discretizando ou dividindo o domínio do cálculo em pequenos elementos e resolvendo estas equações para cada um deles. Por tudo isto foi empregada neste ensaio para analisar o comportamento dos gases da combustão sob a chapa do fogão e auxiliar a determinar o perfil das temperaturas na chapa.

### **3.2.10 - Avaliação das emissões dos Gases da Combustão**

A avaliação dos gases da combustão foi realizada somente no Metálico devido sua configuração com chaminé que permite o uso dos equipamentos. O ensaio foi realizado simultaneamente aos ensaios WBT. O objetivo foi quantificar e identificar as espécies emitidas, coletar parâmetros para avaliar a qualidade da combustão, coletar dados para realizar as Avaliações dos Desempenhos Específicos Ambiental e Energético do fogão.

O arranjo físico utilizado no ensaio é mostrado na Figura 3.7 com os posicionamentos da sonda do analisador de gases num orifício da chaminé para fazer uma coleta direta dos gases e a sonda do anemômetro usado para medir a velocidade dos gases, posicionado na base da chaminé. O controle das temperaturas foi feito pelos mesmos termopares utilizados no WBT que foi realizado simultaneamente.

Manteve - se o procedimento de realizar 5 ensaios e utilizar como resultado a média dos três resultados mais consistentes. As especificações dos equipamentos utilizados estão enunciadas na Tabela 3.7.

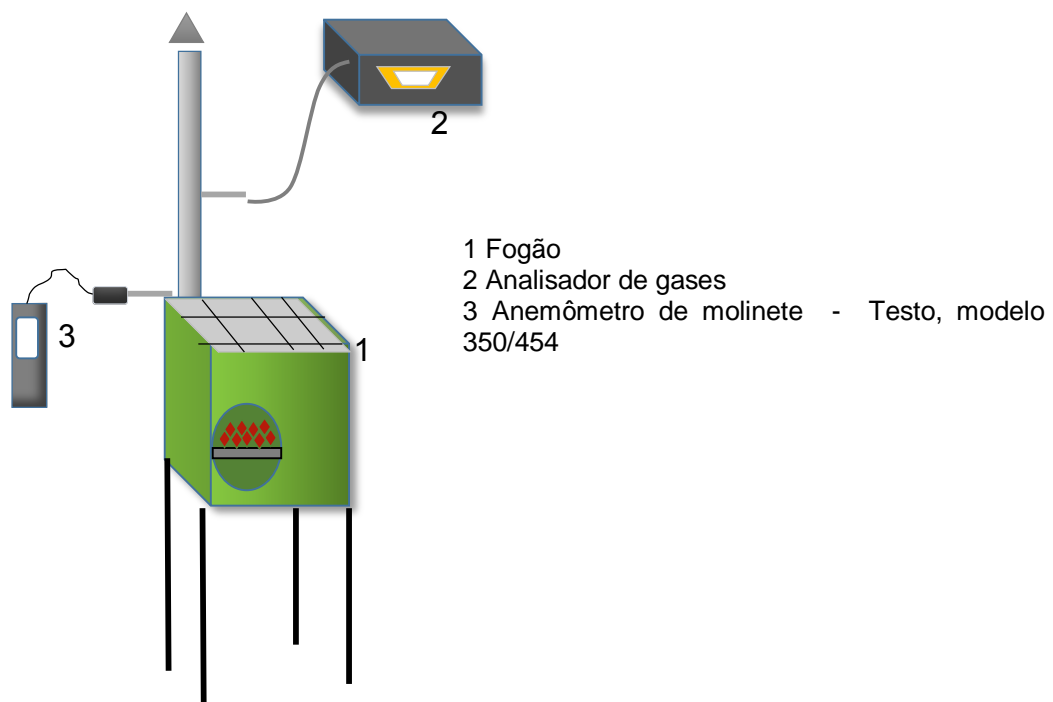


Figura 3.7 - Aparato para a medição de gases.

Tabela 3.7 - Especificações dos Equipamentos Usados na Análise de Emissões.

| Parâmetro medidos                | Materiais e equipamentos utilizado   | Especificações                                       |           |   |
|----------------------------------|--|--|-----------|---|
|                                  |  | Faixa de leitura                                     | Resolução | Precisão                                  |
| Concentração de O <sub>2</sub>   | Analisador de gases e monitor de combustão marca Tempest 100               | 0 - 25%  | 0,1%      | +/- 0,2 %                                 |
| Concentração de CO               |  | 0 - 10.000 ppm                                       | 1 ppm     | <100 ppm +/- 5 ppm<br>>100 ppm +/- 5 %fsd |
| Concentração de CO alto          |  | 0 - 10%  | 0,01%     | < 0.10% +/- 0,01 %<br>> 0,10% +/- 5 %fsd  |
| Concentração de SO <sub>2</sub>  |  | 0 - 2000 ppm   | 1 ppm     | <100 ppm +/- 5 ppm<br>>100 ppm +/- 5 %fsd |
| Concentração de NO               |  | 0 - 1000 ppm   | 1 ppm     | <100 ppm +/- 5 ppm<br>>100 ppm +/- 5 %fsd |
| Concentração de NO <sub>2</sub>  |  | 0 - 200 ppm  | 1 ppm     | <20 ppm +/- 5 ppm<br>>20 ppm +/- 5 %fsd   |
| Concentração de H <sub>2</sub> S |  | 0 - 200 ppm  | 1 ppm     | +/- 1ppm                                  |
| Concentração de HCl              |  | 0 - 100 ppm  | 1 ppm     | +/- 1ppm                                  |
| Temperatura dos gases            |  | Até 800°C  | 1°C       | +/- 0,3%                                  |
| Temperatura ambiente             |  | Até +60°C  | 1°C       | +/- 0,3%                                  |
| Pressão/Tiragem                  |  | +/- 150 mbar   | 0,01mbar  | +/- 0,5% fsd                              |
| CO <sub>2</sub> calculado        |  | 0 - 25 %   | 0,1%      |   |
| Relação CO/CO <sub>2</sub>       |  | 0 - 0, 9999  |           |   |
| Eficiência da combustão          |  | 0 - 99,9%  | 0,1%      |   |
| Excesso de ar                    | 0 - 2000 %   |  |           |   |
| Velocidade dos gases             | Anemômetro com molinete telescópico de 16 mm - Marca Testo, modelo 350/454 | +0,6 +40 m/s   | 0,1 m/s   | ±(0,2 m/s +1,5% do v.m.)                  |
| Temperatura de controle          | 8 Termopares de contato, tipo K  | 50°C~+1500°C   | 0,1°C     | ± 0,4% Leit. ou ±1,1°C                    |
| Combustível                      | Biomassa vegetal   | Jatobá (Hymenaea Courbaril)                          |           |   |
| Aquisição de dados               | Computador   | Netbook Acer de 10"                                  |           |   |
|                                  | Software   | DAQFactory 5.73 (AZEOTECH, 2007)<br>Versão gratuita. |           |   |
|                                  | Aquisitor de dados   | Marca COMTEMP modelo A202                            |           |   |

### 3.2.11 - Emissão de SO<sub>2</sub>

Este ensaio foi realizado excepcionalmente no Metálico em decorrência da presença de picos de SO<sub>2</sub> nas análises de gases, que precisaram ser investigados, não só pela questão ambiental, com também reflete nas avaliações dos Desempenho Específicos de Projeto e Ambiental do MAGOF.

No processo investigatório foram inicialmente levantadas as hipóteses das fontes de emissão, sendo a primeira a contaminação da biomassa, logo descartada com base na caracterização feita anteriormente, restando alguma parte do fogão, pelas condições de operação, mostradas nas Figura 3.8 e Figura 3.9, indicavam que a grelha estava sofrendo degradação térmica e as escórias ao caírem nas chamas causavam as emissão intermitentes. Então partiu - se para a realização de um ensaio específico com análise metalográfica e de Microscopia eletrônica para definir se os teores de enxofre na grelha eram significativos.



Figura 3.8 - Grelha rubra durante a operação.



Figura 3.9 - Grelha degradada e deformada pelo calor.

### 3.2.12 - Teste da Água Fervente (WBT)

O MAGOF incorporou os resultados do WBT (Water Boiling Test) nas avaliações dos Desempenhos Específicos Energético e Ambiental por ser um método que tem consistência para avaliar um fogão, é amplamente discutido, revisado periodicamente, é bem aceito mundialmente e gera uma série de parâmetros como a potência do fogão, o consumo de biomassa, o tempo de partida, as eficiências térmicas, emissões, que são requisitos necessários nas avaliações dos DE.

A versão 4.2.2 de abril de 2013 do WBT foi aplicada nesta aplicação do MAGOF. Os ensaios feitos no Metálico e no Fogareiro empregados diretamente para determinar os Desempenhos Energéticos no MAGOF, já os ensaios realizados nos Fogões a Gás e Elétrico auxiliaram na avaliação. O primeiro foi usado para determinar os Desempenhos

Específicos Econômicos e o fogão elétrico foi empregado para determinar a temperatura de ebulição da água, necessário para determinar os Desempenhos Energéticos.

### 3.2.13 - As Panelas e Demais Materiais

Seguindo as recomendações do WBT, as panelas não devem ter tampa, deve ser mantida uma lâmina d'água suficiente para que o termopar fique a 50 mm do fundo do recipiente e bem no centro da panela. Nos ensaios foi adotado o arranjo da Figura 3.10 A e B.

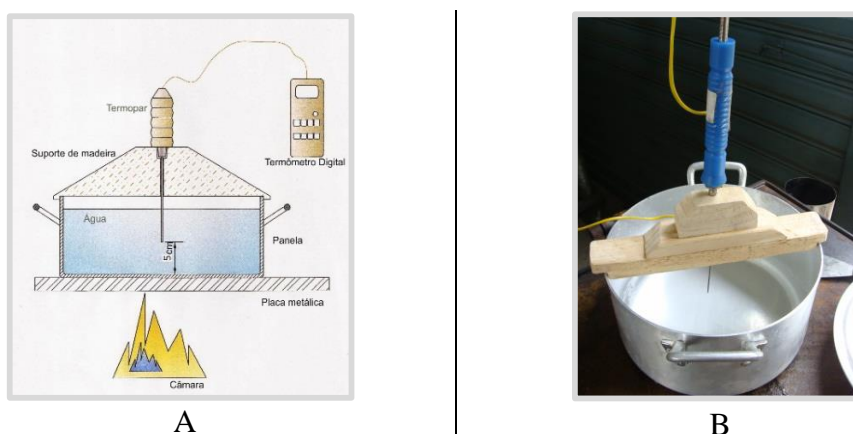


Figura 3.10 - Arranjo adotado com base no WBT.

O WBT recomenda que a capacidade, forma e quantidade de panelas deve ser de acordo com as características do Fogão. Nos ensaios foram utilizados quatro tipos panelas (Figura 3.11), para adequar a cada um dos quatro fogões utilizados.

|  |              |          |           |
|--|--------------|----------|-----------|
|  | Volume Litro | Tipo     | Fogão     |
|  | 1            | Circular | Fogareiro |
|  | 2,5          | Circular | Elétrico  |
|  | 5            | Circular | Gás       |
|  | 5            | Quadrada | Metálico  |
|  | 5            | Circular | Metálico  |

Figura 3.11 - Panelas utilizadas nos Ensaio WBT nos vários fogões.

As panelas circulares foram adquiridas no mercado, já as panelas quadradas (Figura 3.12) foram confeccionadas especialmente para realizar o WBT no Metálico,

devido as características do fogão. Com a intenção de recobrir toda a área de cocção e aproveitar o máximo do calor transferido.

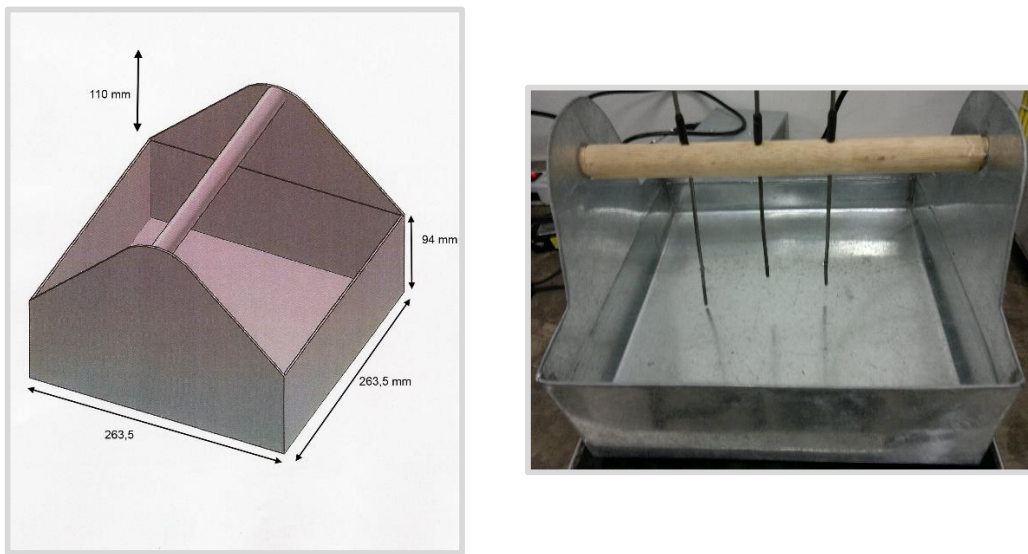


Figura 3.12 - Panela quadrada, confeccionada para o WBT no Metálico.

Entretanto, panelas quadradas não são usuais, então foi realizada outra bateria de teste com panelas comerciais circulares de 5 litros, para que os ensaios refletissem condições mais realistas e os resultados pudessem ser comparados. O material empregado nos testes de todos os fogões está descrito na Tabela 3.8.

Tabela 3.8 - Material empregados nos ensaios WBT.

| Função                            | Materiais e equipamentos      | Especificações   | WBT           |                  |   |   |
|-----------------------------------|-------------------------------|--|---------------|------------------|---|---|
|                                   |                               |  | M             | F                | E | G |
| Combustível                       | Biomassa vegetal              | Jatobá (Hymenaea Courbaril)<br>Umidade 10 a 9 %                          | X             | X                |   |   |
| Medição de temperaturas           | Termopares de contato, tipo K | Faixa de leitura: - 50°C ~ +1500°C<br>Precisão: ± 0,4% Leit. ou ±1,1°C   | 8             |                  | 3 | 6 |
|                                   |                               | Marca Minipa MTK - 13, 50°C ~ +700°C<br>Precisão: ± 0,4% Leit. ou ±1,1°C |               | 3                |   |   |
| Aquisição de dados                | Computador                    | Netbook Acer de 10"  | X             | X                | X | X |
|                                   | Software                      | DAQ Factory 5.73 (AZEOTECH, 2007) versão gratuita.                       | X             | X                | X | X |
|                                   | Aquisitor de dados            | Marca COMTEMP, modelo A202   | X             |                  | X | X |
|                                   | Termômetro digital            | Marca Minipa MT - 520<br>- Precisão: - 100°C ~ 1300°C<br>±0,1%+0,7°C     |               | X                |   |   |
| Painéis                           | Painéis circulares            | Marca São Paulo, cap. de 5 litros  | 4             |                  |   | 4 |
|                                   | Painel quadradas              | Fabricada para os Ensaio, cap. 5 litros                                  | 4             |                  |   | 4 |
|                                   | Painel circular               | Marca Rochedo, cap. 1 litro  |               | 1                |   |   |
|                                   | Painel circular               | Marca Rochedo, cap. 2,5 litros   |               |                  | 1 |   |
| Fogões                            | Fogão a gás de 4 bocas        | Marca Dako/ botijão de gás de 13 kg                                      |               |                  |   | X |
|                                   | Fogão elétrico                | Marca Schott Gerat   |               |                  | X |   |
|                                   | Fogão à biomassa              | Marca Ecofogão - Modelo Metálico -                                       | X             |                  |   |   |
|                                   | Fogão à biomassa              | Fogareiro com boca de Barro  |               | X                |   |   |
| Ignição                           | Gás butano                    |  | X             | X                |   |   |
| Correção de contato               | Pasta térmica                 |  | X             | X                | X |   |
| Medir massa da água e da biomassa | Balança digital               | Marca Kratus - modelo KD3000 Cap. 30 kg, divisão 5g                      | X             | X                | X | X |
| Coletor de Cinza                  | Bandeja de alumínio           |  | X             | X                |   |   |
| Medir Tempo                       | Relógio                       |  | X             | X                | X | X |
|                                   |                               |  |               |                  |   |   |
| Legenda:                          | M= Metálico                   | F=Fogareiro  | G=Fogão a Gas | E=Fogão elétrico |   |   |

### 3.2.14 - WBT no Metálico

A Figura 3.13 mostra o arranjo físico para o WBT no Metálico com as placas quadradas recobrendo toda área da placa e a Figura 3.14 demonstra o croqui utilizado no ensaio com placas circulares. Os arranjos se assemelham com a mesma distribuição dos termopares descrita na Tabela 3.9, o mesmo aparato de aquisição de dados e a adoção da placa número 1 como *Placa Mestre*.

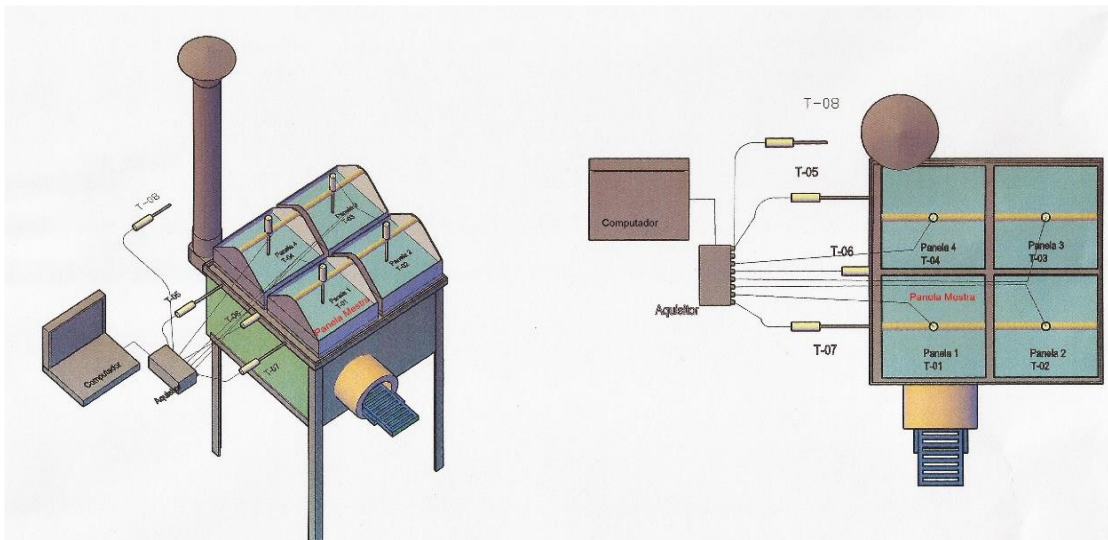


Figura 3.13 - Aparato do WBT com placas quadradas no Metálico.

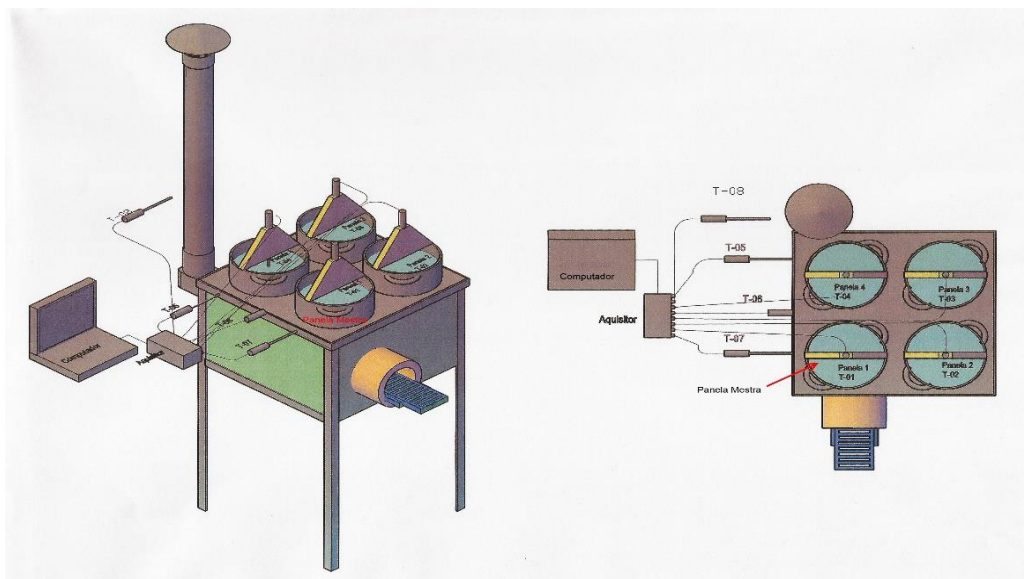


Figura 3.14 - Aparato do WBT com placas circulares no Metálico.



Tabela 3.9 - Locação dos termopares nos Ensaios WBT no Metálico.

| Identificação do Termopar | Localização     | Ponto de medição da temperatura              |
|---------------------------|-----------------|--|
| TC - 01                   | Panela 01       | Panela mestra 1. Para controle do ensaio     |
| TC - 02                   | Panela 02       | Panela 2, para o WBT                         |
| TC - 03                   | Panela 03       | Panela 3, para o WBT                         |
| TC - 04                   | Panela 04       | Panela 4, para o WBT                         |
| TC - 05                   | Base da Chaminé | Saída dos gases para controle de alimentação |
| TC - 06                   | Sobre a placa   | Chapa para auxiliar no controle do WBT       |
| TC - 07                   | Câmara          | Câmara auxiliar no controle do WBT           |
| TC - 08                   | Ambiente        | Ambiente para o WBT                          |

A panela número 1 foi adotada como *Panela Mestra* por estar situada na direção da saída dos gases de combustão da câmara Rocket Stove. Por ser o ponto de maior temperatura, certamente será a panela na qual a água entrará em ebulição primeiro que as demais, sendo uma boa referência para o ensaio.

A temperatura do ponto 5 foi usada como referência para indicar o início e o fim do período de aquisição de dados e de alimentação de biomassa por esta razão foi denominada de *Temperatura de Controle*.

A rotina dos ensaios seguiu os passos descritos no protocolo, onde foram registados na Partida Fria, Partida Quente e Fervura a duração, o consumo de biomassa, massa de água evaporada, cinzas, dados dos gases emitidos para cada fase e demais informações necessárias para preencher a planilha do WBT (Figura 3.15).



Figura 3.15 - Coleta das massas da biomassa, da água inicial e final e das cinzas.

### 3.2.15 - WBT no Fogareiro

Na aplicação do WBT no Fogareiro foi mantida a rotina, os equipamentos e a mesma biomassa, com a diferença de ser empregada apenas uma panela de 1 litro, seguindo as recomendações do método para a capacidade do fogão. Foi empregado um termômetro digital para fazer a leitura de três termopares, sendo um dedicado à

temperatura ambiente, outro para medir a temperatura da água e outro para controlar o sistema (Figura 3.16).

O termopar de controle foi colocado num pequeno orifício aberto numa das quatro ranhuras do bocal cerâmico, fixado na região de passagem dos gases entre o fundo da panela e a grelha, como é mostrado na Figura 3.17.



Figura 3.16 - Aparato no Fogareiro para o WBT.



Figura 3.17 - Localização do termopar de controle.

### 3.2.16 - Ponto de Ebulição

Na determinação do ponto de ebulição local da água, exigido pelo WBT, o aparato montado (Figura 3.18) contou com o fogão elétrico, quatro termopares, três para medir a temperatura da água em profundidades diferentes e um à temperatura ambiente, uma panela circular de 2,5 litros e os mesmos equipamentos de aquisição de dados utilizados Metálico.

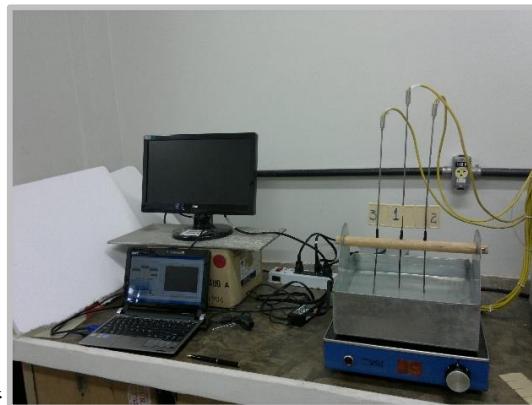


Figura 3.18 - Aparato para determinar o ponto de ebulição local da água.

### **3.3 - WBT NO FOGÃO A GÁS**

O WBT foi realizado no Fogão a Gás o WBT para apoiar a avaliação de Desempenho Específico Econômico. Foi empregado o mesmo aparato utilizado no Metálico com as painéis circulares, a diferença é que o botijão de gás foi colocado sobre uma balança. A exemplo do Fogão elétrico, este teste exigiu poucas manobras.

### **3.4 - AVALIAÇÃO ECONÔMICA**

Esta avaliação tem por princípio oferecer subsídios para determinar o *Desempenho Específico Econômicos do MAGOF*. O mecanismo empregado é fazer uma comparação direta entre os fogões à biomassa avaliados com fogões a gás nas mesmas condições locais. Comparando os custos envolvidos em todo o ciclo de vida da produção ao descarte. A disponibilidade de recursos locais pode ser determinante na opção por um fogão à biomassa ou a gás.

O fogão a gás é usado como referência devido as constatações de que estão nas expectativas da maioria dos usuários entrevistados na pesquisa, a existência de programas do Governo Federal de estímulo ao uso de fogões a gás, ter logística consolidada, valor de mercado estabelecido, linhas de financiamento consolidadas, melhor controle de operação, facilidade de uso. Entretanto, dependendo da localização fogão à biomassa poderá ser mais vantajoso, por isto a necessidade de comparação. Como ferramenta emprega - se um método de análise econômica.

### **3.5 - DESEMPENHO GLOBAL**

A determinação do desempenho Global são os percentuais de atendimento no universo de todos os requisitos de qualidade. O último segmento da planilha. Gerando um Índice de Desempenho Global.

## CAPÍTULO 4

### RESULTADOS E DISCUSSÃO

#### 4.1 - DESEMPENHO ESPECÍFICO DE PROJETO

Para respaldar os avaliadores sobre a consistência do projeto para preencher a planilha do Desempenho Específico de Projeto foram empregados uma análise do produto que envolveu avaliações do processo de fabricação considerando o ciclo de vida, o acabamento, das técnicas construtivas, as avaliações de usabilidade, os resultados dos ensaios de caracterização dos fogões, as análises de emissões, de maneira a reunir o maior número de informações possível, já que todas as avaliações geram informações que se relacionam a todos os Desempenhos Específico, então as informações empregadas nessa análises também foram úteis para determinar os Desempenhos Específicos Ambiental, Econômico, Energético e de Funcionalidade.

##### 4.1.1 - Análise de Projeto e Fabricação do Fogareiro



Figura 4.1 - Fogareiro montado e com seu tres componentes.

A concepção é de um projeto tradicional, simples e de baixa tecnologia. É composto por três componentes (Figura 4.1). O usuário reconhece tratar-se de um fogão a lenha, assim como, seu funcionamento, dispensando treinamentos e manuais.

O processo de fabricação, embora semi-industrial, segue uma linha de produção com um projeto básico que garante a produção em série, embora não siga dimensões rígidas. A técnica de fabricação exige habilidades especiais de oleiros para a fabricação da boca de barro. É empregado material regional. A base metálica é de material reciclado. Estas características proporcionam o baixo custo, que por sua vez estimulam o descarte mais rapidamente. Requer energia para a queima da boca cerâmica, caso o forno seja a

lenha, exigir cuidados ambientais no tocante a origem, quantidade empregada e tempo de renovação da lenha.

Tem como pontos negativos a falta de chaminé e usar uma panela por vez, que apresenta como desvantagem maior manejo de panelas, provocando aumento do consumo de lenha, já que a energia da combustão da biomassa não é compartilhada por outras panelas, caso fosse multipanelas. A base metálica não tem isolamento térmico e pode provocar queimaduras, ou incêndios.

#### 4.1.2 - Análise de Projeto e Fabricação do Metálico



Figura 4.2 - Imagem de divulgação.



Figura 4.3 - Linha de produção.

É um fogão com tecnologia agregada, que oferece versatilidade, tanto pelo uso de várias panelas, uma vantagem anunciada pelo fabricante (Figura 4.2), que o torna mais econômico, como permitir empregar como combustível tanto carvão como lenha com distintas umidades. Outro ponto positivo no projeto é a existência de Chaminé que elimina a fumaça do ambiente.

O processo de fabricação é industrial, seguindo uma linha de produção (Figura 4.3) onde pode - se ressaltar como pontos positivos a padronização de medidas, a existência do planejamento e controle da produção, acabamento dentro de um padrão de qualidade que favorece o atendimento pós - venda com o fornecimento de componentes. O material empregado é comercial, o metal é reciclável. Mas a exemplo do Fogareiro, o bloco cerâmico não é reciclável, entretanto é bem mais durável.

Como pontos negativos tem - se o processo de fabricação que emprega soldas, conformação de metais e a fabricação da placa de ferro fundido que requer conhecimento de metalurgia e fundição com mão-de-obra especializada, centralizando a produção, o que acaba por encarecer o produto a ponto de equiparar seu preço ao de um fogão a gás de 4 bocas médio. Some - se a isto o peso e a fragilidade da placa de ferro fundido que encarece o frete e dificulta o atendimento pós - venda para regiões mais distantes.

### 4.1.3 - Ensaio Perfil de Temperatura na Chapa

Retoma - se o esclarecimento que este ensaio foi exclusivamente elaborado e aplicado no fogão Metálico com o intuito de agregar conhecimento para avaliação de desempenho, verificando - se o efeito causado pela placa metálica nervurada na distribuição de temperatura na área de cocção, e a conformidade com o projeto. A média dos três ensaios para registro das temperaturas dos 8 pontos demarcados na malha de giz traçada na chapa (Figura 4.4 e Figura 4.5), resultou no gráfico mostrado na Figura 4.7.

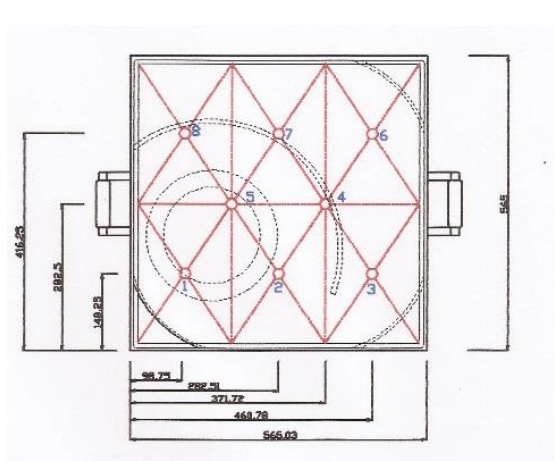


Figura 4.4 - Croqui da malha traçada na face superior da placa.

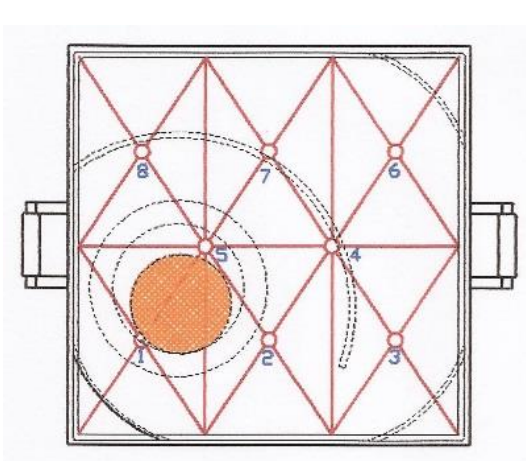


Figura 4.5 - Face superior com a malha e a projeção da saída da câmara.

Na análise do gráfico nota - se que os 8 pontos tem perfis de temperaturas diferentes que reagem semelhantemente às variações térmicas, denotando a uniformidade da condutividade térmica do material empregado no projeto.

As variações das temperaturas no trecho de regime permanente, entre os pontos 2180 e 2430 segundos, nos oito pontos da placa são mostrados no gráfico da Figura 4.6 que mostra as médias das temperaturas e as temperaturas mais elevadas. Coincidentemente quando o sistema entra em regime permanente e posteriormente as temperaturas começam a decrescer.

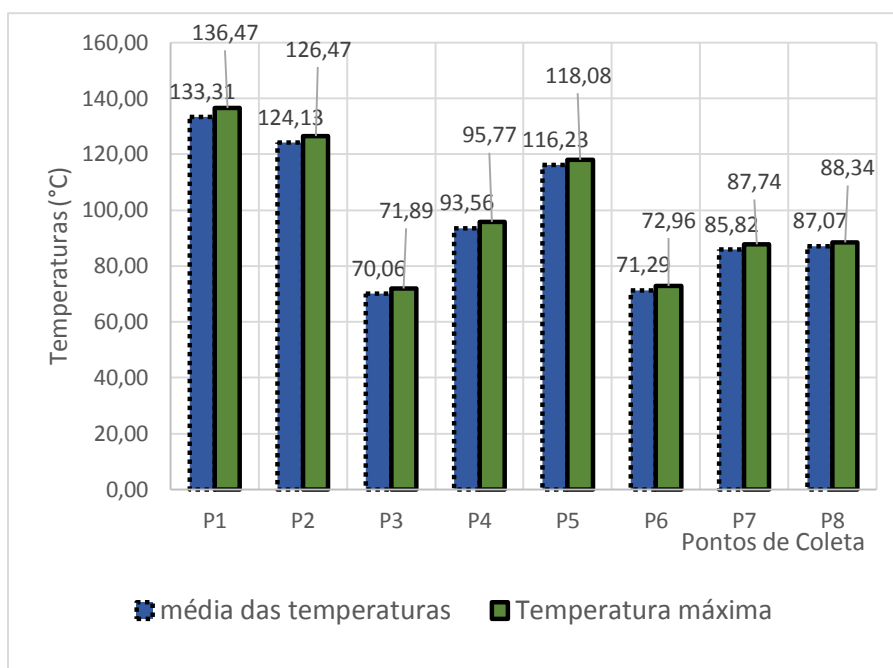


Figura 4.6 - Gráfico das médias das temperaturas em regime permanente.

No período mostrado pela Figura 4.6 as temperaturas mais elevadas estão na região do ponto 1, seguido pelos pontos 2 e 5, que estão localizados na face oposta a saída dos gases da câmara de combustão, como pode ser percebido na Figura 4.5, enquanto que o ponto 6 registrou as temperaturas mais baixas, embora próximas daquelas registradas no ponto 3. O ponto 4 está numa zona intermediária de temperaturas, no início do percurso do gás. A região do ponto 8 ainda sofre influência próxima do escoamento dos gases do ponto 5, mas os gases estão no fim do percurso da chapa, prestes a entrar na chaminé e foram resfriados no trajeto, mas, ainda assim, esse ponto tem as temperaturas são mais elevadas do que o ponto 6 e próximas aquelas do ponto 7 e menores do que do ponto 5.

No gráfico Figura 4.7 a partir do segundo 1200 ocorre uma aceleração do aquecimento da placa. Observando os perfis dos pontos 2 e 5, nesse segundo a temperatura no ponto 2 se eleva bruscamente e se iguala ao ponto 5, voltando a se separar na fase em que o sistema entra em regime permanente, entre os segundos 2180 e 2430, as temperaturas do ponto 5 se elevam e depois se aproximam no resfriamento, entre 2400 e 2700 segundos. Já os pares de pontos 3 - 6 e 7 - 8 tem comportamento oposto, aproximam - se no regime permanente, enquanto que as temperaturas no ponto 4 elevam - se daquelas do par de pontos 7 - 8.

Comparando o gráfico da Figura 4.7 e a Figura 4.6 onde as temperaturas menos elevadas são as do ponto 6, fora da região passa a ser aquelas do ponto 3. Estes comportamentos são reflexos do posicionamento dos pontos na placa diante do comportamento do escoamento dos gases quentes, das propriedades do material e do projeto da placa.

É importante ressaltar que este ensaio foi realizado e elaborado para esta situação específica, na qual se desejava observar o efeito da placa nervurada na transferência de temperatura de forma qualitativa para a parte superior da placa. Desta maneira foi utilizada uma pequena quantidade de biomassa. Entretanto, alerta - se que se mais biomassa fosse adicionada, mais energia seria acrescentada ao sistema e o perfil das temperaturas certamente seria alterado com a formações de outras regiões do regime permanente e a continuação do afastamento dos pares de temperaturas, ocupando faixas individuais. Esta observação foi complementada pelos ensaios WBT, quando o fogão foi utilizado por mais tempo e pela Simulação computacional.



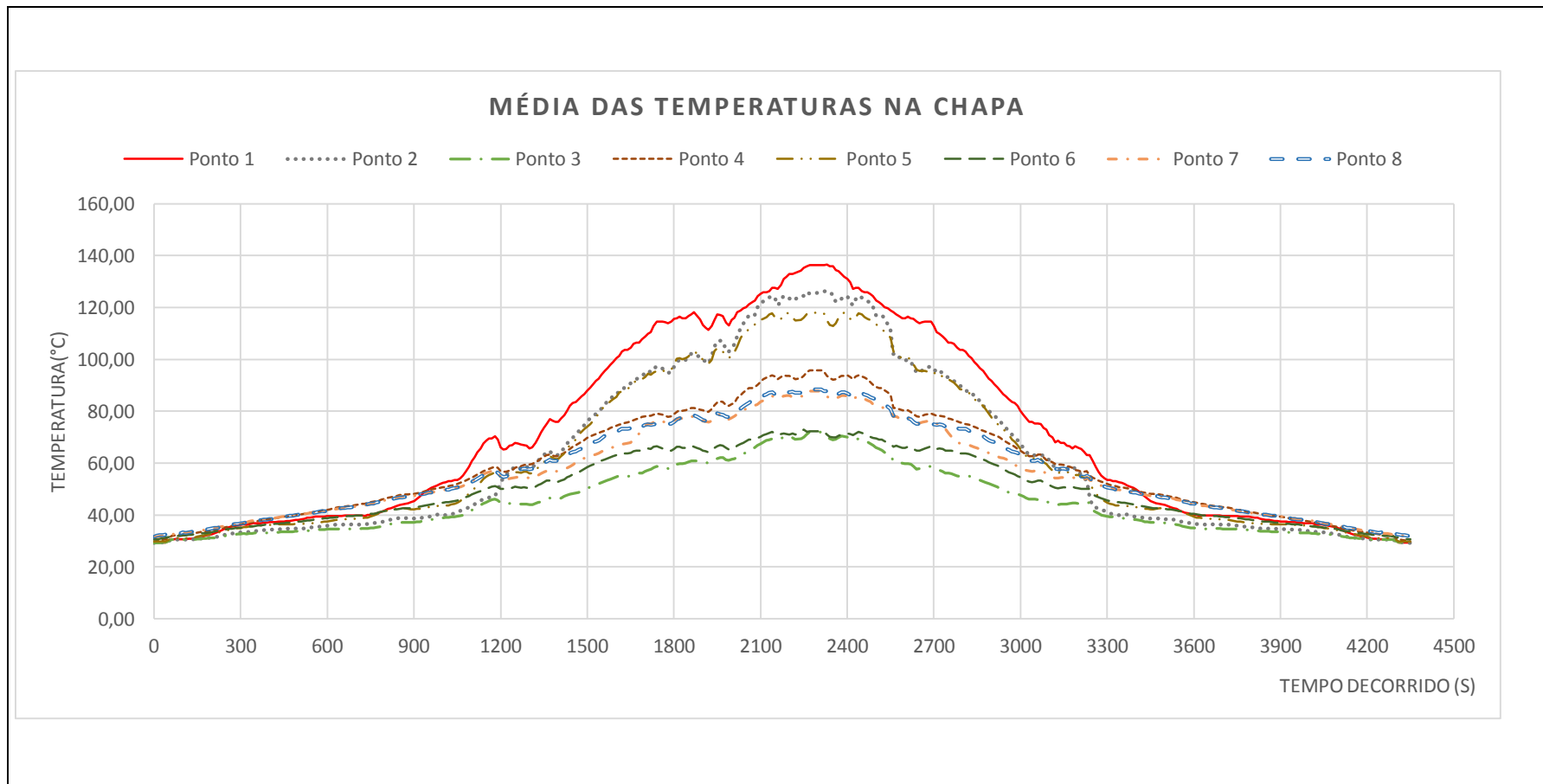


Figura 4.7 - Distribuição das médias de temperaturas na Chapa.

#### 4.1.4 - Imagens com Termovisor

As imagens térmicas foram realizadas para oferecer uma visão real do comportamento da placa, ampliando os dados pontuais coletados com os termopares e assim aumentar a precisão da análise.

A coleta de imagem foi feita nas mesmas condições dos ensaios realizados com os termopares. Inicialmente foi fixado o posicionamento da mira do Termovisor FLIR I60 e assim foram efetuados manualmente os registros em intervalos de 5 minutos.

A Figura 4.8 mostra o resultado de 4 momentos em ordem cronológica da evolução do aquecimento da face superior da chapa, com os deslocamentos dos gases quentes direcionados pelas nervuras da placa do fogão. Complementado os indicativos pontuais obtidos no ensaio com os termopares na malha de giz.

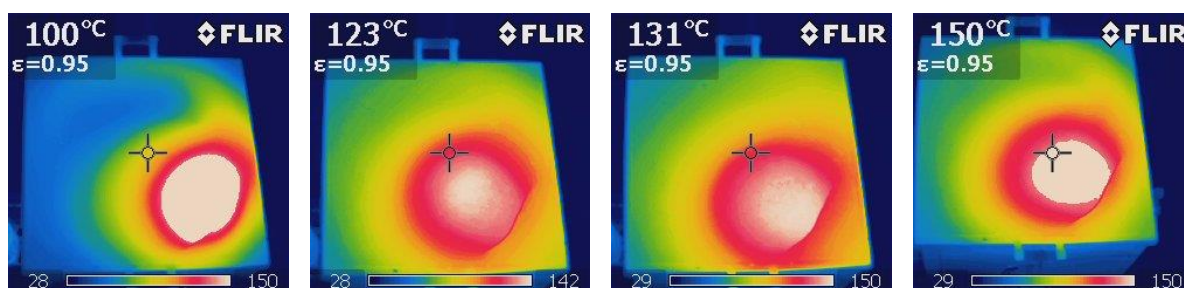


Figura 4.8 - Registos de evolução do aquecimento da placa do Metálico.

#### 4.1.5 - Simulação Computacional

Os processos térmicos são caracterizados pela distribuição de temperaturas e fluxos de calor a determinação dessa distribuição experimentalmente requer de aquisição de equipamentos de medição sofisticados e caros. Já o um modelo matemático do mesmo seria interpretado como a solução de um problema do valor inicial (PVI), governado por equações diferenciais parciais onde estas equações vêm do equilíbrio de energia no sistema em estudo.

##### 4.1.5.1 - Descrição do programa computacional

Para a simulação computacional foi usada uma ferramenta CFD (Computational Fluid Dynamics) a qual ajuda no desenvolvimento de fogões e permite melhoramento da sua eficiência, mas na situação específica a ferramenta computacional foi utilizada somente para a verificação do comportamento térmico do fogão e a dinâmica dos gases no interior do fogão, analisado e identificando as zonas de baixa e alta temperatura existentes na chapa metálica.

Para este estudo foi utilizado o programa Ansys Workbench com ajuda do programa Fluent que é parte do mesmo programa Ansys. O programa inicialmente executa um pré - processamento utilizado para definir a geometria do modelo e para a criação da malha que pode ser de forma manual ou automática dependendo das necessidades. As condições de contorno para o problema, por exemplo: temperaturas, velocidades, fontes de calor, etc. e o tipo de material, por exemplo: fluidos, sólidos, também são criadas nesta etapa.

Após o pré - processamento o programa resolve o modelo CFD em função de todos os parâmetros inicialmente definidos e também o mesmo programa pode ser usado como um pós - processador para visualizar e analisar o comportamento do fluido e a transferência de calor com os outros elementos sólidos.

#### 4.1.6 - Equações de Conservação

O engenheiro francês Claude - Louis Navier e o matemático Inglês George Stokes escreveram as equações básicas que descrevem o movimento de um fluido, para o qual elas são conhecidas como equações de Navier - Stokes. Estas equações expressam as três leis da conservação: de massa, da quantidade de movimento e a equação da conservação da energia.

A equação da continuidade (conservação de massa) é baseada na lei da conservação da massa. Aplicando o conceito de movimento de um fluido, a taxa de variação de massa num volume de controle é igual à diferença de massa que entra e sai através das suas fronteiras.

A taxa de variação de massa de um volume de fluido é dada pela equação (4.1):

$$\frac{d\rho}{dt} \delta x \delta y \delta z \quad (4.1)$$

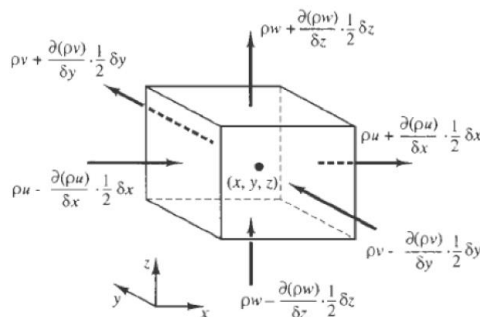


Figura 4.9 - Fluxo mássico que entra e sai de um elemento de fluido.

A mudança do fluxo de massa através da face do elemento de fluido é dada pelo produto da densidade, da área e de velocidade normal a superfície. Na Figura 4.9 pode ser analisada a mudança do fluxo de massa que passa através dos limites do elemento e está descrita pela equação (4.2):

$$\begin{aligned} & \left( \rho u - \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z - \left( \rho u + \frac{\partial(\rho u)}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \delta y \delta z \\ & + \left( \rho v - \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z - \left( \rho v + \frac{\partial(\rho v)}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z \\ & + \left( \rho w - \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y - \left( \rho w + \frac{\partial(\rho w)}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y \end{aligned} \quad (4.2)$$

A taxa de variação da massa que está dentro do elemento é igual à taxa de fluxo mássico de líquido através das fronteiras dos mesmos. Acomodando todos os termos do resultado da massa à esquerda da equação do balanço, resulta na equação (4.3).

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial \rho u}{\partial x} + \frac{\partial \rho v}{\partial y} + \frac{\partial \rho w}{\partial z} = 0 \quad (4.3)$$

Aplicando a segunda lei de Newton no fluido em movimento. A equação de movimento pode ser expressa em termos de pressão e os esforços devido à viscosidade do fluido agindo sobre a partícula. A taxa de variação do momento de uma partícula de fluido é a diferença das forças totais devido aos esforços das forças de superfície e volumétricas que agem sobre ele (Figura 4.10).

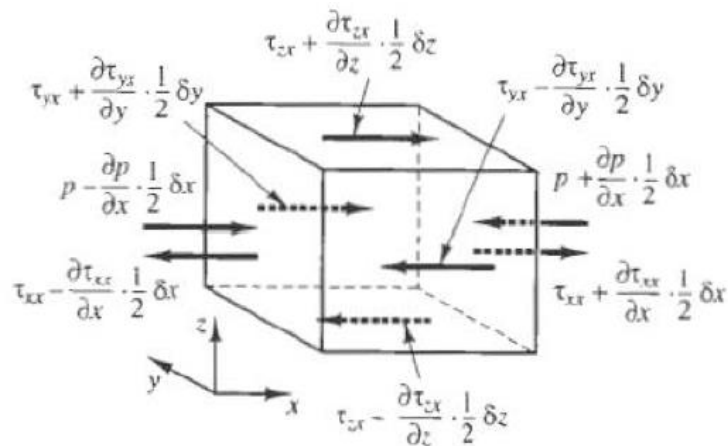


Figura 4.10 - Esforços superficiais sobre as faces do elemento de fluido

Considerando a componente x das forças devido à pressão  $p$  e os esforços  $\tau_{xx}$ ,  $\tau_{yx}$  e  $\tau_{zx}$ . A magnitude da força resultante de um esforço para a superfície é o produto de esforço e a área. As forças que atuam no mesmo sentido que as do eixo de coordenadas tem um sinal positivo se a força é na direção oposta se torna negativa. A força resultante na direção  $x$  é a soma dos componentes que agem nesta direção sobre o volume de fluido. A força resultante nas superfícies paralelas ao plano  $yz$  na direção  $x$  está definida pela equação (4.4).

$$\begin{aligned} & \left[ \left( p - \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) - \left( \tau_{xx} - \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z \\ & + \left[ - \left( p + \frac{\partial p}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) + \left( \tau_{xx} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \frac{1}{2} \delta x \right) \right] \delta y \delta z = \left( - \frac{\partial p}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xx}}{\partial x} \right) \delta x \delta y \delta z \end{aligned} \quad (4.4)$$

A força resultante nas superfícies paralelas ao plano  $xz$  na direção  $x$  está definida pela equação (4.5)

$$- \left( \tau_{yx} - \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z + \left( \tau_{yx} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \frac{1}{2} \delta y \right) \delta x \delta z = \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} \delta x \delta y \delta z \quad (4.5)$$

A força resultante nas superfícies paralelas ao plano  $xy$  na direção  $x$  está definida pela equação (4.6).

$$- \left( \tau_{zx} - \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y + \left( \tau_{zx} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \frac{1}{2} \delta z \right) \delta x \delta y = \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \delta x \delta y \delta z \quad (4.6)$$

A força resultante por unidade de volume que atua sobre o fluido devido a esforços superficiais é igual a somas das equações 1, 2, e 3 dividida pelo volume  $\delta x \delta y \delta z$  é dada pela equação (4.7).

$$\frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} \quad (4.7)$$

A componente x da equação de momento é a mudança do momento no volume de líquido igualado as forças totais na direção x devido aos esforços da superfície mais a taxa de variação do momento no componente x dado pela equação (4.8).

$$\rho \frac{Du}{Dt} = \frac{\partial(-p + \tau_{xx})}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yx}}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zx}}{\partial z} + S_{Mx} \quad (4.8)$$

Dada mesma forma é possível expressar a equação de momento pela equação (4.9)

$$\rho \frac{Dv}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial x} + \frac{\partial(-p + \tau_{yy})}{\partial y} + \frac{\partial \tau_{zy}}{\partial z} + S_{My} \quad (4.9)$$

Da mesma forma para a componente z a equação de momento está definida conforme a equação (4.10).

$$\rho \frac{Dw}{Dt} = \frac{\partial \tau_{xz}}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{yz}}{\partial y} + \frac{\partial(-p + \tau_{zz})}{\partial z} + S_{Mz} \quad (4.10)$$

Os esforços viscosos, resultantes da interação entre o fluido e a superfície do elemento, são representados pela matriz de tensões que em coordenadas cartesianas é escrita da seguinte forma (4.11).

$$\bar{\tau} = \begin{bmatrix} \tau_{xx} & \tau_{xy} & \tau_{xz} \\ \tau_{yx} & \tau_{yy} & \tau_{yz} \\ \tau_{zx} & \tau_{zy} & \tau_{zz} \end{bmatrix} \quad (4.11)$$

Os componentes  $\tau_{xx}$ ,  $\tau_{zz}$  e  $\tau_{yy}$  representam as tensões normais e as forças de cisalhamento que agem no domínio do fluido. A Figura 4.11 representa todos os esforços viscosos num volume infinitesimal:

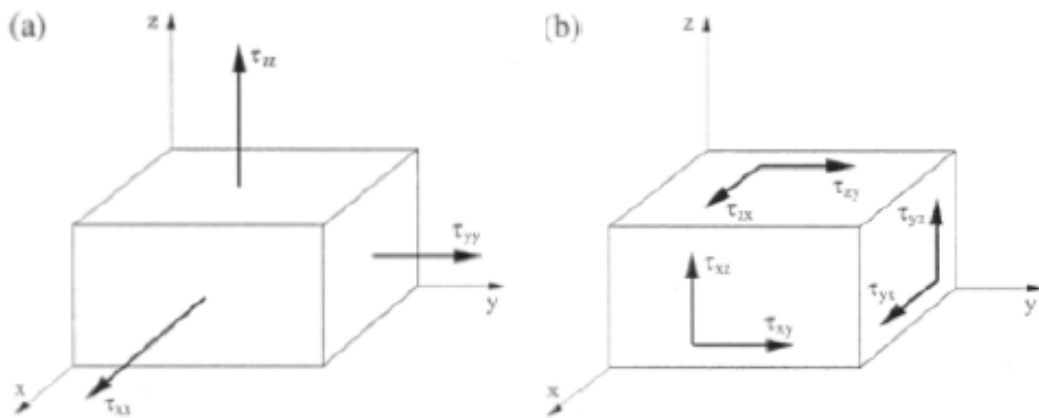


Figura 4.11 - Esforços normais e tangenciais que atuam sobre um volume de fluido

Como a grande maioria dos fluidos presentes nos problemas comuns podem ser considerados como newtonianos é possível representar os componentes das tensões viscosas conforme a série de equações de (4.12 a (4.17).

$$\tau_{xx} = \lambda \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + 2\mu \frac{\partial u}{\partial x} \quad (4.12)$$

$$\tau_{yy} = \lambda \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + 2\mu \frac{\partial v}{\partial y} \quad (4.13)$$

$$\tau_{zz} = \lambda \left( \frac{\partial u}{\partial x} + \frac{\partial v}{\partial y} + \frac{\partial w}{\partial z} \right) + 2\mu \frac{\partial w}{\partial z} \quad (4.14)$$

$$\tau_{xy} = \tau_{yx} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial y} + \frac{\partial v}{\partial x} \right) \quad (4.15)$$

$$\tau_{xz} = \tau_{zx} = \mu \left( \frac{\partial u}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial x} \right) \quad (4.16)$$

$$\tau_{yz} = \tau_{zy} = \mu \left( \frac{\partial v}{\partial z} + \frac{\partial w}{\partial y} \right) \quad (4.17)$$

Os líquidos e gases que fluem a baixas velocidades se comportam como fluidos incompressíveis. Como o fogão funciona com aspiração natural com uma única chaminé as velocidades apresentadas no interior são muito baixas e é possível aplicar essa consideração. Dessa forma, a densidade não terá nenhuma ligação com as equações da energia, do momento e da conservação da massa podendo ser simplificadas conforme as equações (4.18 a (4.23).

$$\text{Massa} \quad \frac{\partial \rho}{\partial t} + \text{div}(\rho u) = 0 \quad (4.18)$$

$$\text{Momento x} \quad \frac{\partial(\rho u)}{\partial t} + \text{div}(\rho u u) = -\frac{\partial \rho}{\partial x} + \text{div}(\mu \text{ grad } u) + S_{Mx} \quad (4.19)$$

$$\text{Momento y} \quad \frac{\partial(\rho v)}{\partial t} + \text{div}(\rho v u) = -\frac{\partial \rho}{\partial y} + \text{div}(\mu \text{ grad } v) + S_{My} \quad (4.20)$$

$$\text{Momento z} \quad \frac{\partial(\rho w)}{\partial t} + \text{div}(\rho w u) = -\frac{\partial \rho}{\partial z} + \text{div}(\mu \text{ grad } w) + S_{Mz} \quad (4.21)$$

$$\text{Energia interna} \quad \frac{\partial(\rho i)}{\partial t} + \text{div}(\rho i u) = -\rho \text{div } u + \text{div}(k \text{ grad } T) + \Phi + S_i \quad (4.22)$$

$$\text{Equações de estado} \quad p = p(\rho, T) \text{ e } i = i(\rho, T) \text{ considerando gas ideal} \quad (4.23)$$

$$p = \rho R T \text{ e } i = C_v T$$

#### 4.1.7 - Apresentação do problema físico

A Figura 4.12 mostra mais detalhes do Metálico, sua estrutura é retangular com dimensões 565x565x370mm e acamara tipo rocket stove, coma placa de ferro fundido, com nervuras e a ranhura de encaixe do bloco cerâmico para formar um duto para conduzir os gases de combustão. Para simplificar o problema, foi necessário isolar a zona de interesse, ou seja a fornalha e chapa metálica, do conjunto de elementos que conformam o fogão, a grelha, fornalha, isolamento térmico, estrutura metálica, chapa de distribuição de temperatura, chaminé, etc.

O sistema de análise começa a partir da liberação de calor da fornalha produzido pela queima da biomassa e continua com o percurso do gás de combustão a traves da chapa metálica para finalmente sair do fogão e entrar na chaminé. Para a Simulação foi criada uma geometria tridimensional mantendo as características relevantes da passagem dos gases de combustão e os detalhes essenciais da chapa metálica, foram considerados irrelevantes suportes e estruturas metálicas como também os meios de fixação (solda, parafusos, etc.).



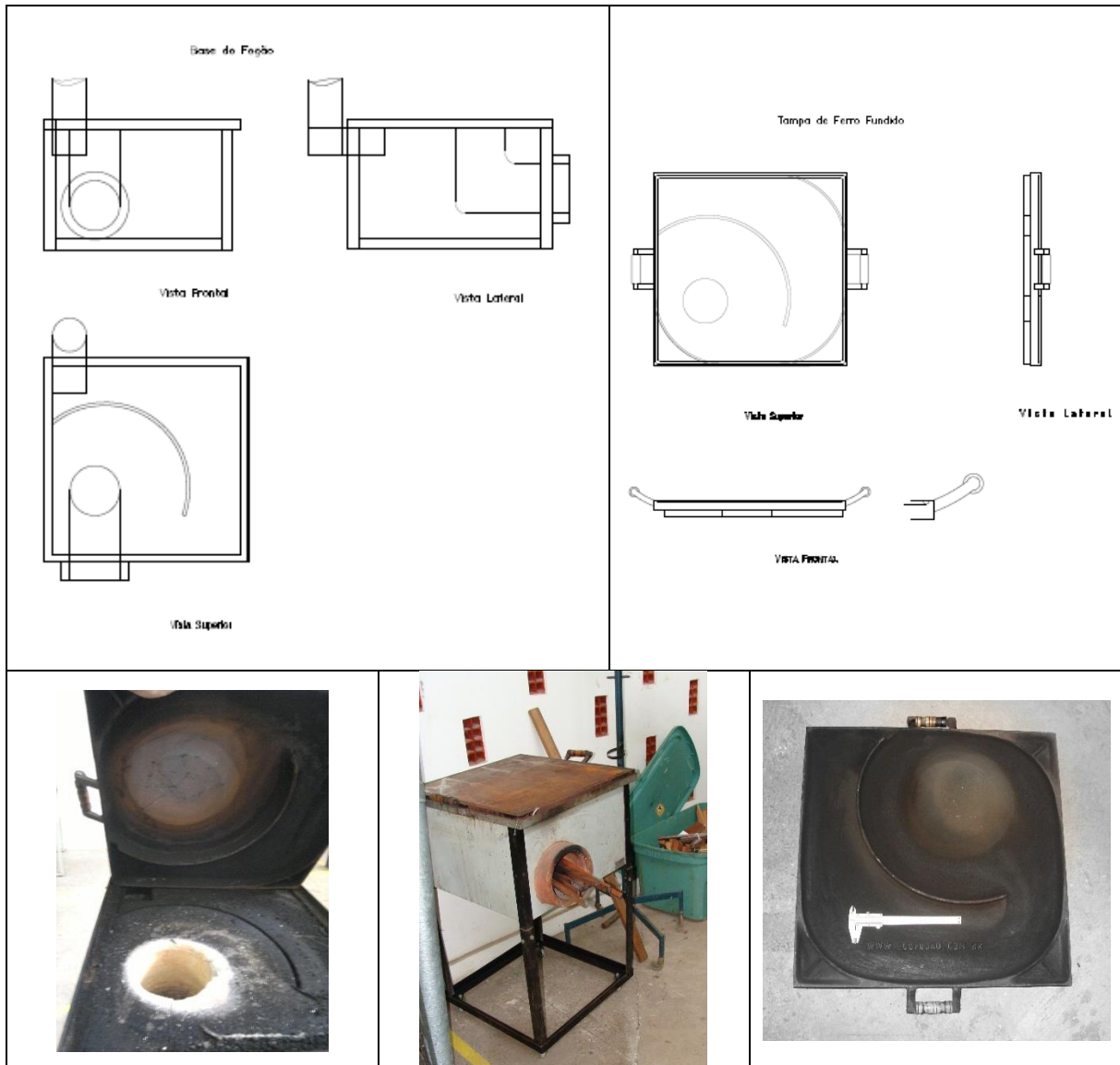


Figura 4.12 - Detalhes Morfológicos do Metálico

A geometria do sistema em análise é representada na Figura 4.13, conformada por três elementos: o isolante térmico, a chapa metálica e os gases produtos da combustão considerando todo o volume ocupado por eles. A geometria simplificada carece de pequenas áreas, com exceção da chapa metálica, para evitar um grande número de elementos quando a malha for criada. Para a análise do fogão e do gás foram adotadas as dimensões da Figura 4.13.

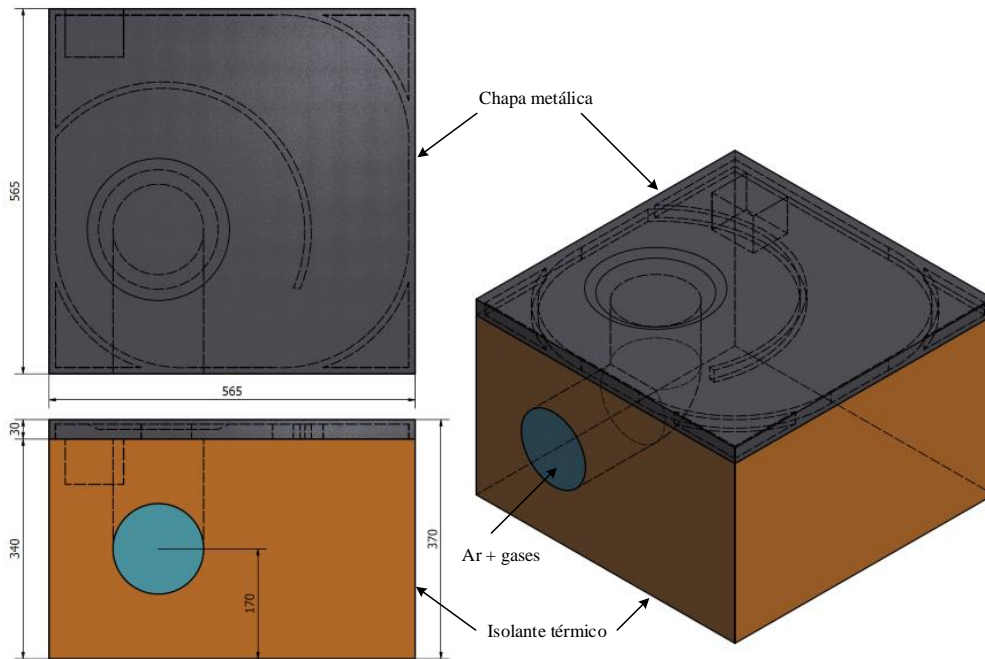


Figura 4.13 - Representação do fogão com suas dimensões

#### 4.1.8 - Condições de Contorno

As condições iniciais e de contorno associadas com o sistema de equações diferenciais devem ser definidas com o fim de obter uma solução única considerado que o problema está bem definido, ou seja, que a solução existente e depende de suas condições de contorno. Para o modelo, as condições iniciais e de contorno seguiu a Figura 4.14.

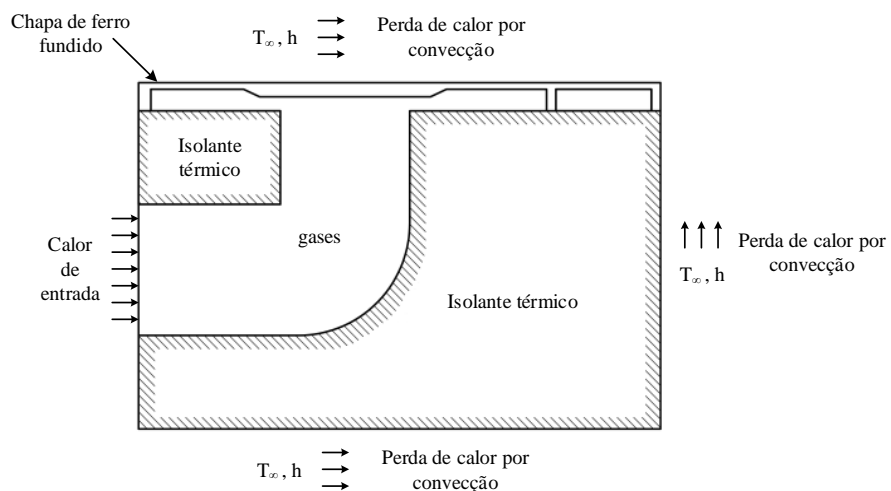


Figura 4.14 - Condições de Contorno

As condições de contorno foram definidas em função de parâmetros medidos nos diferentes ensaios e definidas nas seguintes considerações:

- A representação dos gases produtos da combustão foi definida em função da espécie preponderante com maior concentração encontrada durante a medição da composição das emissões dos gases, que neste caso foi nitrogênio;
- A variação da velocidade dos gases na saída do fogão foi medida usando um medidor do tipo molinete. Dessa forma foi considerada uma velocidade média constante igual a 0,6 m/s;
- O isolante refratário não foi considerado adiabático e suas propriedades térmicas foram definidas em função da sua composição real com uma condutividade térmica  $k=0,9$  [W/m - K];
- As perdas de calor por convecção natural foram definidas considerando o ar ambiente com um coeficiente de transferência de calor por convecção de  $h=20$  [W/m<sup>2</sup>K] e uma temperatura ambiente média de  $T_{\infty} = 30$  [°C];
- O combustível usado foi resíduo de Jatobá, com uma única carga de 500g para evitar variações de temperatura devido a alimentação e facilitar a entrada em regime permanente. Após a chapa entrar em regime permanente a temperatura máxima média obtida foi de 136,88 °C na zona de alta temperatura (ponto 1) com ela foi determinada o calor proporcionado pela biomassa simplificando a Simulação e tornando o resultado mais confiável.

#### **4.1.9 - Modelo Matemático**

Para realizar a análise térmica e do comportamento dos gases no interior do fogão, foram usadas as equações da conservação da massa, do balanço da quantidade de movimento linear e da energia. Assim, foi possível obter o perfil de temperaturas na chapa, resolvendo todas as equações empregando o software comercial Fluent.

Para a Simulação numérica do problema o software utilizou o método dos volumes finitos e suas características conservativas ao momento de realizar a análise da mecânica dos fluidos e da transferência de calor.

O software Fluent utiliza de forma padrão o uso de arranjo, denominado co-localizado indicado por Maliska (2004) que tem uma melhor solidez física e pode ser aplicado a qualquer tipo de sistemas coordenados as exemplo da aplicação de Ameloti (2012) para forno de carvão.

O método de volumes finitos se baseia na conservação da propriedade em estudo dentro de cada volume de controle. As equações podem ser obtidas por simples balanços ou por integração da equação diferencial na forma conservativa (NEIRA, 2011). Os pontos que devem ser observados na formulação da solução são:

- Discretização do modelo e do domínio de cálculo (malha);
- Condições de contorno nos volumes de fronteira;
- Funções de interpolação adequadas ao fenômeno para se evitar erros de truncamento;
- Validação experimental do modelo.

#### 4.1.10 - O Modelo no Ansys

Foram criados três elementos de análise que são: chapa metálica, fluido (nitrogênio) e o isolante térmico como se mostra na Figura 4.15.

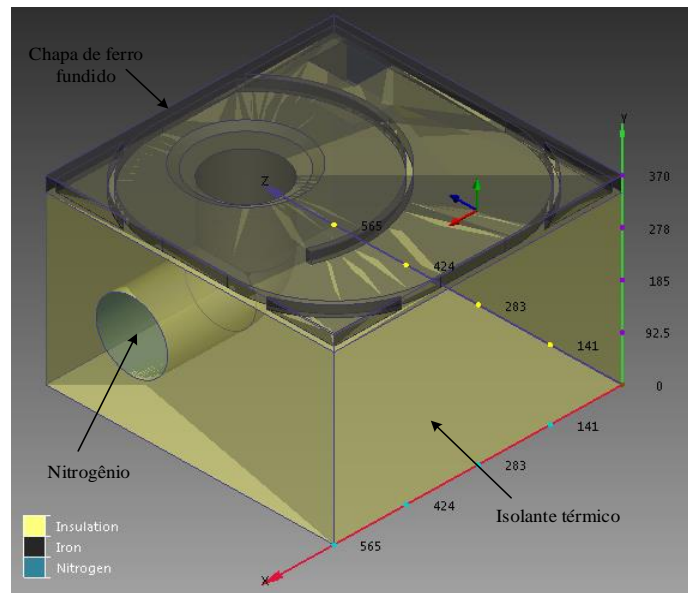


Figura 4.15 - . Elementos de analise.

#### 4.1.11 - Estratégia para malhar

A complexidade física envolvida pelo tamanho do domínio (forma e tamanho da malha) definem a capacidade de computação requerida. O número de nós e elementos podem mudar de uma região para outras devendo acumular um número maior deles em zonas onde se esperam grandes variações ou são de grande interesse.

Como a análise é tridimensional, os elementos utilizados foram tetraedros, pirâmides e prismas como exemplificado na Figura 4.16.

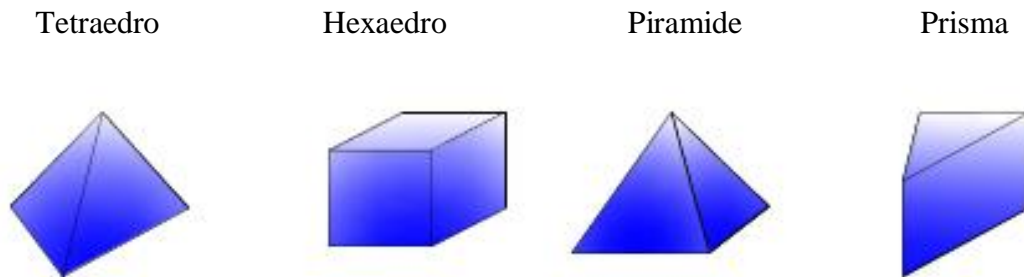


Figura 4.16 - Elementos usados para malhar geometrias tridimensionais.

Cada célula da malha é um ponto de cálculo, quanto mais pequenas sejam, mais preciso será o resultado da Simulação. Por outro lado, o programa terá que resolver um maior número de equações aumentando o tempo computacional. Assim, na tentativa de gerar uma malha de modo que se encaixa a nossos requerimentos, considerou - se como as geometrias importantes (áreas de interesse) a região na parte superior da chapa metálica, já o fluido e isolante térmico foram considerados secundários (Figura 4.17).

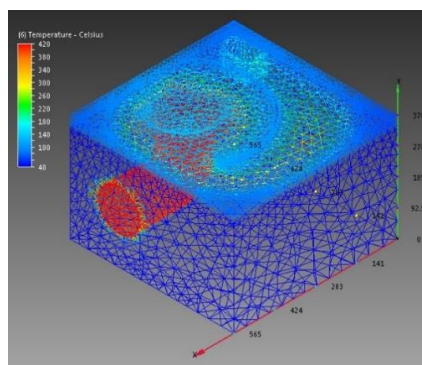


Figura 4.17 - Malha realizada com Fluent.

#### 4.1.12 - Propriedades da Malha

Foram adotadas as seguintes propriedades:

|                               |     |
|-------------------------------|-----|
| Surface refinement            | 1   |
| Gap refinamento               | 0   |
| Resolution Factor             | 1.0 |
| Edge growth rate              | 1.1 |
| Minimum points on edge        | 2   |
| Points on longest edge        | 10  |
| Surface limiting aspect ratio | 20  |
| Surface growth rate           | 1.2 |

|                         |        |
|-------------------------|--------|
| Enhancement growth rate | 1.1    |
| Mesh enhancement        | 1      |
| Enhancement blending    | 0      |
| Número of layers        | 3      |
| Layer factor            | 0.45   |
| Layer gradation         | 1.05   |
| Number of Nodes         | 28048  |
| Number of Elements      | 108686 |

Os resultados gráficos da Simulação são mostrados na série de imagens da Figura 4.18 e Figura 4.19, onde é perceptível o efeito da nervura na distribuição de temperaturas na chapa, já detectado nos ensaios anteriores.

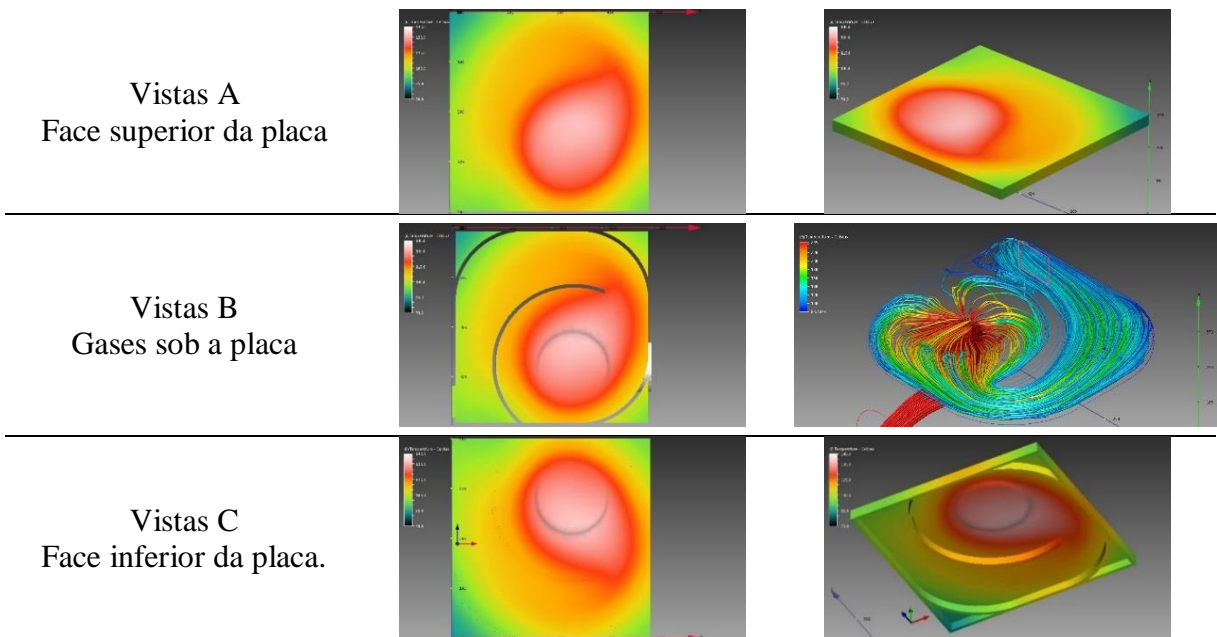
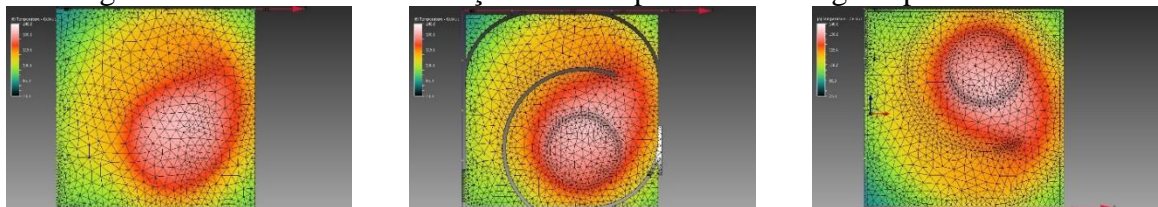


Figura 4.18 - Vistas das simulações das temperaturas em regime permanente.



A - face superior da placa

B - Gases sob a placa

C - Face inferior da placa.

Figura 4.19 - Vistas com malha das simulações das temperaturas.

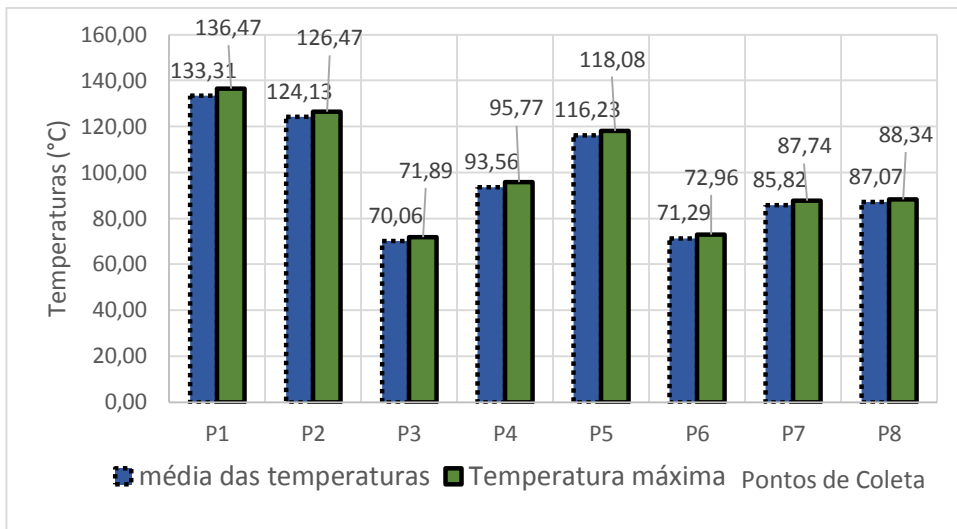
#### 4.1.13 - Validação dos Resultados

Os testes observados separadamente indicam a eficácia do projeto da placa nervurada para gerar diferentes zonas de temperaturas, mas é necessário comparar os resultados dos tres ensaios não só para valida - los, como expandir as analises e também para validar a Simulação, ja que é uma ferramenta interessalnte para simular outras situações sem a necessidade de realizar ensaios fisicos, poupando tempo, recursos materiais, dinheiro e servindo para avaliar o desempenho funcional e dos projetos.

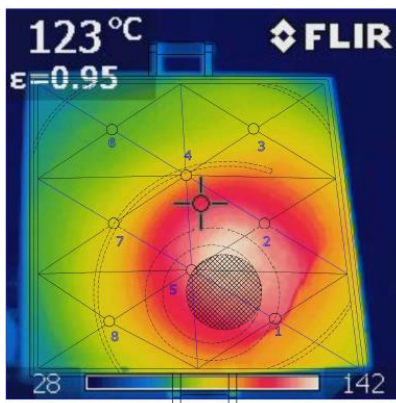
Os ensaios foram planejados especificamente para este fim, por esta razão tem limitações para outras aplicações, mesmo complementado pelas observações feitas em outros ensaios, já que se concentraram no período em que o sistema estava em regime permanente, teve curta duração e empregou pouca energia da biomassa. A Simulação computacional pode auxiliar para reduzir estas limitações. Um exemplo é a simulação do comportamento das temperaturas na face inferior da placa no periodo de Regime Permanete com razoável precisão (Figura 4.18 e Figura 4.19), que mostram inclusive o efeito da descentralização da saída da camara. Na prática seriam dados dificeis de serem obtidos em um ensaio.

Foram comparados os resultados dos três ensaios no ponto de temperatura mais elevada, com a projeção da malha de giz na figura do termovisor e da Simulação, para permitir comparação ponto a ponto com o gráfico do ensaio com termopares. A Tabela 4.1 resume a comparação das temperaturas nos três ensaios.

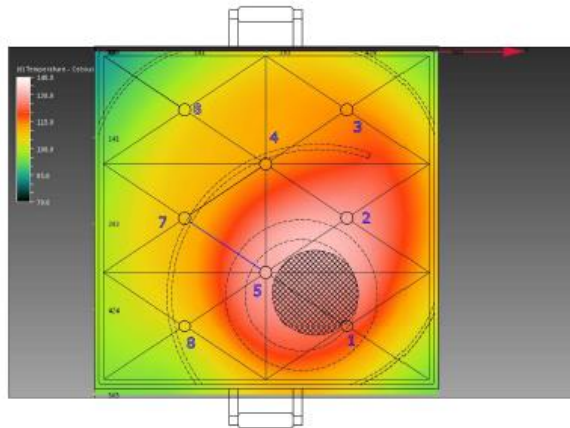
De imediato na percebe - se a semelhança na reprodução dos efeitos da nervura da imagem do termovisor que por sua vez tem coerência com a imagem “A” referente ao gráfico com a simulação. Recorrendo –se a Tabela 4.1 verifica - se que as variações de temperatura entre os termopares e o termovisor são pequenas, e se encaixam perfeitamente na faixa de erro de  $\pm 2\%$  dos termovisor e de  $\pm 1\%$  dos termopares.



A - Temperaturas máximas coletadas com termopares.



B - Imagem térmica com a projeção da malha de giz.



C - Simulação computacional com a projeção da malha de giz.

Figura 4.20 - Resultados dos ensaios no trecho de regime permanente do sistema.



Os resultados da simulação foram mais elevados em praticamente em todos os pontos, exceto nos pontos 1 e 2 que praticamente se igualaram. Um resultado esperado, já que a simulação considera condições favoráveis, reduzindo as perdas inesperadas. Entretanto, chama a atenção os pontos 3, 4 e 5 que onde a simulação apresentou temperaturas mais elevados do que os outros dois métodos. Recorrendo a Figura 4.20. O ponto 5 está mais próximo da saída da câmara, portanto, é esperado que seja o ponto mais quente. O ponto 3 está na direção da saída dos gases direcionados pela nervura, portanto, é razoável que tenha temperaturas mais elevas, inclusive maior do que as do ponto 6, de acordo com o termovisor e contrariando o teste de termopares. O ponto 4 também deve atingir temperaturas mais elevadas, já que está na direção da face interior da nervura. Então o resultado desses pontos deve se sobrepor aos demais por ser mais coerente.

Tabela 4.1 - Comparação dos Resultados no Instante T<sub>máximas</sub>.

| Método                        | Pontos de Coleta na malha de giz |        |         |         |         |        |        |        |
|-------------------------------|----------------------------------|--------|---------|---------|---------|--------|--------|--------|
|                               | P 1                              | P 2    | P 3     | P 4     | P 5     | P 6    | P 7    | P 8    |
| Termopares                    | 136,47                           | 126,47 | 71,89   | 95,77   | 118,08  | 72,96  | 87,74  | 88,34  |
| Termovisor                    | 136                              | 123    | 72      | 96      | 121     | 73     | 88     | 89     |
| Simulação                     | 136,15                           | 122,51 | 98,45   | 106,48  | 138     | 82,61  | 97,34  | 97,81  |
| <b>Variação de resultados</b> |                                  |        |         |         |         |        |        |        |
| Termopar - Termovisor         | 0,47                             | 3,47   | - 0,11  | - 0,23  | - 2,92  | - 0,04 | - 0,26 | - 0,66 |
| Termopar - Simulação          | 0,32                             | 3,96   | - 26,56 | - 10,71 | - 19,92 | - 9,65 | - 9,60 | - 9,47 |
| Termovisor - Simulação        | - 0,15                           | 0,49   | - 26,45 | - 10,48 | - 17    | - 9,61 | - 9,34 | - 8,81 |

Temperatura (°C)

P 1 P 2 P 3 P 4 P 5 P 6 P 7 P 8

Termopares(TP) Termovisor (TV) Simulação(SIM) Pontos de Coleta

Considerando um fogão e retomando observação as Figura 4.4, Figura 4.6 e Figura 4.7 é os ensaios WBT quando o fogão foi utilizado por mais tempo é possível identificar 4 zonas na placa, identificadas pelos pontos de coleta da seguinte forma:

- Zona 1 - Mais quente - Pontos 1, 2 e 5
- Zona 2 - Intermedia mais quente - Pontos 3 e 4
- Zona 3 - Zona menos quente - Pontos 6
- Zona 4 - Intermedia menos quente - Pontos 7 e 8

Na prática de um fogão representam áreas para o manejo de 4 panelas simultaneamente, com o aproveitamento da energia da mesma biomassa. Uma avaliação positiva da consistência do projeto com a tecnologia aplicada.

Um ponto negativo no projeto, ou da manufatura, é a direção da saída da câmara que não está concêntrica com o ressalto, com pode ser visto na Figura 4.21 demarcado com o círculo sombreado. A interferência desta localização é sentida na foto térmica com o registro de uma distribuição irregular de temperatura na região de maior temperatura. Este posicionamento pode provocar tensões irregulares na placa devido a dilatação provocada pelas trocas térmicas térmica.

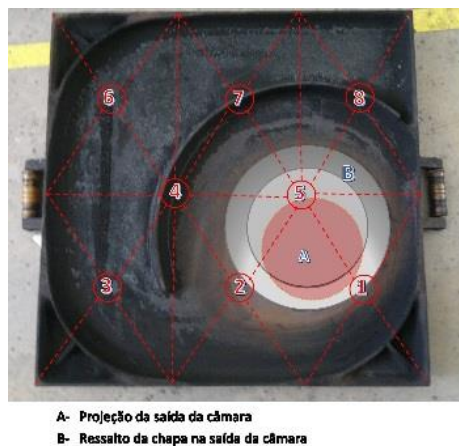


Figura 4.21 - Projeção da saída da câmara de combustão no ressalto da placa.

Com estes elementos a Planilha de Desempenho Especifico pode ser preenchida pelo avaliador mais bem fundamentado. Sem esquecer que estes resultados também auxiliam a fundamentar as avaliações de outros Desempenhos Específicos.

Planilha 1 - Desempenho Específico de Projeto.

| Atributo                         | Requisitos de Qualidade | Atendimento ao requisito   |              |              |              |           |      |              |              |             |
|----------------------------------|-------------------------|--|--------------|--------------|--------------|-----------|------|--------------|--------------|-------------|
|                                  |                         | Metálico   |              |              |              | Fogareiro |      |              |              |             |
|                                  |                         | obs.   | Ple          | Parc         | Neg.         | obs.      | Ple. | Parc         | Neg.         |             |
| Projeto                          | 1                       | O fogão é culturalmente aceito pelos usuários finais   |              | X            |              |           |      | X            |              |             |
|                                  | 2                       | A forma do fogão reflete intuitivamente a sua função   |              | X            |              |           |      | X            |              |             |
|                                  | 3                       | O fogão atende as necessidades dos usuários finais   |              | X            |              |           |      | X            |              |             |
|                                  | 4                       | O fogão tem inovações  |              | X            |              |           |      |              |              | X           |
|                                  | 5                       | Na manufatura o fogão emprega tecnologia acessível aos usuários finais                           |              |              |              | X         |      | X            |              |             |
|                                  | 6                       | O fogão está em conformidade com a legislação do local alvo para produção, comercialização e uso |              |              |              | X         |      |              | X            |             |
|                                  | 7                       | A produção e o uso podem ser realizados livremente, mesmo com patentes                           |              |              |              | X         |      | X            |              |             |
|                                  | 8                       | O local de manufatura é acessível aos usuários finais  |              |              | X            |           |      | X            |              |             |
|                                  | 9                       | No processo de manufatura são empregados materiais acessíveis aos usuários finais                |              |              |              | X         |      |              | X            |             |
|                                  | 10                      | No processo de manufatura são empregadas técnicas construtivas acessíveis aos usuários finais    |              |              |              | X         |      |              | X            |             |
|                                  | 11                      | A manufatura produz em série   |              | X            |              |           |      | X            |              |             |
|                                  | 12                      | O fogão emprega elementos normalizados   |              | X            |              |           |      |              |              | X           |
|                                  | 13                      | O transporte do fogão é acessível até os usuários finais   |              |              | X            |           |      | X            |              |             |
|                                  | 14                      | O volume e forma das embalagens do fogão facilitam o manuseio até o usuário final                |              | X            |              |           |      | X            |              |             |
|                                  | 15                      | A montagem do fogão é acessível aos usuários finais  |              | X            |              |           |      | X            |              |             |
|                                  | 16                      | Foram evitados cantos vivos ou pontos que representem perigo para quem manipule o fogão          |              | X            |              |           |      |              | X            |             |
|                                  | 17                      | A estrutura do fogão é estável   |              | X            |              |           |      | X            |              |             |
|                                  | 18                      | As dimensões do fogão estão dentro das tolerâncias do projeto                                    |              | X            |              |           |      |              |              | X           |
|                                  | 19                      | O acabamento está dentro do padrão estabelecido no projeto                                       |              | X            |              |           |      |              |              | X           |
|                                  | 20                      | O processo de manufatura oferece baixo risco à saúde dos construtores                            |              |              | X            |           |      |              | X            |             |
| <b>Desempenho do projeto (%)</b> |                         |  | <b>60,00</b> | <b>15,00</b> | <b>25,00</b> |           |      | <b>80,00</b> | <b>15,00</b> | <b>5,00</b> |

## 4.2 - DESEMPENHO ESPECÍFICO DE FUNCIONALIDADE

A determinação deste desempenho específico emprega principalmente muitas áreas da ergonomia (Planilha 2). O teste de Usabilidade preenche satisfatoriamente os requisitos da relação homem - máquina. As avaliações de usabilidade foram feitas com base nas observações dos pesquisadores, no período de uso em bancada, inclusive durante os demais testes. Que utilizaram a percepção individual, com o objetivo de refletir a ótica do usuário que é o ator que influencia diretamente no processo de decisão da concepção do equipamento, mesmo não tendo participação direta.

### 4.2.1 - Avaliação de Usabilidade do Metálico

**Consistência** - projeto demonstrou consistência, uso indutivo, facilidade de operação, versatilidade, principalmente depois que a biomassa entra em combustão e atinge o regime permanente, contribuindo para a aceitação do usuário

**Preço de aquisição** - preço do modelo utilizado equipara - se aos fogões a gás médios, portanto, está acima das possibilidades da clientela de menor poder aquisitivo. Mas, o próprio fabricante oferece outros modelos, inclusive um modelo destinado a projetos sociais, que segue a mesma tecnologia, entretanto o preço se iguala a de fogões a gás mais simples.

**Instalação** - É simples, não requer recursos extras, é intuitiva, com pouca possibilidade de erros de montagem. É fácil de transportar; as pernas retráteis proporcionam uma embalagem compacta e leve.

**Uso** - Tem a vantagem de oferecer a possibilidade de se usar biomassa de diferentes tipos, inclusive com alto teor de umidade. A chapa oferece baixo risco de contaminar os alimentos com alcatrão e de enegrecer as panelas, facilitando o trabalho de limpeza. Neste aspecto o peso da placa dificulta a remoção para a limpeza.

Durante os testes foram registradas, por duas vezes, dificuldades de partida do fogão, a temperatura se manteve baixa, juntamente com a produção de grande quantidade de fumaça que não foi extraída pela chaminé. Tudo devido à umidade na face inferior da placa. Assim que a chapa foi enxugada, o fogão passou a funcionar normalmente.

A chaminé é um dispositivo que valoriza o fogão, pois conduz para fora do ambiente de operação, os gases da combustão e os contaminantes.

**Manutenção** - Decorrido um ano de uso no laboratório, constatou - se o surgimento de pequenas fissuras no bloco cerâmico que estão destacas em setas de giz na Figura 4.22. Essas trincas não tiveram evolução significativa, não tiraram o fogão de operação, nem comprometeram o funcionamento.



Figura 4.22 - Trincas no bloco cerâmicos e na câmara de combustão.



Figura 4.23 - Fita de vedação deteriorada.

Outra avaria verificada foi a fita de vedação da junção entre o bloco cerâmico e a placa que desprendeu e desfiou, comprometendo a vedação (Figura 4.23). Esta fita foi substituída. Também foi observado desgaste do guia de suporte da grelha, dentro da câmara como mostra a Figura 4.24, assim como a grelha que foi degradada pelo aquecimento, principalmente na extremidade que recebeu mais calor como mostra a Figura 4.25.



Figura 4.24 - Apoios na câmara para o suporte da grelha.

Fotos: Tiago Santos



Figura 4.25 - Grelhas desgastados pela oxidação.

Deve - se considerar que o fogão seguiu um regime de operação em laboratório, que é diferente de uma típica rotina doméstica. Os testes duravam, em média, 2 horas por dia, exigindo que a placa metálica fosse removida para limpeza ao final de cada ensaio, o que pode ter afetado a fita de vedação, o mesmo aconteceu com a grelha, comprometendo os guias do suporte. O bloco ficou sujeito a grandes variações de temperatura diária, uma situação que pode ter estimulado o surgimento de trincas. Logo essas avarias devem ser

observadas em testes específicos para determinar suas causas e possíveis soluções. Conclusivamente o produto apresentou robustez.

O fabricante reportou que algumas placas apresentaram trincas com o uso prolongado e solicitaram uma avaliação (Figura 4.26). Como este evento contribuiu para o MAGOF, os resultados da avaliação foram considerados na aplicação.



Figura 4.26 - Trincas ocorridas em placas com uso prolongado.

Para verificar as causas das trincas inicialmente foram consideradas três hipóteses:

- **Mau uso** - Esta hipótese foi verificada e descartada pelo fabricante, já que as placas que trincaram não estavam com o mesmo usuário.
- **Falha de material** - O ferro fundido tende a falhar subitamente por fratura sem escoamento aparente e pode ter trincado devido ao processo de fundição, ou o emprego de materiais inadequados que comprometeram a resiliência e a tenacidade da placa metálica, após as deformações causadas pelo calor como.
- **Falha de Projeto** - A concepção das nervuras poder ter contribuído para impedir a expansão e contração uniformes da placa, para alívio das tensões térmicas causadas com o calor

A verificação dimensional comprovou a terceira hipótese. A segunda hipótese foi comprovada por análise química, já que a concentração de Silício era extremamente elevada 235% a mais que o especificado, que deveria ser em média 2%, gerando um tipo de grafite vermicular exacerbada no Ferro Fundido, causando uma estrutura mais frágil a ações das variações térmicas exigidas para na chapa. O teor de enxofre que esperava se elevado, se manter dentro do especificado (LALAU E MOUNSIF, 2011).

#### 4.2.2 - Variação Dimensional

Esta verificação foi aplicada unicamente para esta situação. Consistiu em medir periodicamente as dimensões da placa, na medida em que era aquecida dentro das condições de uso do Metálico. A Figura 4.27 mostra o resultado da medida dimensionais

onde esta demarcado com sombreadimento a expansão irregular medida apos duas horas de uso. E importante perceber que os 7,72 mm de expansão se localizam no vértice onde não tem nervura, permitindo deduzir que as nervuras limitam a expansão uniforme da placa, aliada a distribuição heterogenea de calor na placa, provocando tensões que podem romper a placa, coerente com o surgimento das trincas, fortalecendo a hipótese dois.

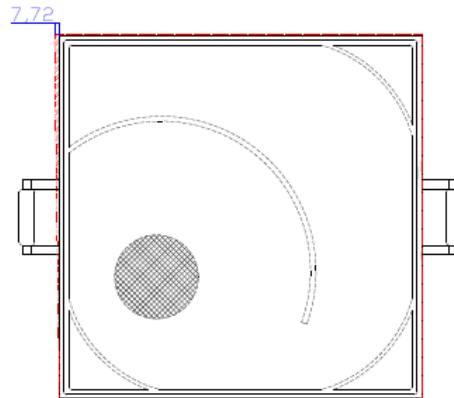


Figura 4.27 - Variação Dimensional.

Paralelamente o fabricante alterou o projeto com a abertura de um furo na zona mais quente da placa (Figura 4.28), e as trincas não foram mais reportadas.



Figura 4.28 - Placa modificada com orifício e tampa.

**Segurança** - O Metálico, como todo fogão, oferece risco de queimaduras. A chapa metálica representa risco por não indicar visualmente a temperatura, principalmente depois que a chama da câmara é extinta, um usuário desatento pode tocar a chapa ainda quente. Tanto que, ao fim de cada ensaio, adotou - se o procedimento de escrever na chapa para alertar os frequentadores do Laboratório (Figura 4.29), mas numa cozinha doméstica este procedimento não é usual.

Outro ponto de risco é a posição frontal da grelha com a extremidade saliente, (Figura 4.30) que oferece o risco de queimaduras nas pernas do operador. A carcaça também pode conduzir calor e representar risco, por isto o isolamento térmico além de evitar a perda de energia também deve promover segurança.



Figura 4.29 - Alerta de segurança.      Figura 4.30 - Extremidade da grelha saliente.

Por esta razão a temperatura da carcaça foi medida nas faixas identificadas como faixa 1, faixa 2 e faixa 3 (Figura 4.31). Com os dados coletados foram elaboradas as Figuras para análises.

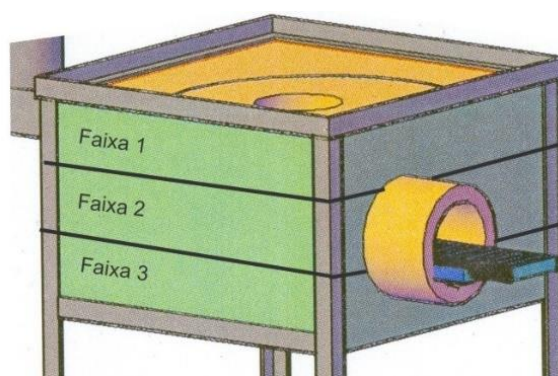


Figura 4.31 - Marcação das faixas de medição na carcaça do Fogão.

A faixa 3, vista na Figura 4.32 chama a atenção por se manter, praticamente, à temperatura ambiente, semelhante a face inferior, demonstrando que, para essas regiões, o isolamento térmico é eficiente. Na faixa 1, que está mais perto da placa metálica, onde os gases da combustão circulam, as temperaturas são as mais elevadas e podem causar queimaduras no usuário e na faixa 2, as temperaturas são intermediárias, mas dentro do aceitável.



A Figura 4.33 apresenta o comportamento das médias das temperaturas medidas nas faces da carcaça do fogão e permite concluir que as temperaturas da face frontal e da face esquerda são mais elevadas pela proximidade com a camada de combustão, enquanto que a face posterior e a direita seguem comportamento semelhante com temperaturas mais baixas

O MAGOF tomou como referência a norma sul - africana SANSA 1243:2007 feita para fogões de parafina pressurizada, recomenda - se que nas partes que estejam sujeitas ao toque, a temperatura não ultrapasse a 40°C. Na faixa 1, a temperatura foi ultrapassada, mas nesta área o contato com o usuário é difícil, reduzindo o risco de queimadura.

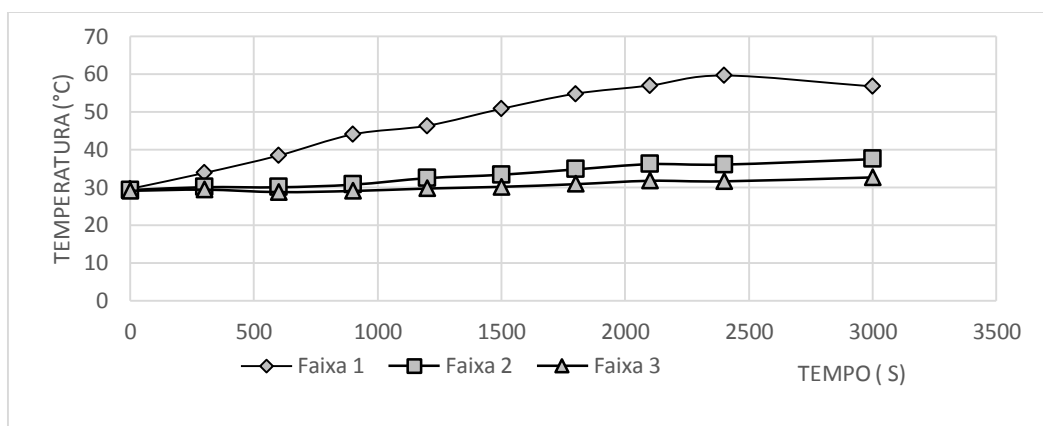


Figura 4.32 - Temperaturas médias nas faixas da carcaça do fogão.

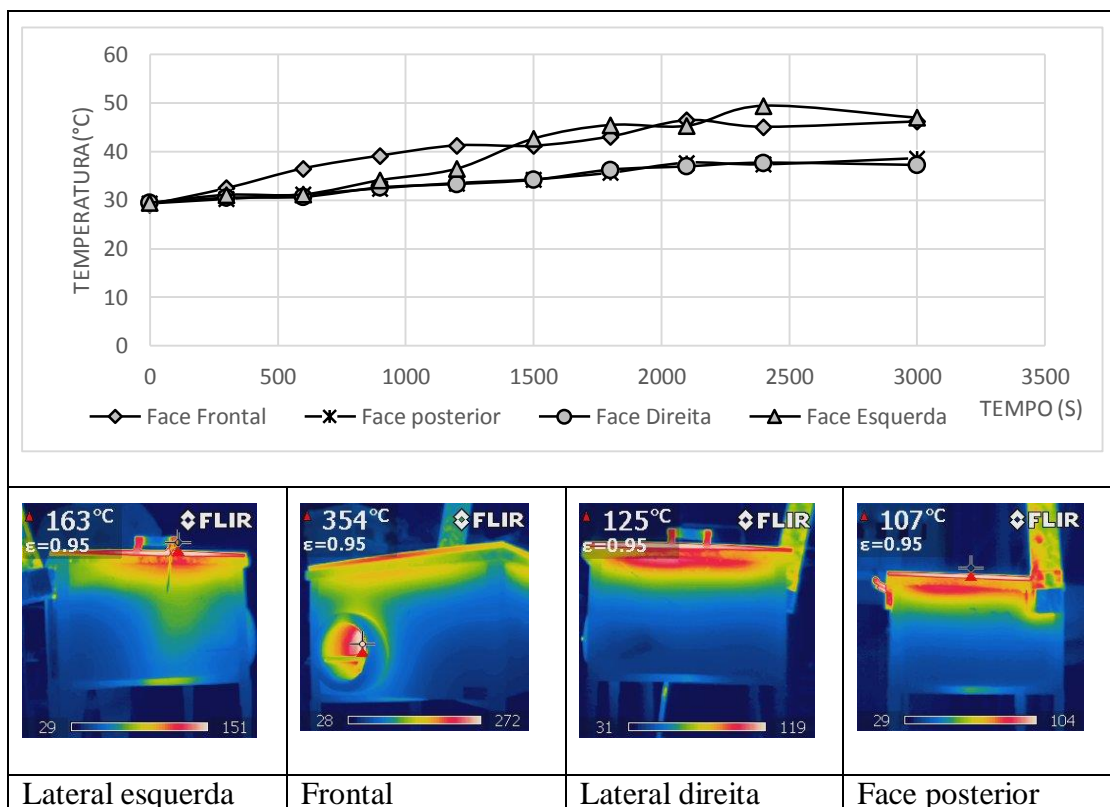


Figura 4.33 - Média das temperaturas nas faces da carcaça do fogão.

#### 4.2.3 - Avaliação de Usabilidade do Fogareiro

**Consistência** - O projeto segue princípios básicos de um fogão, fácil operação, acomoda uma panela com capacidade até 1,5 litros, tem boa portabilidade, boa aceitação popular, usa materiais e técnicas construtivas regionais.

**Custo de aquisição** - O baixo custo é um dos fatores que contribui para torna - lo popular. É facilmente encontrado à venda em feiras livres. Tem vantagem de movimentar a economia regional, abrangendo produtores, vendedores e consumidores de baixo poder aquisitivo.

**Instalação** - A instalação bastante simples, bastando fazer a superposição das três partes do fogareiro, não exigindo recursos extras para a montagem.

**Uso** - O uso é intuitivo e oferece a possibilidade de utilizar preferencialmente carvão, nos testes foi usado lenha. A queima de lenha tem grandes desvantagens de enegrecer as panelas (Figura 4.34) e produzir muita fumaça (Figura 4.35). Soma - se às desvantagens o fato de só poder usar uma panela por vez.



Figura 4.34 - Panela enegrecida.



Figura 4.35 - Fumaça produzida.

**Manutenção** - A simplicidade reduz o custo de manutenção, mas é frágil e pode ter pouca durabilidade. Para concluir os testes, foram necessários dois fogões, uma unidade não suportou o regime de operação e fraturou o bocal cerâmico com pouco mais de 15 horas descontinuas de uso, também foram notadas deformação e degradação da grelha.

**Segurança** - Pesa contra a falta de isolamento térmico na base metálica, agravada pelo fato de o material ter alta condutividade térmica, expondo o usuário ao risco de queimaduras. A temperatura medida, na carcaça, atingiu elevada marca de 210°C, ampliando o risco de queimaduras.

Outro aspecto negativo é a ausência de chaminé, o que faz com que toda emissão de fumaça e particulado entre em contato com os usuários, ameaçando sua saúde e a qualidade do ar a médio e longo prazo.

A baixa altura do fogão exige o uso de uma bancada para que o operador não assuma posturas inadequadas que a longo prazo podem trazer danos à estrutura musculoesquelética do usuário.

Com os resultados das avaliações de usabilidade e o reforço dos dados obtidos pela observação da operação do fogão, pelos testes de caracterização do fogão, análises de emissões e do WBT o desempenho de Funcionalidade foi determinado na Planilha 2

Planilha 2 - Desempenho Específico de Funcionalidade.

| Atributo                        | Requisitos de Qualidade |  | Atendimento ao requisito |              |              |              |           |              |              |              |
|---------------------------------|-------------------------|--|--------------------------|--------------|--------------|--------------|-----------|--------------|--------------|--------------|
|                                 |                         |  | Metálico                 |              |              |              | Fogareiro |              |              |              |
|                                 |                         |  | obs.                     | Ple.         | Parc.        | Neg.         | obs.      | Ple.         | Parc.        | Neg.         |
| Funcionalidade                  | 21                      | O fogão permite o uso de múltiplas panelas simultaneamente                               | 4                        | X            |              |              | 1         |              |              | X            |
|                                 | 22                      | O fogão permite que as panelas fiquem bem apoiadas e estáveis                            |                          | X            |              |              |           |              |              | X            |
|                                 | 23                      | O fogão opera conforme as especificações   |                          | X            |              |              |           | X            |              |              |
|                                 | 24                      | O fogão opera normalmente dentro das condições exigidas pelo usuário final               |                          | X            |              |              |           |              | X            |              |
|                                 | 25                      | O fogão permite o uso de panelas de formas e tamanhos diferentes                         |                          | X            |              |              |           |              |              | X            |
|                                 | 26                      | A instalação do fogão dispensa obras complementares na cozinha                           |                          | X            |              |              |           | X            |              |              |
|                                 | 27                      | O usuário está protegido do contato acidental com as partes quentes e perigosas do fogão |                          |              |              | X            |           |              |              | X            |
|                                 | 28                      | A carcaça do fogão atinge menos que 40°C durante a operação                              |                          |              | X            |              |           |              |              | X            |
|                                 | 29                      | O fogão permaneceu sem avarias graves pelo menos um ano                                  |                          |              | X            |              |           |              |              | X            |
|                                 | 30                      | O combustível utilizado é abundante para os usuários finais                              |                          | X            |              |              |           | X            |              |              |
|                                 | 31                      | O combustível requer pouca preparação e tratamento para ser utilizado                    |                          | X            |              |              |           |              | X            |              |
|                                 | 32                      | A alimentação de combustível no fogão é simples e segura                                 |                          | X            |              |              |           | X            |              |              |
|                                 | 33                      | Os procedimentos de operação são intuitivos, exigindo baixa carga mental                 |                          | X            |              |              |           | X            |              |              |
|                                 | 34                      | Os procedimentos de operação são seguros para os usuários finais                         |                          |              | X            |              |           | X            |              |              |
|                                 | 35                      | A operação é exige esforço leve (menor que 5kg)  |                          | X            |              |              |           | X            |              |              |
|                                 | 36                      | As posturas naturais ou neutras predominam nos procedimentos de operação                 |                          | X            |              |              |           | X            |              |              |
|                                 | 37                      | Os procedimentos de manutenção são intuitivos, exigindo baixa carga mental               |                          |              | X            |              |           |              | X            |              |
|                                 | 38                      | As posturas neutras ou naturais predominam nos procedimentos de manutenção               |                          |              | X            |              |           | X            |              |              |
|                                 | 39                      | Os procedimentos de manutenção oferecem baixo risco à saúde                              |                          | X            |              |              |           | X            |              |              |
|                                 | 40                      | A manutenção exige esforço físico leve (menor que 5kg)                                   | Placa tem 23 kg          |              |              | X            |           | X            |              |              |
|                                 | 41                      | A manutenção requer materiais, ferramentas e técnicas acessíveis aos usuários finais     |                          | X            |              |              |           | X            |              |              |
| <b>Desempenho Funcional (%)</b> |                         |  |                          | <b>66,67</b> | <b>19,05</b> | <b>14,29</b> |           | <b>57,14</b> | <b>14,29</b> | <b>28,57</b> |

### 4.3 - DESEMPENHO ESPECÍFICO AMBIENTAL

O Desempenho Ambiental está associado aos impactos ambientais durante o ciclo de vida do fogão. As análises das emissões dão os subsídios para o preenchimento da planilha, naturalmente que a caracterização da biomassa é um procedimento preliminar básico. Assim como, outros ensaios empregados na determinação dos demais desempenhos específicos também contribuem.

#### 4.3.1 - Caracterização da biomassa usada nos testes

A biomassa utilizada em todos os ensaios foi caracterizada no Laboratório Setorial de Caracterização de Biomassa - LACBIO - EBMA - UFPA obteve - se:

Nome comercial: Jatobá

Nome científico: *Hymenaea Courbaril*

Umidade: 9 a 12 %

Teor de voláteis: 79,63%

Cinzas 0,4 %

PCS: 19410 kJ/kg

PCI: 17121 kJ/kg

Carbono Fixo: 20%

|                   |         |            |            |         |          |
|-------------------|---------|------------|------------|---------|----------|
| Análise elementar | Carbono | Nitrogênio | Hidrogênio | Enxofre | Oxigênio |
|                   | 44,55%  | 0,22%      | 5,52%      | 0,41%   | 49,30%   |

#### 4.3.2 - Análises dos gases emitidos pelo Metálico

Os gráficos da Figura 4.36 e da Figura 4.37 trazem as concentrações dos gases emitidos durante o WBT no Metálico, permitem observar a baixa concentração de CO, a formação de CO<sub>2</sub> como maior produto da combustão e a rápida dinâmica da combustão da biomassa com a redução da concentração de oxigênio e a concomitante formação de CO<sub>2</sub> e o CO quando a temperatura aumenta, o excesso de ar é reduzido, indicando melhor desempenho da combustão.

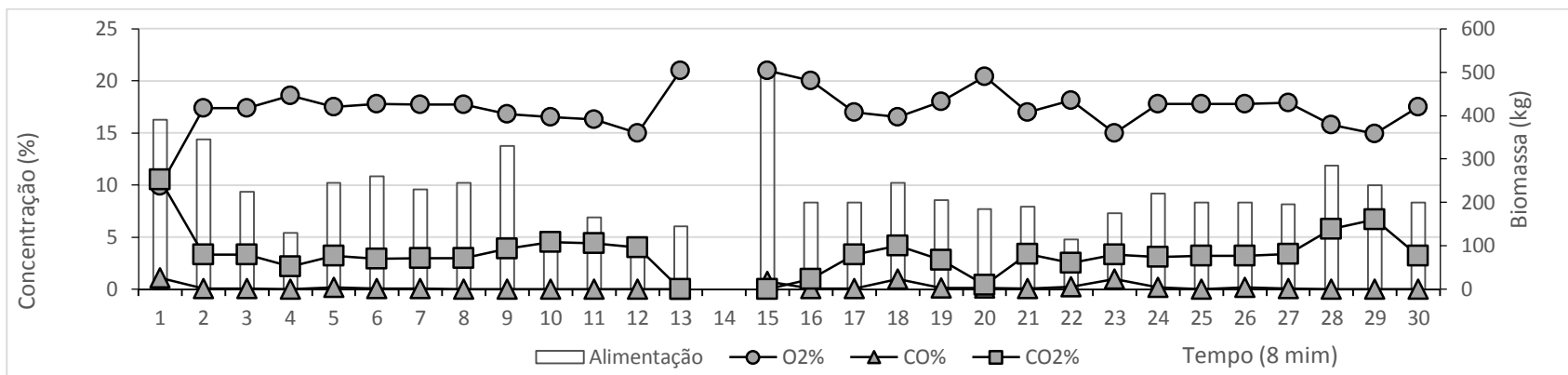


Figura 4.36 – Gráfico da Concentração dos gases emitidos com alimentação de biomassa nos ensaios WBT no Metálico.

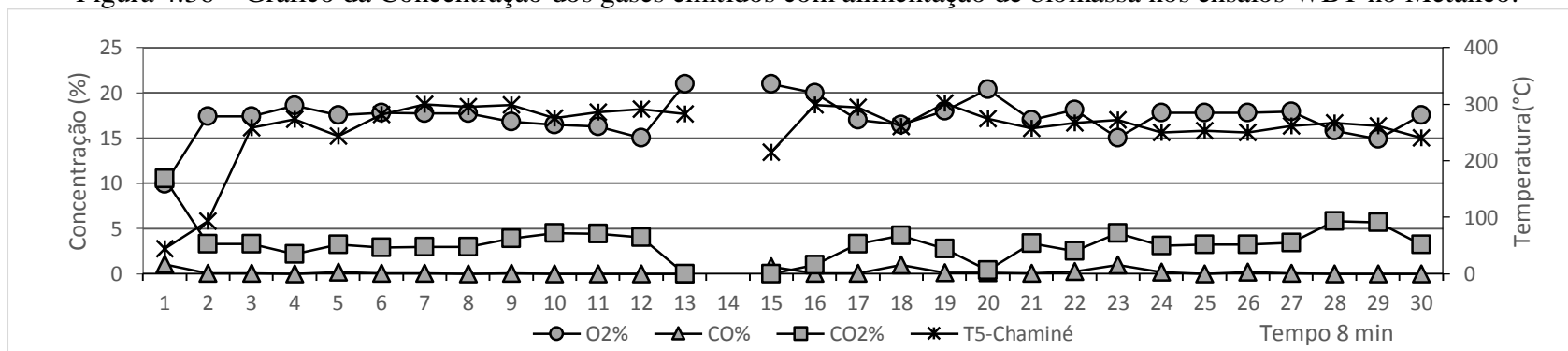


Figura 4.37 – Gráfico da Concentração dos gases emitidos com Temperatura de Controle nos ensaios WBT no Metálico.  
Fonte: Carmo *et al.* (2010)

Pela Figura 4.36 observa - se que as concentrações de oxigênio nos gases de combustão estão na faixa entre 15% a 20 % e as concentrações de CO estão próximas de zero durante todo o período e só se eleva logo após os instantes que ocorre uma carga de biomassa maior enriquecendo a mistura de combustível. As concentrações de CO<sub>2</sub> foram sempre maiores que CO, desse contexto, pode - se inferir que ocorreu combustão completa, com excesso de oxigênio na câmara, onde apenas uma fração de oxigênio oxidou e reagiu com o carbono e formou mais CO<sub>2</sub> do que CO, e baixa formação de particulado, enquanto que uma grande parcela do oxigênio atravessou a câmara sem reagir com nenhuma outra espécie. Se, por um lado, esta situação tem vantagens por praticamente não gerar gases nocivos, reduz a formação de particulado, e limitar a temperatura, o que é interessante para um fogão, já que geralmente a cocção de alimentos necessita de temperaturas menores que 70 graus, por outro lado traz como desvantagem o resfriamento da câmara pela grande quantidade de nitrogênio no ar, que embora seja inerte, extrai parte do calor gerado nas reações de combustão e pode formar NO<sub>x</sub> nas altas temperaturas.

Analisando a Figura 4.37 presença de NO e NO<sub>x</sub> estão em concentrações baixas e semelhantes de maneira que as linhas estão sobrepostas na Figura. Entretanto, chamou a atenção a presença anormal de picos com mais de 2000 ppm de SO<sub>2</sub>, que embora intermitentes como mostrado na Figura 4.40, foram frequentes em todos os ensaios. Sendo uma ocorrência anormal na queima de biomassa vegetal e indesejável, mereceu a abertura de uma bateria extraordinária de ensaio para identificar a fonte, buscar entendimento do fenômeno, minimizar a emissão e reunir mais subsídios para aplicação no MAGOF.

#### **4.3.3 - Identificação da fonte de SO<sub>2</sub>**

Na investigação foram elaboradas duas hipóteses:

**Hipótese 1 - A biomassa estaria contaminada:** Para verificar esta hipótese foram adotados três procedimentos:

- Foi feita a análise elementar da biomassa que apontou baixíssimas concentrações de enxofre, 0,41%, como mostra o resultado da caracterização da biomassa na seção 5.3.1

- Foram feitos novos testes no fogão com biomassa de origem diferente, mas o SO<sub>2</sub> continuou a ser detectado nos gases emitidos.
- A biomassa original foi queimada em outro fogão e não houve traços de SO<sub>2</sub> nos gases emitidos.

Diante desses resultados esta hipótese foi descartada

**Hipótese 2 - A fonte de emissão estaria em algum componente do fogão:** As investigações primeiramente se concentraram na chapa e na grelha, por serem de ferro fundido que podem conter enxofre na composição. Observou - se que a grelha estava se deteriorando por oxidação (Figura 4.38) e as escamações poderiam se desprender, volatilizar na chama e liberar SO<sub>2</sub> de forma intermitente, como estava sendo notado.



Figura 4.38 - Grelha deteriorada com escamações.

Para simular a situação foram removidas porções de limalha da grelha, divididas em 4 lotes (Figura 4.39), pulverizadas na chama e os gases de exaustão foram monitoramento em busca de traços de SO<sub>2</sub> após o lançamento.



Figura 4.39 - Porções do material da grelha para pulverização na chama.

O experimento comprovou a segunda hipótese. Que está sintetizado na Figura 4.40, onde é possível ver o crescimento das concentrações de SO<sub>2</sub> após os lançamentos das limalhas na câmara nos momentos T3, T5,2 T7 e T9.2.



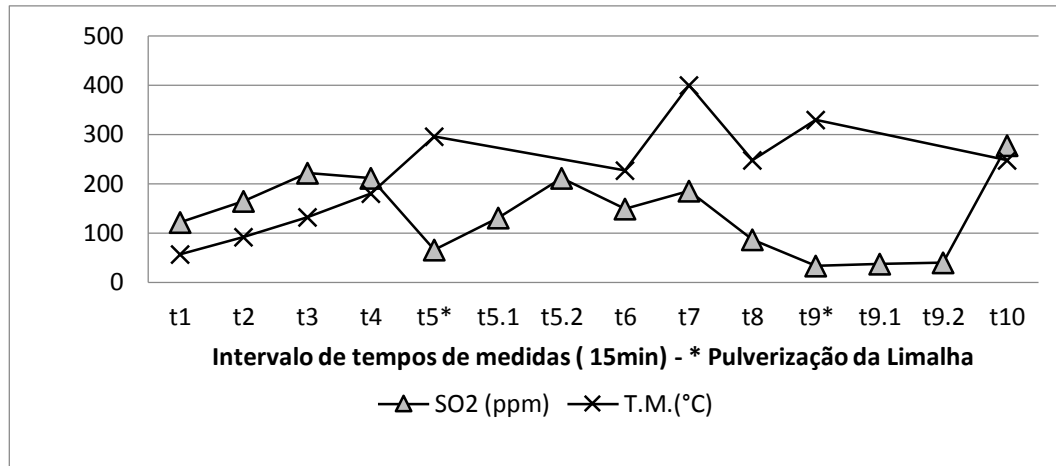


Figura 4.40 - Concentração de SO<sub>2</sub> (ppm) com pulverização de limalha.

Corpos de prova foram retirados de duas grelhas para análise metalográfica pelo Grupo Amazônico de Pesquisa em Metalurgia e Meio Ambiente – GAPEMM da Faculdade de Engenharia Mecânica da UFPA e o Museu Emilio Goeldi fez análise de microscopia eletrônica de varredura (MEV). As imagens microscópicas da estrutura, na Figura 4.41, mostra tratar - se de ferro fundido cinzento devido a forma vermicular da grafita detectadas nas imagens. As regiões esbranquiçadas indicando a presença de outros elementos químicos que estão em maiores concentrações que o indicado pela norma (UFPA-UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ, 2010).



Figura 4.41 - Microestrutura do corpo de prova 50x.

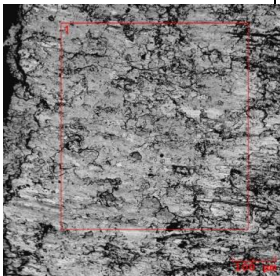
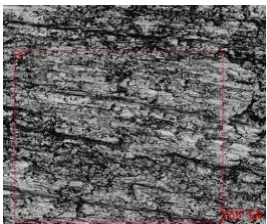
Esperava - se concentrações entre 0,02% e 0,18 (Tabela 4.2), mas foram detectadas concentrações de enxofre entre 0,196% e 0,295 %, (Tabela 4.3) acima esperado, mas o enxofre estava concentrado numa camada superficial da grelha.

Tabela 4.2 - Composição química de diferentes tipos de ferro fundido

| Tipos     | %C        | %Si       | %Mn         | %S          | %P          |
|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-------------|
| Cinzentos | 2,5 - 4,0 | 1,0 - 3,0 | 0,25 - 1,0  | 0,02 - 0,25 | 0,05 - 1,0  |
| Branco    | 1,8 - 3,6 | 0,5 - 1,9 | 0,25 - 0,80 | 0,06 - 0,20 | 0,06 - 0,18 |
| Maleável  | 2,0 - 2,6 | 1,1 - 1,6 | 0,20 - 1,0  | 0,04 - 0,18 | 0,18 máx.   |
| Dúctil    | 3,0 - 4,0 | 1,8 - 2,8 | 0,10 - 1,0  | 0,03 máx.   | 0,10 máx.   |

Fonte: Matos, J.W. O et al (2011)

Tabela 4.3 - Microscopia Eletrônica de Varredura na grelha do Metálico

| Grelha Metálico 1 500x 81570 - 1  |       |      |           |         |       |         |
|---|-------|------|-----------|---------|-------|---------|
|    | Elt.  | Line | Intensity | Conc    | Units | Error   |
|   |       |      | (c/s)     |         |       | 2 - sig |
|   | O     | Ka   | 125,240   | 10,475  | wt.%  | 0,342   |
|   | Si    | Ka   | 47,610    | 2,130   | wt.%  | 0,113   |
|   | S     | Ka   | 5,170     | 0,195   | wt.%  | 0,031   |
|   | Ti    | Ka   | 3,100     | 0,151   | wt.%  | 0,031   |
|   | Mn    | Ka   | 5,720     | 0,506   | wt.%  | 0,077   |
|   | Fe    | Ka   | 750,580   | 86,542  | wt.%  | 1,153   |
|   | Total |      |           | 100,000 | wt.%  |         |
| Grelha Metálico 1 500x 81571 - 1  |       |      |           |         |       |         |
|  | Elt.  | Line | Intensity | Conc    | Units | Error   |
|   |       |      | (c/s)     |         |       | 2 - sig |
|   | O     | Ka   | 77,540    | 6,595   | wt.%  | 0,273   |
|   | Si    | Ka   | 45,270    | 2,042   | wt.%  | 0,111   |
|   | S     | Ka   | 7,670     | 0,291   | wt.%  | 0,038   |
|   | Ti    | Ka   | 3,790     | 0,184   | wt.%  | 0,035   |
|   | Mn    | Ka   | 10,960    | 0,966   | wt.%  | 0,107   |
|   | Fe    | Ka   | 784,510   | 89,922  | wt.%  | 1,172   |
|   | Total |      |           | 100,000 | wt.%  |         |

Um fogão é um equipamento pequeno, de uso doméstico que certamente não emitirá quantidades significativas de poluentes que sejam difícil de mitigar, inclusive a legislação do CONAMA visa concentrações de gases com volumes maiores.

Este evento alerta para o fato que não se deva ignorar a possibilidade de emissão de outros produtos indesejáveis, já que pode-se supor que a degradação da grelha aumente com o tempo de uso do equipamento, projetando-se mais fogões, as emissões podem se tornar significativas. Por isto, é imperativo conhecer as emissões. A ISO 14040 já prevê conhecer as emissões nas avaliações do ciclo de vida de um produto. Por isto o evento é considerado na aplicação do MAGOF, mais especificamente nas avaliações de Desempenhos Específicos de Projeto, Funcionalidade e Ambiental.

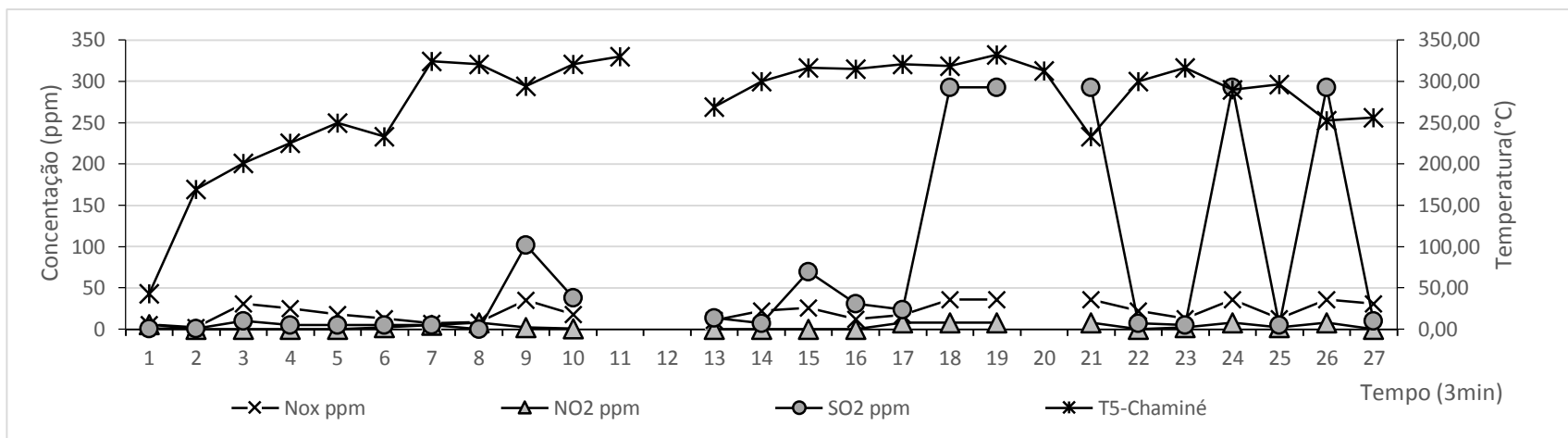


Figura 4.42 - Emissão de gases com a temperatura de controle do Metálico.

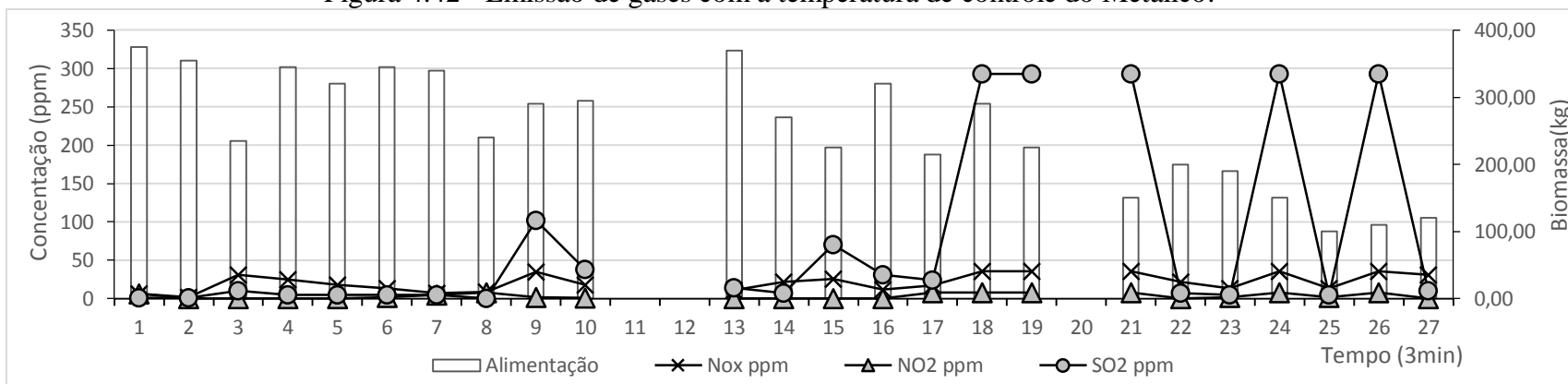


Figura 4.43 - Emissão de gases com alimentação de biomassa do Metálico.

Fonte: Oliveira Junior *et al.* (2008)

Planilha 3 - Desempenho Específico de Ambiental.

| Atributo   | Requisitos de qualidade   | Atendimento ao requisito   |              |              |             |             |              |              |              |   |
|--|---|--|--------------|--------------|-------------|-------------|--------------|--------------|--------------|---|
|  |   | Metálico   |              |              |             | Fogareiro   |              |              |              |   |
|  |   | obs.   | Ple          | Parc.        | Neg.        | obs.        | Ple.         | Parc         | Neg.         |   |
| Ambiental  | 42  | O material do fogão é reciclável, ou biodegradável   |              |              | X           |             |              | X            |              |   |
|  | 43  | O combustível utilizado é abundante para os usuários finais  |              | X            |             |             |              | X            |              |   |
|  | 44  | A fonte de biomassa utilizada é legal e manejada   |              | X            |             |             |              | X            |              |   |
|  | 45  | O fogão tem chaminé  |              | X            |             |             |              |              |              | X |
|  | 46  | O ambiente de operação é isento de fumaça, gases de combustão e do material particulado                |              | X            |             |             |              |              |              | X |
|  | 47  | A face externa das panelas não enegrece com o uso  |              | X            |             |             |              |              |              | X |
|  | 48  | Emissão de CO na fase de fervura do WBT - Ferver água e manter a fervura por 45 minutos                |              | X            |             |             |              |              | X            |   |
|  |   | Se o fogão não tem chaminé a média é menor que 20g<br>Se o fogão tem chaminé média é menor que 50ppm   |              |              |             |             |              |              |              |   |
|  | 49  | A emissão CO é menor que 5270 ppm para sistemas com potências menores que 0,05MW                       |              | X            |             |             |              | X            |              |   |
|  | 50  | Emissão de particulado PM2,5 na fase de fervura do WBT - Ferver água e manter a fervura por 45 minutos |              | X            |             |             |              |              |              | X |
| Se o fogão não tem chaminé a média é menos que 1,5g<br>Se o fogão tem chaminé a média é menor que 65 µg/m3 |   | 4<br>40  |              |              |             |             |              |              |              |   |
| 51   | A emissão de particulado é 592ppm para sistemas com potências menores que 10 MW |  | X            |              |             |             | X            |              |              |   |
| <b>Desempenho Ambiental (%)</b>  |   |  | <b>90,00</b> | <b>10,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> | <b>50,00</b> | <b>20,00</b> | <b>30,00</b> |   |

## **4.4 - DESEMPENHO ESPECÍFICO ENERGÉTICO**

Desempenho Específico Energético abrange a função primordial de um fogão de produzir calor para a cocção de alimentos. O WBT foi integrado no MAGOF por ser um protocolo consolidado, bastante difundido, produz resultando consistentes. Desta maneira WBT foi aplicado em ambos os fogões avaliados.

### **4.4.1 - Determinação do Ponto de Ebulição**

O ensaio para a determinação do ponto de ebulição local, pedido pelo WBT, foi realizado utilizando o fogão elétrico especificado, em dois momentos. O primeiro com uma panela circular e o outro com uma panela quadrada e no Metálico, utilizou - se apenas a panela circular.

Por razões técnicas, os ensaios foram realizados em ambientes diferentes. Enquanto o fogão elétrico foi testado em uma sala climatizada, com temperatura de 27 graus, o Metálico operou em ambiente coberto, com temperatura ambiente e protegido da interferência do vento e pressão atmosférica de 1010 hPa.

Os resultados dos ensaios são exibidos na Figura 4.44, onde é perceptível que as panelas quadradas e circulares quando usadas no fogão elétrico apresentaram comportamentos bastantes similares, comparativamente, causaram pouca influência no resultado, entretanto, após os ensaios, notou - se que as panelas quadradas resfriaram rapidamente, de onde se conclui que transferem calor pelas paredes ao ambiente. Indicando que panela necessita de mais energia térmica para manter a água aquecida e, portanto, pode exigir mais combustível.

As temperaturas de ebulição determinadas nos três casos ficaram abaixo da temperatura teórica de ebulição local, que seria de 100°C. Um resultado justificado pela complexidade do fenômeno da ebulição, que passa por 4 fases típicas como mostra a Figura 4.44.

A grande diferença percebida nos perfis das temperaturas de ebulição entre os dois fogões pode - se atribuir à estabilidade da taxa de transferência de energia do fogão elétrico, favorecido também pela sua dimensão, enquanto que o fogão à biomassa necessita de mais tempo para romper uma inércia térmica muito maior. Outro fator que

contribuiu para o resultado é o fato das placas serem aquecidas sem tampa, favorecendo as trocas térmicas por convecção e radiação na linha d'água.

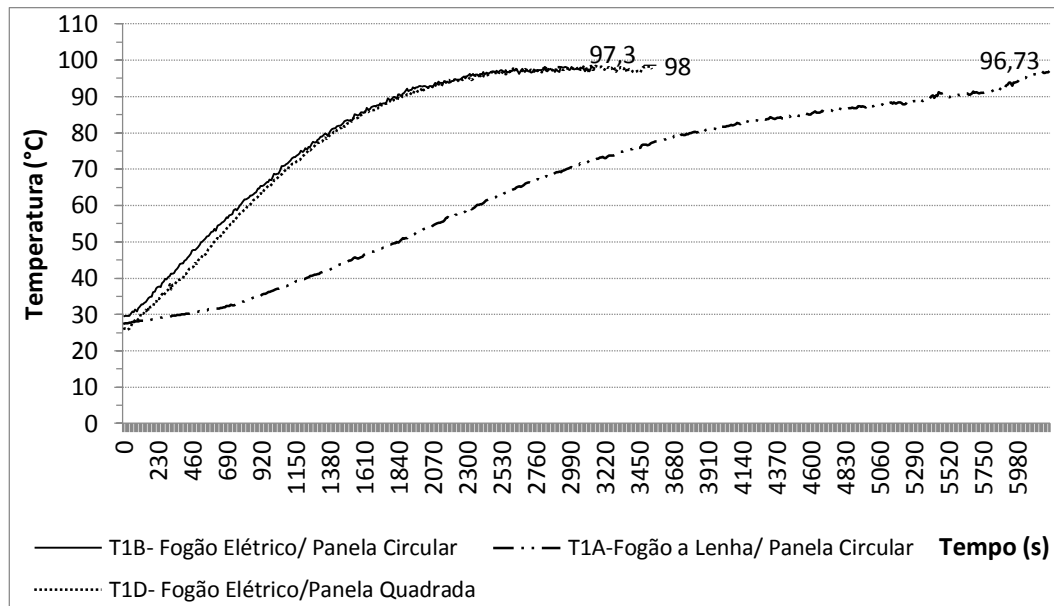


Figura 4.44 - Ponto de ebulição da água

Neste ensaio e no WBT foi difícil determinar o exato momento do início da ebulição já que os termopares estão a 50 mm do fundo da placa e recorrendo novamente a Figura 4.45 fica visível que desde a *Ebulição Natural* até a *Ebulição em Película*, a temperatura do fundo da placa é diferente da temperatura da linha d'água, uma característica da convecção que ocorre no processo da ebulição, então além da temperatura do termopar, também foi empregado o borbulhamento da água com indicador para terminar este ensaio e para fazer as trocas de fases do WBT. Então os monitoramentos adotados foram feitos pelos termopares e a sensibilidade visual do operador para observar a formação das bolhas na fase da *Ebulição Nucleada* e *Ebulição em Transição*

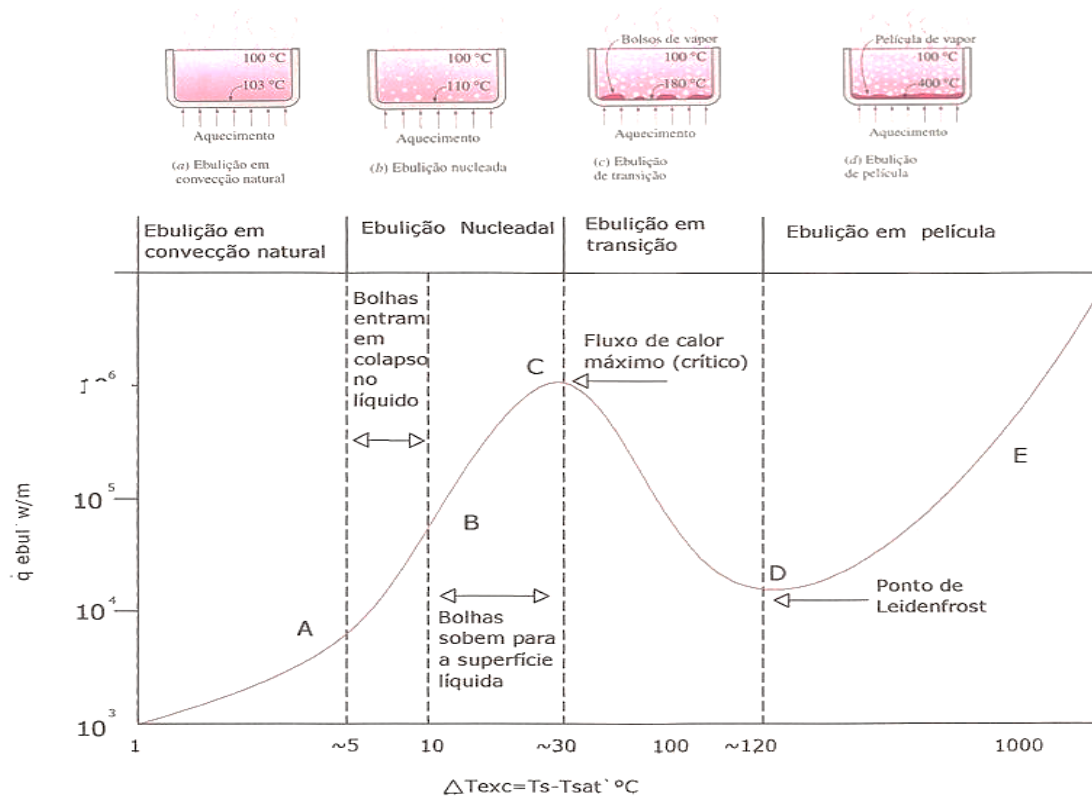


Figura 4.45 - Curva de ebulição típica da água a pressão de 1 atm

Fonte: Çengel (2009)

#### 4.4.2 - WBT no Metálico

Os resultados típicos do WBT no Metálico nas três fases com painéis quadradas estão representados na Tabela 4.4, que mostra as variações das temperaturas seguindo o arranjo da Figura 4.46 juntamente com a alimentação de biomassa. Enquanto que a Tabela 4.5 os perfis de temperaturas do WBT empregando painéis circulares.

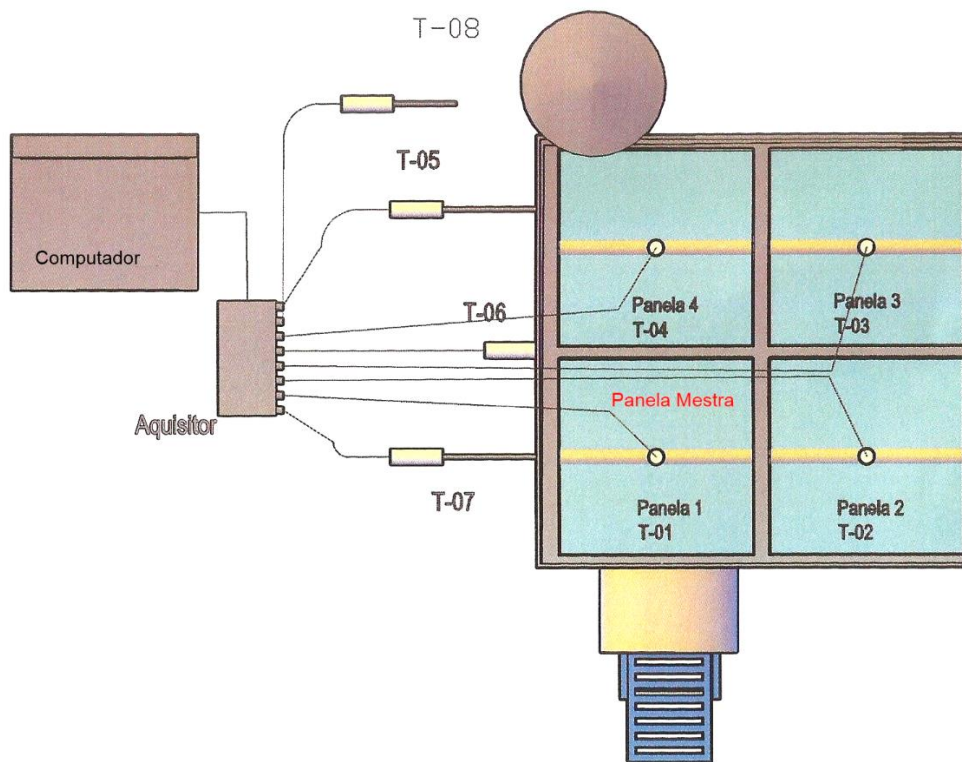


Figura 4.46 - Arranjo padrão das painelas

Todos as Figura dos perfis de temperaturas para os dois tipos de painelas apresentam o comportamento esperado no WBT e demonstram a dificuldade de atingir a temperatura de ebulição local teórica, um fator que acrescentou uma dificuldade para marcar com exatidão o momento de mudança de cada etapa do teste, na qual a sensibilidade dos avaliadores foi determinante, fazendo os monitoramentos da temperatura da água da panela mestra e da formação das bolhas nas fase de ebulição Nucleada e em Transição ( Figura 4.47).





Figura 4.47 - Formação de bolhas no fundo da panela mestra e no termopar  
Foto: Tiago Santos

Comparando, nas Figura, a alimentação com as temperaturas, vê - se que o Metálico apresenta rápida resposta após entrar em regime, inclusive com pequenas cargas. Como também é perceptível a influência da forma de alimentação. Quando as cargas são pequenas, e mesmo contínuas, as primeiras panelas aquecem bem mais do que as demais, indicando que boa parte do calor gerado na câmara é absorvido pelas panelas mais próximas da câmara, Isto ocorre durante todos os ensaios. Entretanto, quando as cargas de biomassa são maiores, gera mais calor e uma taxa maior é transmitida para as outras panelas. Entretanto, as temperaturas diferentes sobre a placa do fogão é um dos propósitos do projeto do Metálico por ser útil às técnicas de culinária

A síntese do WBT realizado no Metálico empregando panelas quadradas e redondas é apresentada na Tabela 4.6, onde se pode comparar os dados. Primeiramente observa - se que as panelas afetam o desempenho térmico na fase de Baixa Potência em 3 % a favor das panelas circulares, enquanto que, nas duas etapas da fase de *Alta Potência* esta vantagem se inverte em favor das panelas quadradas. É uma vantagem pequena e até inesperada para as panelas quadradas considerando a maior área de contato com a chapa e menos espaços vazios entre as panelas. Entretanto, esta é uma prova de que a forma e a maior condutibilidade térmica do material das paredes podem interferir negativamente, uma preocupação já demonstrada em avaliações de desempenho de fogões à biomassa (BRYDEN *et al.*, 2005).

Mesmo que os resultados apresentados sejam os melhores de uma série de seis, as variações são percebidas na Tabela 4.4 e na Tabela 4.5. Embora os perfis do ensaio sejam típicos, a frequência das cargas de combustível é variável devido as necessidades da manutenção do regime permanente. Somado à dificuldade de determinar com exatidão os

pontos de interrupção de carregamento nas mudanças das fases do WBT podem ser notados na Tabela 4.6, que o consumo de combustível e a potência são afetados. Entretanto, esta situação é comum no controle operacional de fogões à biomassa e os resultados tem consistência quando comparados com o desempenho de outros fogões da mesma categoria. Oferecendo condições de aproveitamento dos ensaios para aplicação do MAGOF, para determinar o *Desempenho Específico Energético* pela Planilha 4.

Tabela 4.4 - Resultados Típicos do WBT no Metálico com Painelas Quadradas.

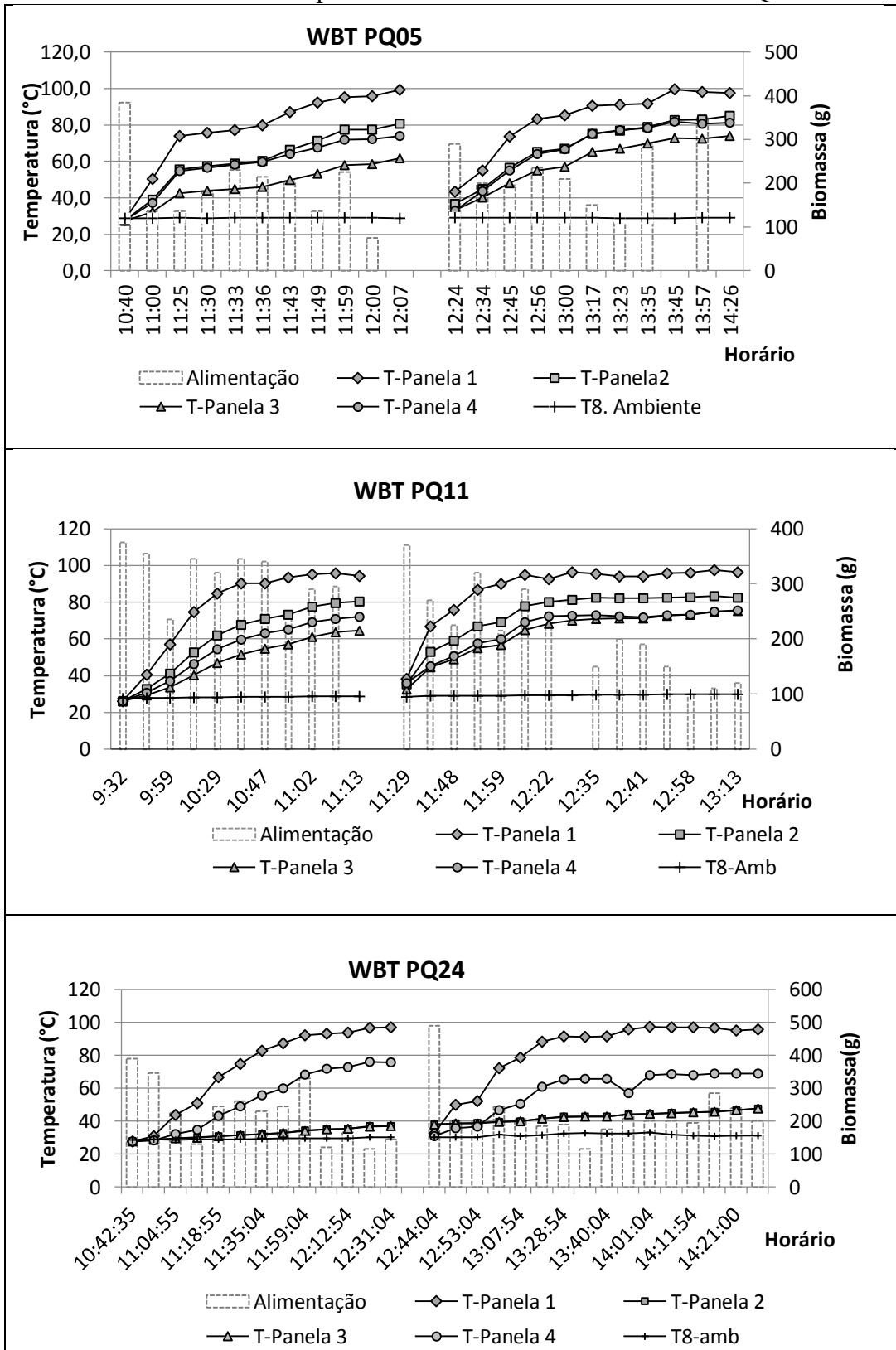


Tabela 4.5 - Resultados Típicos do WBT no Metálico com Painéis Circulares.

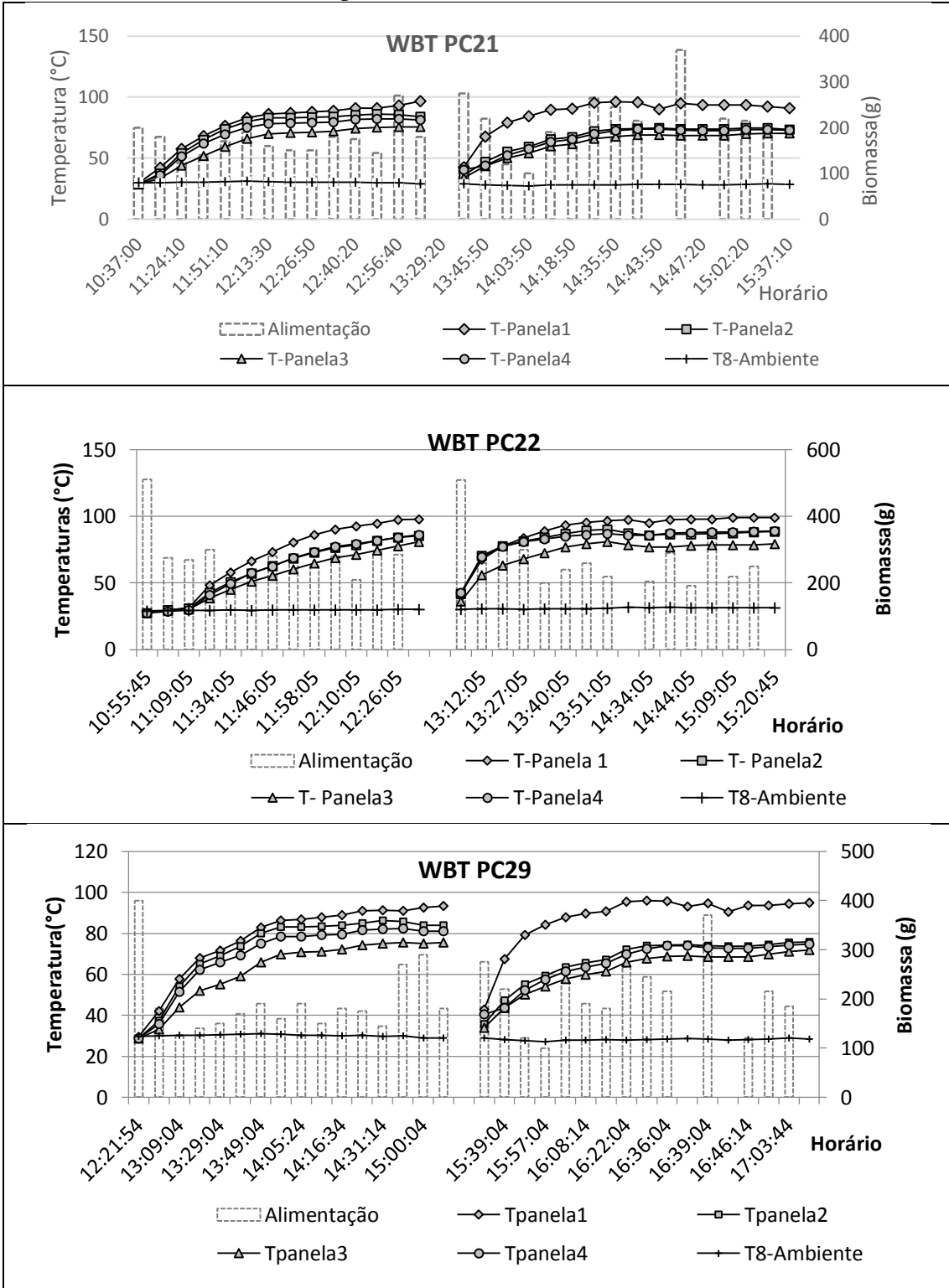


Tabela 4.6 - Resultado do WBT para o Metálico.

|  |  |   |                   |                    |
|--|--|---|-------------------|--------------------|
| Tipo de Fogão/Modelo                     |  | Fogão à biomassa - modelo Metálico            |                   |                    |
| Localização                              |  | Belém - PA - UFPA - LABEM - LabGas            |                   |                    |
| Descrição do Combustível                 |  | Hastes de Madeira Hymenaea Courbaril (Jatobá) |                   |                    |
| Condições do Vento                       |  | Sem vento                                     |                   |                    |
| Temperatura Ambiente Média               |  | 27  |                   |                    |
| Parâmetros                               |  | Unidades                                      | Panelas Quadradas | Panelas circulares |
|  |  |   | Média             | Média              |
| <b>1. Alta Potência (Partida Fria)</b>   | Tempo de ebulição da panela 1          | min   | 92,33             | 128,67             |
|  | Taxa de queima                         | g/min   | 13,37             | 16,81              |
|  | Eficiência Térmica                     | %   | 47                | 34                 |
|  | Consumo Específico de Combustível      | g/l   | 124,38            | 162,22             |
|  | Temp - corrected specific energy cons. | kJ/l  | 2196,70           | 2886,57            |
|  | Potência                               | Watt  | 3815,43           | 4795,50            |
| <b>2. Alta Potência (Partida quente)</b> | Tempo de ebulição da panela 1          | min   | 41,67             | 79,00              |
|  | Taxa de queima                         | g/min   | 24,78             | 11,53              |
|  | Eficiência Térmica                     | %   | 53                | 46                 |
|  | Consumo Específico de Combustível      | g/l   | 68,57             | 71,61              |
|  | Potência                               | Watt  | 7072,40           | 3289,35            |
| <b>3. Baixa Potência (Fervura)</b>       | Taxa de queima                         | g/min   | 24,46             | 15,88              |
|  | Eficiência Térmica                     | %   | 36                | 39                 |
|  | Consumo Específico de Combustível      | g/l   | 105,77            | 57,99              |
|  | Energia específica cons. corrigida     | kJ/l  | 1810,95           | 992,95             |
|  | Potência                               | Watt  | 6980,64           | 4530,62            |

#### 4.4.3 - WBT para o Fogareiro

Os ensaios do WBT no fogareiro foram feitos com uma única panela de um litro, pelo melhor encaixe na boca de barro e respeitando as suas características (Figura 4.48), como recomenda o Protocolo.



Figura 4.48 - Fogareiro com panela de 1 litro no WBT.

Foto: Jaime Junior

Observado a síntese do resultado que estão na Tabela 4.7 e na Tabela 4.8 desempenho médio não é superior a 14 %, de fato é um desempenho baixo, mas coerente com os resultados de testes encontrados na literatura para fogões com as mesmas características.

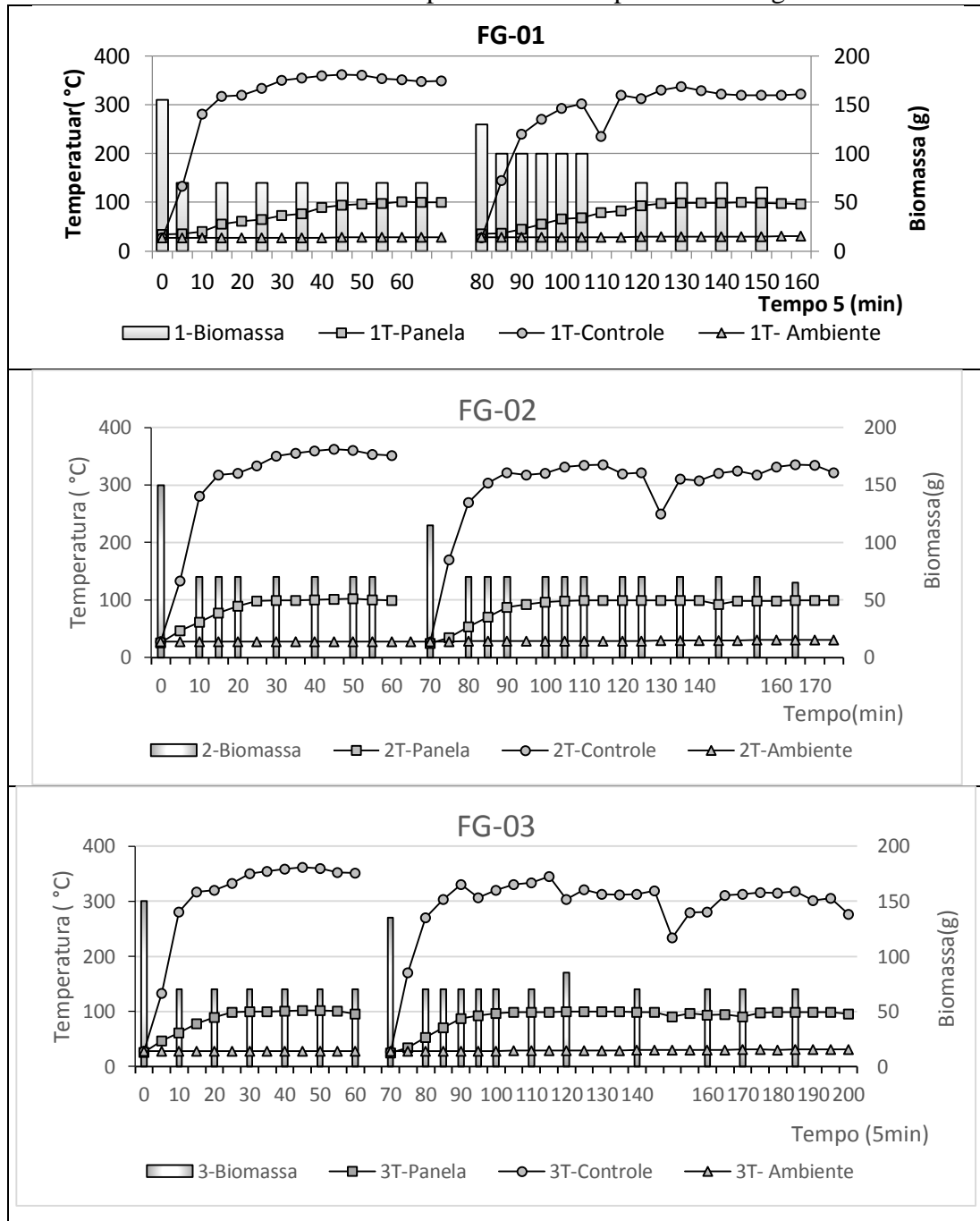
Comparando propriamente os resultados do Metálico observa-se taxas de queima mais elevadas e potências mais baixas. A deficiência do isolamento térmico da carcaça certamente contribui para estes resultados, pois força que a alimentação de biomassa seja mais frequente para compensar as perdas térmicas e manter a temperatura elevada. Estes fatores influem nos testes. Outro ponto negativo é a falta de chaminé que interfere na qualidade do ar interior e até mesmo da queima. Que reflete no Desempenho Específico Ambiental. Os resultados permitem dar sequência ao preenchimento da planilha do Desempenho Específico Energético do MAGOF para o Fogareiro

Entretanto, viu - se que o projeto segue os princípios da câmara Rocket Stove, a mesma usada no Metálico. Uma pequena adequação de projeto certamente pode elevar o desempenho térmico. Entretanto, esta situação pode ser minimizada com a queima de carvão vegetal, embora prejudique a usabilidade durante a operação.

Tabela 4.7 - Resultado do WBT para o Fogareiro.

|   |   |   |                  |
|---|---|---|------------------|
| Tipo de Fogão/Modelo                          |   | Fogão à biomassa - modelo Fogareiro com boca de barro |                  |
| Localização                                   |   | Belém - PA - UFPA - LABEM - LabGas                    |                  |
| Descrição do Combustível                      |   | Hastes de Madeira Hymenaea Courbaril (Jatobá)         |                  |
| Condições do Vento                            |   | Sem vento   |                  |
| Temperatura Ambiente Média                    |   | 27  |                  |
|   | <b>Parâmetros</b>                         | <b>Unit</b>   | <b>Fogareiro</b> |
|   |   |   | Média            |
| 1. TESTE DE ALTA POTÊNCIA<br>(Partida Fria)   | Tempo de ebulição da panela 1             | min   | 61,67            |
|   | Taxa de queima                            | g/min   | 8,06             |
|   | Eficiência Térmica                        | %   | 9,12             |
|   | Consumo Específico de Combustível         | g/l   | 653,13           |
|   | Potência                                  | watt  | 2299,77          |
| 2. TESTE DE ALTA POTÊNCIA<br>(Partida Quente) | Tempo de ebulição da panela 1             | min   | 46,67            |
|   | Temp - corrected time to boil Pot # 1     | min   | 53,05            |
|   | Taxa de queima                            | g/min   | 9,75             |
|   | Eficiência Térmica                        | %   | 12,62            |
|   | Consumo Específico de Combustível         | g/l   | 600,87           |
|   | Potência                                  | Watt  | 2783,02          |
| 3. TESTE EM BAIXA POTÊNCIA<br>(FERVURA)       | Taxa de queima                            | g/min   | 5,87             |
|   | Eficiência Térmica                        | %   | 13,17            |
|   | Consumo Específico de Combustível         | g/l   | 527,42           |
|   | Temp - corrigida energia específica cons. | kJ/l  | 9030,24          |
|   | Potência                                  | Watt  | 1676,27          |
|   | Precisão                                  | -   | 1,60             |

Tabela 4.8 - Resultados típicos do WBT aplicado no Fogareiro.



Nos ensaios WBT mostram que a forma de alimentação do sistema é determinante para aumentar ou diminuir a taxa de transferência de calor, interferindo no tempo de ebulição da água, no consumo de biomassa e na manutenção do regime, por isso, é tão importante conhecer a vazão mássica do sistema e esta foi uma dificuldade encontrada durante a execução dos procedimentos, principalmente na fase três, quando a água precisa ser mantida em ebulição por 45 minutos, sendo desejável que o calor fornecido e a temperatura da água permaneçam constantes para que o sistema entre em regime



permanente. Como solução, optou - se por uma alimentação de pequenos lotes, aguardando o tempo de resposta dado pela *temperatura de controle* na base da chaminé; entretanto, esta resposta não é imediata, gerando a dificuldade para encontrar o tempo exato de alimentação.

Coletar e computar a massa de cinzas foram outras dificuldades no WBT. A biomassa sai da câmara ainda em combustão, tornando a tarefa perigosa e de difícil execução. As cinzas não são coletadas completamente porque continuam sendo geradas até a extinção das chamas, as partículas são muito pequenas e ainda necessitam ser pesadas numa balança com alta precisão. Então, por segurança, ganho de tempo, praticidade e resultados mais proveitosos, sugere - se que as cinzas sejam calculadas pelos dados obtidos na caracterização da biomassa como já é parcialmente adotado na versão WBT 4.2.2.

A falta de padronização dos recipientes utilizados no WBT pode produzir erros nos resultados, como observou BRYDEM (2003), e foram comprovados na aplicação feita com painéis circulares e quadrados, que apresentaram diferenças de dados nos resultados, que embora pequenos, confirmam a interferência. O protocolo quantifica o volume, localiza o termopar, mas não trata da forma, do material, da área de contato do recipiente. Com a área quente, as laterais da panela, se estão livres ou confinadas no fogão e o nível da água.

Este problema foi reconhecido há muito tempo pelos avaliadores de fogões de gás, e o Instituto de gás V.E.G. nos Países Baixos que usam uma regra prática para fogões a gás e estabelece uma panela para cada fogão mas ainda assim os resultados serão válidos apenas para uma combinação específica de panela - fogão. O fluxo de calor recomendado para o fundo da panela é  $3,5 \text{ W / cm}^2$  com uma eficiência de 50%, o motivo para a escolha do  $3.5 \text{ W / cm}^2$  é que as painéis de alumínio normal utilizadas na Europa não conseguem resistir a fluxos elevados de calor (BAILIS *et al.*, 2007). E pode servir de referência para melhorar o WBT. O Protocolo poderá adotar um recipiente caracterizado, inclusive os materiais, a exemplo do que é feito com a biomassa, introduzindo fatores de correção na equação de desempenho, seguindo as recomendações da norma indiana “Biomassa Sólida com Painel Padronizada”, CSI 1315Z.

Planilha 4 - Desempenho específico Energético.

| Atributo                         | Requisitos de qualidade   | Atendimento ao requisito  |             |             |           |           |              |              |              |   |   |   |   |
|----------------------------------|---|---|-------------|-------------|-----------|-----------|--------------|--------------|--------------|---|---|---|---|
|                                  |   | Metálico  |             |             |           | Fogareiro |              |              |              |   |   |   |   |
|                                  |   | obs.  | Ple         | Parc.       | Neg.      | obs.      | Ple.         | Parc         | Neg.         |   |   |   |   |
| Energético                       | 52  | O isolamento térmico não permite que a temperatura da carcaça queime o usuário                              | >40°C       | X           |           |           |              |              |              |   |   |   | X |
|                                  | 53  | O operador controla a intensidade do calor produzido durante a operação                                     |             | X           |           |           |              |              |              |   |   | X |   |
|                                  | 54  | Os gases da combustão são direcionados para as panelas.   |             | X           |           |           |              |              |              | X |   |   |   |
|                                  | 55  | O desempenho obtido na fase 3 do WBT  |             | X           |           |           | 13,7         | X            |              |   |   |   |   |
|                                  |   | Está acima de 10% para fogão sem chaminé  |             |             |           |           |              |              |              |   |   |   |   |
|                                  |   | Está acima de 20% para fogão com chaminé  | 36 - 39     |             |           |           |              |              |              |   |   |   |   |
|                                  | 56  | Ocorre combustão completa no processo   |             | X           |           |           |              |              |              |   |   | X |   |
|                                  | 57  | A potência de pelo menos 4 kW durante hora e meia   | 4,8         | X           |           |           | 2,88         |              |              |   |   |   | X |
|                                  | 58  | O consumo de biomassa na fase de fervura do WBT - Ferver 5 litros de água e manter a fervura por 45 minutos |             |             |           | X         |              |              |              |   |   |   | X |
|                                  |   | Se o fogão não tem chaminé consome até de 850 g   |             |             |           |           | 960g         |              |              |   |   |   |   |
|                                  |   | Se o fogão tem chaminé o consumo é abaixo de 1500 g   | 2970g       |             |           |           |              |              |              |   |   |   |   |
|                                  | 59  | A panela é também aquecida na lateral   |             |             |           | X         |              |              |              |   |   | X |   |
|                                  | 60  | As cinzas são mantidas da região de combustão   |             | X           |           |           |              |              |              |   |   |   | X |
|                                  | 61  | É mantida uma corrente de ar distribuída por toda biomassa  |             | X           |           |           |              |              |              |   |   |   | X |
|                                  | 62  | O excesso de ar está na faixa de 30 %   |             | X           |           |           |              |              |              |   | X |   |   |
| 63                               | A transferência de calor é feita numa área máxima do fundo da panela              |   | X           |             |           |           | X            |              |              |   |   |   |   |
| 64                               | As dimensões da passagem do gás são uniformes da entrada da câmara até a chaminé. |   | X           |             |           |           |              |              |              |   |   | X |   |
| 65                               | O fogão emprega grelha para biomassa na câmara combustão                          |   | X           |             |           |           |              |              |              |   |   | X |   |
| <b>Desempenho energético (%)</b> |   |   | <b>90,0</b> | <b>0,00</b> | <b>10</b> |           | <b>28,57</b> | <b>28,57</b> | <b>42,86</b> |   |   |   |   |

#### 4.5 - DESEMPENHO ESPECÍFICO ECONOMICO

Este desempenho é obtido pelo resultado da Planilha 5. Toma - se por base a análise econômica dos fogões em pesquisa de mercado local. Sendo a referência um fogão a gás com características semelhantes ao fogão à biomassa avaliado e que satisfaça as necessidades dos atores com interesse. Nesta Aplicação do MAGOF foram feitas as seguintes considerações:

- A análise econômica foi realizada nas condições urbanas dos demais ensaios;
- Na literatura, o consumo de combustível pode ser encontrado em torno de 10 kg/dia,(VALE *et al.*, 2003) entretanto, existem muitas variáveis que podem afetar o resultados, então recomenda - se utilizar os resultados dos ensaios locais. Nesta aplicação o resultado é mostrado na Tabela 4.9. Na análise econômica o teste com panelas quadradas foi desprezado por representar uma situação pouco comum e consumir mais combustível.

Tabela 4.9 - Estimativa do consumo de combustível.

| Propriedade               | Unidade | Fogareiro (x4 panelas) | Metálico PQ | Metálico PC | Fogão a gás |
|---------------------------|---------|------------------------|-------------|-------------|-------------|
| Taxa de queima por panela | g/min   | 23,48                  | 24,46       | 15,88       | 6           |
| Consumo 7 horas/diárias   | kg      | 9,86                   | 10,27       | 6,67        | 2,52        |
| Consumo Mensal (30 dias)  | kg      | 295,85                 | 308,20      | 200,09      | 75,60       |
| Anual 12 meses            | kg      | 3550,18                | 3698,35     | 2401,06     | 907,20      |

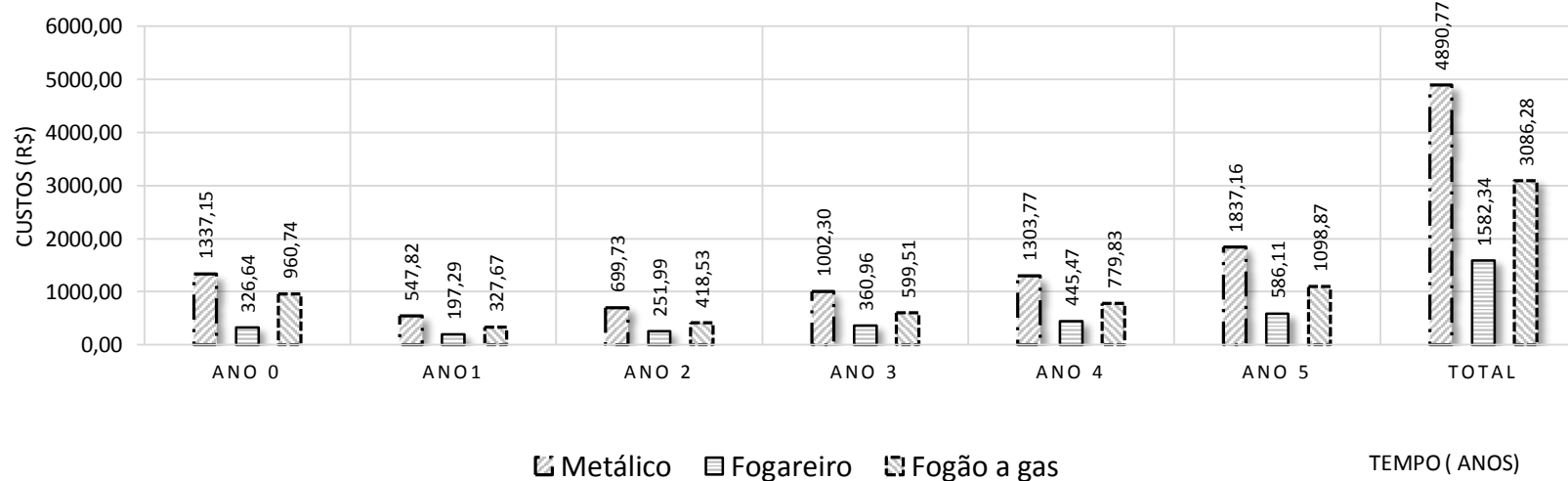
- Foi considerado o consumo de combustível para 4 panelas inclusive para fogareiro, para três refeições, totalizando 7 horas diárias de operação;
- Os dados dos fogões foram coletados nos ensaios, nos manuais e pesquisas de campo O levantamento de custos é apresentado na Tabela 4.10;
- Na análise econômica foi adotado um horizonte de 5 anos correspondente ao ciclo de vida dos fogões, dentro do escopo de um consumidor (CHEHEBE, 2002).
- O modelo do fogão a gás de referência adotado tem similaridades com os fogões avaliados. Tem 4 bocas, não tem forno.
- As características econômicas da situação são inadequadas para a aplicação de métodos tradicionais de análise econômica, então foi adotado
- O fluxo de caixa para num horizonte de 5 anos com incidência da taxa Selic dos últimos 5 anos. Apresentado na Tabela 4.11

Tabela 4.10 - Levantamento de Custos dos Fogões.

| ITEM  | Metálico |       |        |                | Fogareiro |      |        |               | Fogão a gás |      |        |                |
|---|----------|-------|--------|----------------|-----------|------|--------|---------------|-------------|------|--------|----------------|
|   | PU       | Qtd   | Vtot   | Resumo         | PU        | QTD  | VoT    | Resumo        | PU          | QTD  | Vtot   | Resumo         |
| 1. Implantação                              |          |       |        | 660,00         |           |      |        | 154,00        |             |      |        | 674,00         |
| 1.1. Aquisição do Fogão                     | 480,00   | 1     | 480,00 |                | 6,00      | 4,00 | 24,00  |               | 494,00      | 1,00 | 494,00 |                |
| <b>1.1. INSTALAÇÃO</b>                      | 10,00    | vb    | 10,00  |                | 10,00     | vb   | 10,00  |               | 10,00       | vb   | 10,00  |                |
| 1.3. Acessórios para instalação             | 10,00    | vb    | 10,00  |                | 40,00     | vb   | 40,00  |               | 50,00       | vb   | 50,00  |                |
| 1.4. Utensílios para Operação (panelas)     | 30,00    | 4     | 160,00 |                | 20,00     | 4,00 | 80,00  |               | 30,00       | 4,00 | 120,00 |                |
| 2. Operação                                 |          |       |        | 482,15         |           |      |        | 463,70        |             |      |        | 300,38         |
| 2.1. Transporte do Combustível              | 20,00    | vb    | 20,00  |                | 20,00     | Vb   | 20,00  |               | 5,00        | Vb   | 5,00   |                |
| 2.2. Combustível Consumido (kg/7 horas/dia) | 1,50     | 10,27 | 462,15 |                | 1,50      | 9,86 | 443,70 |               | 3,85        | 2,56 | 295,38 |                |
| 3. Manutenção                               |          |       |        | 155,00         |           |      |        | 75,00         |             |      |        | 110,00         |
| 3.2. Material de limpeza                    | 10,00    | Vb    | 5,00   |                | 10,00     | 1,50 | 15,00  |               | 10,00       | Vb   | 10,00  |                |
| 3.3. Reposição de componentes               | 10,00    | Vb    | 150,00 |                | 30,00     | 2,00 | 60,00  |               | 100,00      | Vb   | 100,00 |                |
| 4. Descarte                                 |          |       |        | 40,00          |           |      |        | 10,00         |             |      |        | 40,00          |
| 4.1. Transporte de descarte                 | 20,00    | Vb    | 20,00  |                | 155,00    | Vb   | 5,00   |               | 20,00       | Vb   | 20,00  |                |
| 4.2. Operação de Descarte                   | 20,00    | Vb    | 20,00  |                |           | Vb   | 5,00   |               | 20,00       | Vb   | 20,00  |                |
| <b>Total mensal</b>                         |          |       |        | <b>1337,15</b> |           |      |        | <b>702,70</b> |             |      |        | <b>1124,38</b> |

Tabela 4.11 - Análise econômica dos desembolsos projetados no período de 5 anos.

| Período      | Taxa I (Selic) | Metálico       |                | Fogareiro      |                | Fogão a gás    |                |
|--------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
|              |                | VP             | VF             | VP             | VF             | VP             | VF             |
| Ano 0        |                | 1139,38        | 1337,15        | 326,64         | 326,64         | 960,74         | 960,74         |
| Ano1         | 0,069          | 479,38         | 547,82         | 172,64         | 197,29         | 286,74         | 327,67         |
| Ano 2        | 0,085          | 547,82         | 699,73         | 197,29         | 251,99         | 327,67         | 418,53         |
| Ano 3        | 0,094          | 699,73         | 1002,30        | 251,99         | 360,96         | 418,53         | 599,51         |
| Ano 4        | 0,054          | 1002,30        | 1303,77        | 360,96         | 445,47         | 599,51         | 779,83         |
| Ano 5        | 0,071          | 1303,77        | 1837,16        | 445,47         | 586,11         | 779,83         | 1098,87        |
| <b>Total</b> |                | <b>3056,92</b> | <b>4890,77</b> | <b>1017,20</b> | <b>1582,34</b> | <b>2107,68</b> | <b>3086,28</b> |



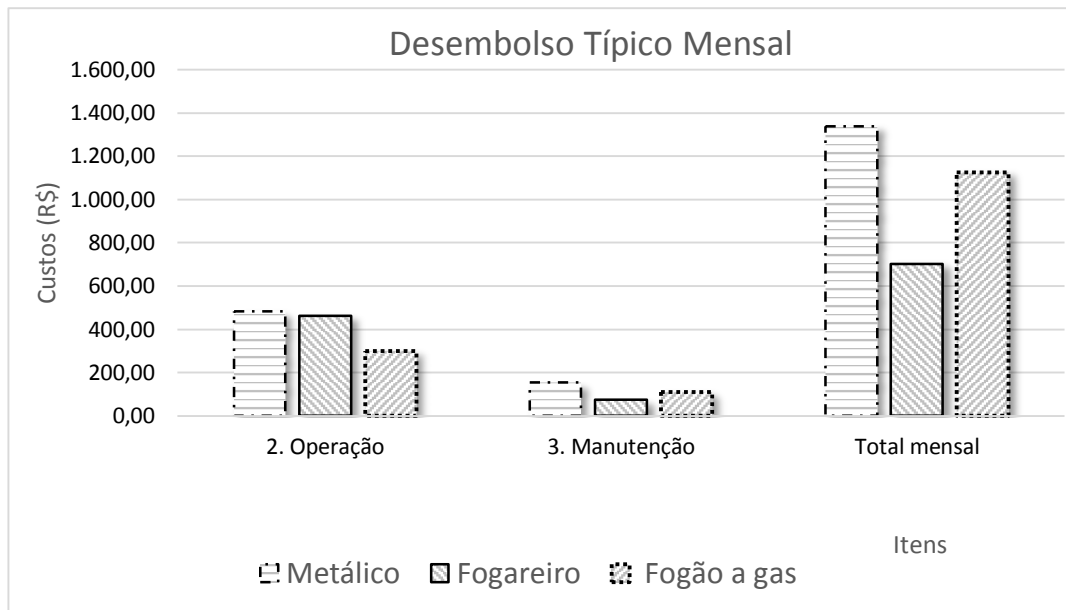


Figura 4.49 - Valores dos Desembolsos mensais

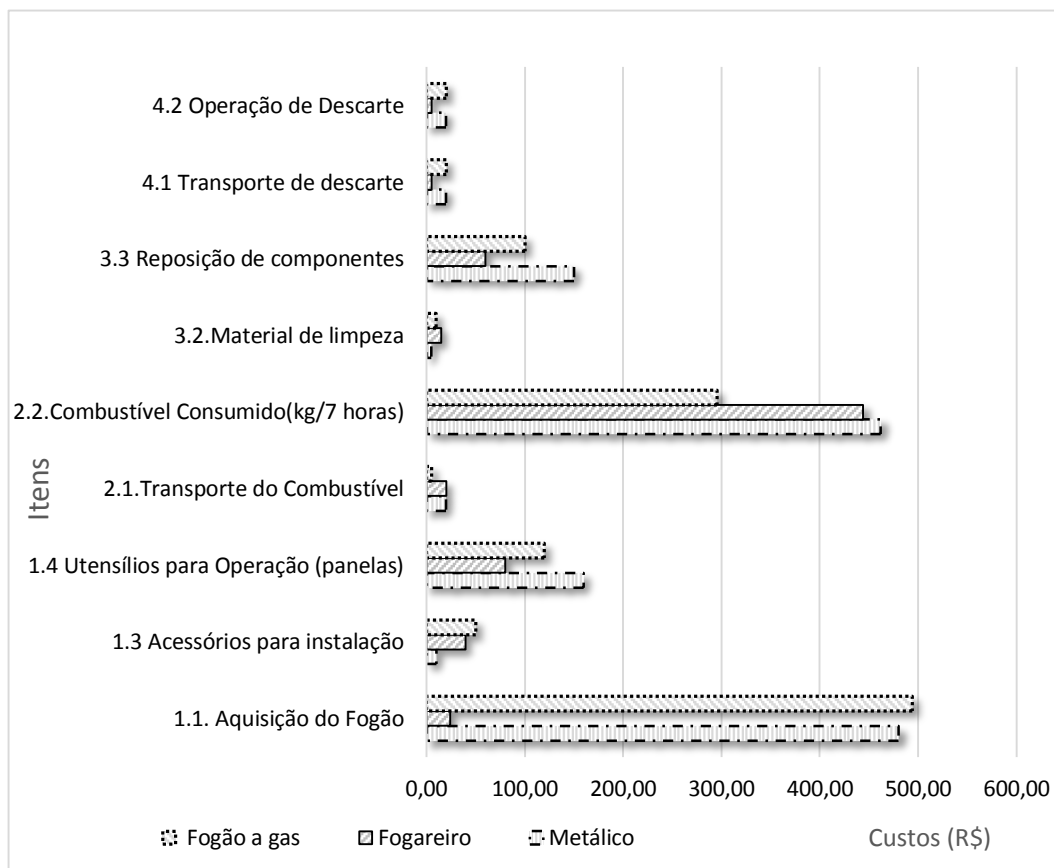


Figura 4.50 - Valores dos Desembolsos dos sub Itens para o ano 0

Avaliando os dados e a Tabela 4.11, o Metálico tem maior desembolso, o que se justifica, já que o fogão a gás operou no perímetro urbano, que conta com uma logística a seu favor, ao contrário do Metálico, já o fogareiro leva grande vantagem sobre os dois, devido a seu custo de aquisição e manutenção, entretanto, tem curta durabilidade e no período de um ano, uma unidade foi danificada e teve que ser reposta, encarecendo sua manutenção. Lembrando que para permitir que o fogareiro fosse melhor comparado com os demais fogões de 4 bocas, o consumo determinado nos ensaios foi multiplicado por 4, desta maneira a Figura 4.50 evidencia que o consumo de combustível do fogareiro é bastante elevado para o seu porte. É racional considerar que cozinhar vários alimentos em um fogão de 1 boca, exige a alternância de panelas e demanda mais tempo, refletindo no aumento do consumo de combustível.

Os testes mostram que o fogão a gás tem melhor desempenho econômico nestas condições, o que pode ter um resultado totalmente diferente em outro lugar sem a mesma infraestrutura. De qualquer forma os resultados são adequados para o preenchimento da planilha 5, na aplicação do MAGOF.

#### **4.6 - DESEMPENHO GLOBAL.**

Por fim o Desempenho Global, determinado pela Planilha 5, Planilha 6 com o cálculo do percentual de todos os atendimentos dos 72 requisitos de qualidade. A Figura 4.51 mostra o gráfico da Síntese de todos os Desempenhos Específicos, constituindo uma interessante ferramenta para análise de resultados, pela possibilidade de interpretação visual com comparação dos resultados de maneira direta e rápida. No caso analisado o Metálico tem avaliação desfavorável ao Fogareiro no desempenho Econômico, mas leva desvantagem em todos os demais contabilizado, pela fragilidade, ausência de chaminé. O MAGOF não somente indica os pontos de fragilidade, mas pode ser encarado como uma oportunidade de melhoria.

Planilha 5 - Desempenho específico Econômico.

| Atributo                        | Requisitos de qualidade | Atendimento aos requisitos  |              |              |              |           |               |             |             |  |
|---------------------------------|-------------------------|---|--------------|--------------|--------------|-----------|---------------|-------------|-------------|--|
|                                 |                         | Ecofogão  |              |              |              | Fogareiro |               |             |             |  |
|                                 |                         | obs.  | Ple          | Parc.        | Neg.         | obs.      | Ple.          | Parc        | Neg.        |  |
| Econômico                       | 66                      | O custo de aquisição do fogão é menor ou equivalente a de um fogão a gás que atende as mesmas necessidades dos usuários         | 92X200       |              |              | X         |               | X           |             |  |
|                                 | 67                      | O custo de manufatura é menor ou equivalente a aquisição de um fogão a gás que atende as necessidades dos usuários              |              |              | X            |           | X             |             |             |  |
|                                 | 68                      | O custo de transporte até os usuários finais é menor ou equivalente a de um fogão a gás que atende as necessidades dos usuários |              |              | X            |           | X             |             |             |  |
|                                 | 69                      | Os custos de instalação são menores ou equivalentes a de um fogão a gás que atende as mesmas necessidades dos usuários          |              | X            |              |           | X             |             |             |  |
|                                 | 70                      | O custo de manutenção é menor ou equivalente a de um fogão a gás que atende as mesmas necessidades dos usuários                 |              | X            |              |           | X             |             |             |  |
|                                 | 71                      | O custo da biomassa é menor ou equivalente a um botijão de gás  |              | X            |              |           | X             |             |             |  |
|                                 | 72                      | A análise econômica apresenta vantagem sobre o fogão a gás  |              |              |              |           |               |             |             |  |
| <b>Desempenho Econômico (%)</b> |                         |   | <b>50,00</b> | <b>33,33</b> | <b>16,67</b> |           | <b>100,00</b> | <b>0,00</b> | <b>0,00</b> |  |

Planilha 6 Desempenho Global

| Desempenho Global (%) | Atendimento Global aos requisitos |         |        |           |         |        |
|-----------------------|-----------------------------------|---------|--------|-----------|---------|--------|
|                       | Ecofogão                          |         |        | Fogareiro |         |        |
|                       | Pleno                             | Parcial | Negado | Pleno     | Parcial | Negado |
|                       | 70,42                             | 14,08   | 15,49  | 60,56     | 16,40   | 22,54  |



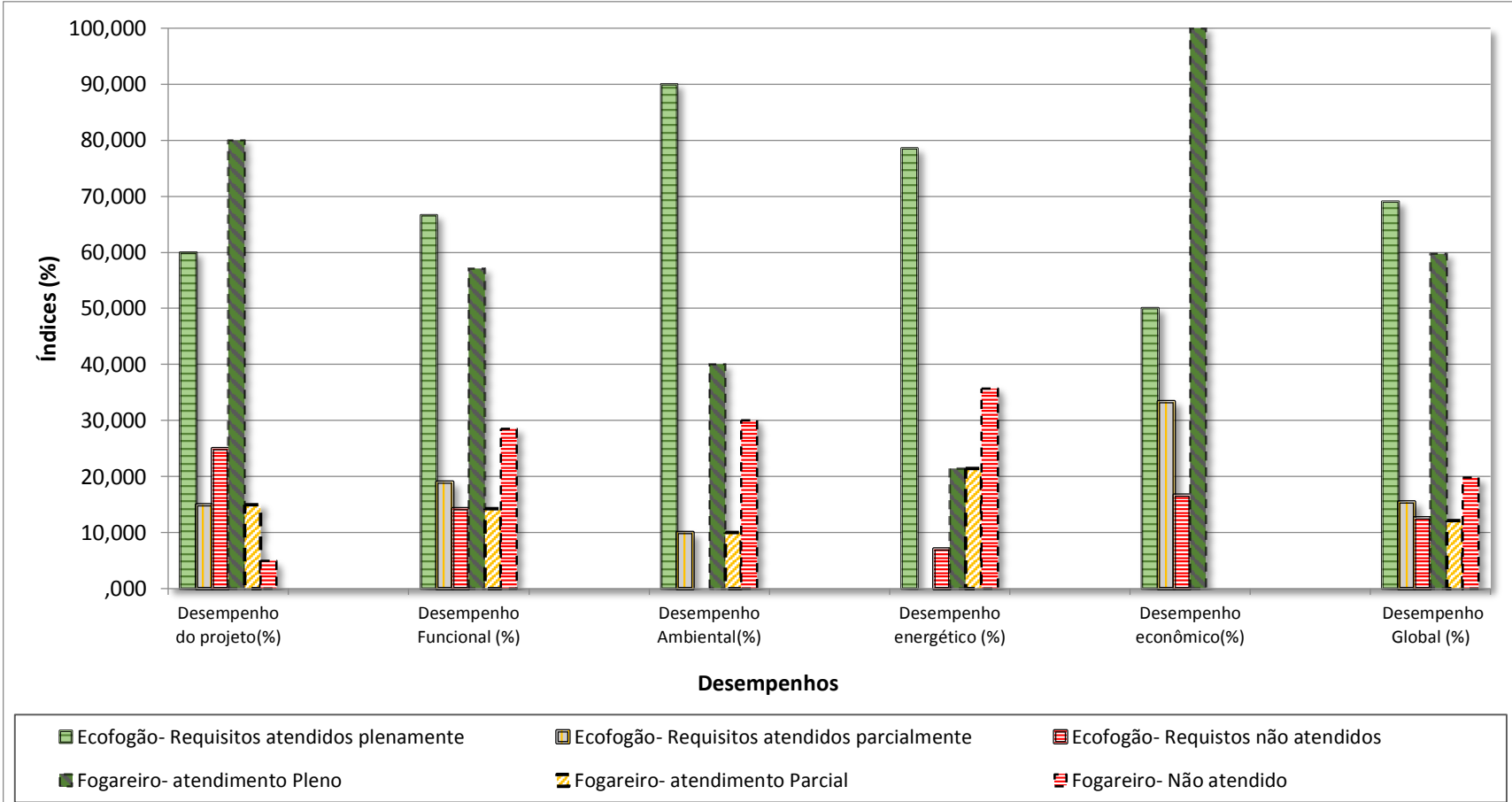


Figura 4.51 - Síntese da avaliação de desempenho

## CAPÍTULO 5

### CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Na avaliação do MAGOF observa - se de imediato a considerável quantidade de Requisitos de Qualidade a serem avaliados devido à intenção de fazer uma avaliação representativa do ciclo de vida do fogão, por essa razão, o preenchimento das planilhas emprega técnicas da ergonomia cognitiva para não desgastar o avaliador, reduzir a carga mental e o risco de erros, dando simplicidade nas tarefas, praticidade e rápida compreensão,

Como os fogões à biomassa são projetados para serem usados em cozinhas, por pessoas de formação diversas, então é desejável que sejam avaliados nas condições mais próximas do real, neste sentido o protocolo pode ser empregado em localidades diferentes, com recursos distintos e mesmo necessitando de testes e equipamentos laboratoriais, estes são usuais nas pesquisas em energia de biomassa. E assim demonstrou flexibilidade para aceitar adaptações e atualizações a situações novas, com a inclusão de novos requisitos relevantes à cada situação, de acordo com as necessidades, sendo pela legislação local, o desenvolvimento de normas, ou evolução de pesquisas.

Como o MAGOF considera o Fogão um produto, torna - se uma ferramenta informacional poderosa. Pela Síntese da Avaliação de Desempenho percebe - se a oportunidade de avaliar e comparar os desempenhos com rapidez, evidenciando os pontos fortes e fracos dos fogões avaliados. Com a distinção entre os Desempenhos Específicos, as informações podem ser direcionadas mais rapidamente aos diversos atores interessados, sendo eles projetistas, investidores, consumidores, usuários, ou órgãos governamentais.

O MAGOF cumpre o papel de preencher as lacunas nas avaliações de fogões, ao mesmo tempo que se associa ao WBT, um protocolo já validado, que se mostrou uma poderosa ferramenta para o MAGOF. Desta maneira, há uma complementação e fortalecimento de ambos, assim como, o emprego de Métodos de Viabilidade Econômica.

Dentro da linha de pesquisa, o MAGOF inspira uma serie de novas pesquisas com aplicação do protocolo empregando outros modelos de fogões. Formação de indicadores de desempenho para comparações e validação do protocolo. Outro trabalho de interesse seria empregar o MAGOF em locais com realidades diferentes para e aprimora - lo.

## REFERÊNCIAS

ABELIOTIS, K.; PAKULA, C. Reducing health impacts of biomass burning for cooking—the need for cookstove performance testing. **Energy Efficiency**, v. 6, n. 3, p. 585-594, 2013. ISSN 1570-646X.

ALMEIDA, D. P. F. **Psicrometria - Apontamentos de apoio às aulas de Tecnologia Pós-Colheita-Mestrado em Ciência e Tecnologia Pós-Colheita**. Porto: Escola Superior de Biotecnologia Universidade Católica Portuguesa 2004.

AMELOTI, G. B. Simulação numérica do processo de aquecimento e dinâmica dos gases no interior de um forno industrial. **Horizonte Científico**, v. 6, n. 1, 2012. ISSN 1808-3064.

ANDRADE, C. T. C.; CAVALCANTE NETO, T. N.; PONTES, R. S. T. **Influência Legislativa no Aumento da Eficiência de Equipamentos Elétricos – A Experiência Brasileira**. III Congresso Brasileiro de Eficiência Energética. Belém-Pará 2009.

ARBEX, M. A. **Avaliação dos efeitos do material particulado proveniente da queima da plantação de cana de açúcar sobre a morbidade respiratória na população de Araraquara-SP**. 2001. Tese de doutorado (Doutot). Faculdade de Medicina, USP, São Paulo-SP.

AZEOTECH. DAQFactory 1.73. 2007. Disponível em: < <http://www.azeotech.com/index.php> >. Acesso em: 10 de Agosto de 2009.

BAILIS, R. et al. **The Water Boiling Test (WBT)**. Household Energy and Health Programme Shell Foundation 2007.

BAJPAI, U.; BAJPAI, S. C. Improved Woodstove –Tehtana Experience. **Recent Advances in Bioenergy Research**, p. 89, 2013.

BARNES, D. F. et al. **What Makes People Cook with Improved Biomass Stoves ? A Comparative International Review of Stove Programs** Intemational Bank for Reconstruction and Development/The World Bank. Washington, D.C. - U.S.A. 1994

BARRETO, E. J. F. et al. **Tecnologias de Energia Renováveis: sistemas híbridos, pequenos aproveitamentos hidroeletricos, combustão e gasificação de biomassa**

**sólida, biodiesel e óleo vegetal in natura.** 1. Brasília-DF: Ministério de Minas e Energia - MME, 2008. 156 ISBN 978-85-98341-06-4.

BATES, E. **Chimney Stove and Smoke Hoods.** Technology Brief. Warwickshire-Reino Unido: Practical Action, The Scumacher Centre for Techology & Development-Technology Development Group Ltd. 2007.

BAXTER, M. **Projeto de Produto-Guia prático para design de novos produtos.** 2ºed. São Paulo-SP: Edgar Blücher, 2000. 260p. ISBN 85-212-0265.

BERRUETA, V. M.; EDWARDS, R. D.; MASERA, O. R. **Energy performance of wood-burning cookstoves in Michoacan, Mexico.** Elsevier: Science Direct 2007.

BEZERRA, M. I. L.; AGUIAR, A. P. **ESTIMATIVA DO CONSUMO RESIDENCIAL DE LENHA EMOITO PEQUENAS COMUNIDADES RURAIS DO COMPLEXO DA EMPRESA MIRIRI ALIMENTOS E BIOENERGIA - PB.** X Congresso de Ecologia do Brasil. São Lourenço- MG 2011.

BORGES, T. P. D. F. **Fogão a lenha de Combustão Limpa.** 1994. 115 Dissertação (Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP - Universidade Estadual de Campinas, Campinas - SP.

BRASIL-MINISTÉRIO DE DESENVOLVIMENTO SOCIAL E COMBATE A FOME-MDS. [www.mds.gov.br/ascom/hot\\_enct/informes42.doc](http://www.mds.gov.br/ascom/hot_enct/informes42.doc). Brasília, 2010. Disponível em: < [www.mds.gov.br/ascom/hot\\_enct/informes42.doc](http://www.mds.gov.br/ascom/hot_enct/informes42.doc) >.

BRYDEN, M. et al. **Principios de Diseño para Estufas de Cocción con Leña.** FOUNDATION, S. Oregon: Aprovecho Research Center 2005.

CARMO, F. A. D. et al. **Gases Emissions and Excess Air Measurements for Performance Analysis of a Wood Stove.** 13th Brazilian Congress of Thermal Sciences and Engineering. Uberlandia, MG, Brazil: ABCM 2010.

CARVALHO JUNIOR, J. A. D.; MCQUAY, M. Q. **Princípios de Combustão Aplicada.** Florianópolis-SC: EDUSC, 2007. 176 ISBN 978-85-328-0377.

ÇENGEL, Y. A. **Transferência de Calor e Massa: Uma abordagem Prática.** 3. São Paulo- SP: McGraw-Hill, 2009. ISBN 978-85-7726-075-1.

CERQUEIRA, M. et al. Formaldehyde and acetaldehyde emissions from residential wood combustion in Portugal. **Atmospheric Environment**, v. 72, p. 171-176, 2013. ISSN 1352-2310.

CHEHEBE, J. R. B. **Análise do Ciclo de Vida de Produtos: Ferramenta gerencial da ISO14000**. 2. Rio de Janeiro-RJ: Qualitymark,CNI, 2002. 120 ISBN 85-7303-169-7.

COOKSTOVE.NET. Performance Estimation of Stoves. 2007. Disponível em: < <http://www.cookstove.net/others/fuel-economy.html> >. Acesso em: 19/12.

DA COSTA, C. C. et al. Fatores ambientais inaláveis em portadores de DPOC num programa de reabilitação pulmonar. **Saúde e meio ambiente: revista interdisciplinar**, v. 2, n. 2, p. 65-75, 2013. ISSN 2316-347X.

FERREIRA, O. C. A Redescoberta dos Fogões. In: (ORG), M. G. M. (Ed.). **Biomassa: Energia dos Trópicos em Minas Gerais**. Belo Horizonte-MG: LabMídia/FAFICH, 2001. cap. IV-Tecnologias da Biomassa, p.272p. ISBN 85-88659-01-8.

FONSECA, A. J. H. **Sistematização do processo de obtenção das especificações de projeto de produtos industriais e sua implementação computacional** 2000. Doutorado (Tese). Departamento de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis-SC.

GODOY, I. D. Fogão a lenha: um passatempo agradável, uma rotina perigosa. **Jornal Brasileiro de pneumologia**, p. 2, 2008.

GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. **Energia, Meio Ambiente e Desenvolvimento**. 3. São Paulo-SP: EDUSP, 2012. ISBN 978-85-314-1113-7.

GONÇALVES, A. **Lareiras e Churrasqueiras**. 5. Porto Alegre-RS: Sagra Luzzatto, 1984. 171 ISBN 85-241-0057-5.

HOPPIN, P.; JACOBS, M. Emissions and Health Effects of Wood Biomass Combustion. In: (Ed.). **Wood-Based Energy in the Northern Forests**: Springer, 2013. p.177-207. ISBN 146149477X.

HUBOYO, H. et al. Comparison between Jatropha curcas seed stove and woodstove: Performance and effect on indoor air quality. **Energy for Sustainable Development**, v. 17 p. 9, 2013.

IIDA, I. **Ergonomia: Projeto e Produção**. 2. São Paulo-SP: Blucher, 2005. ISBN 978-85-212-0354-4.

KOSMANN, C. et al. **Avaliação dos aspectos ergonômicos e usabilidade de escovas dentais através dos métodos: questionário, checklist e heurística**. Congresso Internacional de Pesquisa em Design e I Congresso Brasileiro de Pesquisa e Desenvolvimento em Design. UNB. Brasília-DF: Universidade de Brasília 2002.

LALAU, M.; MOUNSIF, S. **Relatório do Projeto- Estudo do Ecofogão**. FEM-UFPA-Arts et Métiers ParisTech. Belém-Pará. 2011

LAU, P. C. et al. Evaluation of the Efficiency Energy of Wood Stove from Irati Brazilian City. **International Journal of Agriculture and Forestry**, v. 3, n. 7, p. 267-272, 2013. ISSN 2165-8846.

MALISKA, C. R. **Transferência de Calor e Mecânica dos Fluidos Computacional**. 2.ed. Universidade Federal de Santa Catarina: LTC, 2004. 454p.

MIRANDA, R. C. D. Fogão a lenha convencional apresenta perigos para saúde. 2007. Disponível em: < [www.ecofogao.com.br](http://www.ecofogao.com.br) >. Acesso em: 21/12.

MUKUNDA, H. S.; SHRINIVASA, U.; DASAPPA, S. Portable single-up wood stoves of high efficiency for domestic use. **Sādhanā-India**, v. 13 - Parte 4, p. 237-270, dez-1988 1988.

NEIRA, O. **Simulación numérica de la distribución de temperaturas y flujo de aire en el horno de una cocina de uso doméstico**. 2011. (Magíster en Métodos Numéricos para Diseño en Ingeniería”). Maestría en Métodos Numéricos para Diseño en Ingeniería, Universidad Politécnica Salesiana, Unidad De Posgrados, Cuenca-Ecuador.

NICKEL1, E. M. et al. Modelo multicritério para referência na fase de Projeto Informacional do Processo de Desenvolvimento de Produtos **Gest. Prod.**, São Carlos, , v. v. 17, n. 4., p. p. 707-720, 2010.

NOGUEIRA, L. A. H.; LORA, E. E. S. **Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações**. 2. Rio de Janeiro: Interciência, 2003. 199 ISBN 85-7193-077-5.

NUNES, D. D. **A Física na Cozinha**. 2008. Graduação (Graduação). Departamento de Física, Universidade Católica de Brasília, Brasília.

OCHIENG, C. A.; TONNE, C.; VARDOULAKIS, S. A comparison of fuel use between a low cost, improved wood stove and traditional three-stone stove in rural Kenya. **Biomass and Bioenergy**, v. 58, p. 258-266, 2013. ISSN 0961-9534.

OLIVEIRA JUNIOR, J. et al. **Evaluation of a Wood Firing Stove Performance Using The Water-Boiling Test**. 12th Brazilian Congress of Thermal Engineering and Sciences. Belo Horizonte, MG: 6 p. 2008.

PALM, J. The building process of single-family houses and the embeddedness (or disembeddedness) of energy. **Energy Policy**, 2013. ISSN 0301-4215.

PRIETSCH, S. O. M. et al. Doenças respiratórias em Menores de 5 anos no Sul do Brasil: influência do ambiente doméstico. **Pan Am J Public Health**, v. 13, p. 8, 2003.

REBELATTO, A. L. **Determinação de Índices Quantitativos de Material Particulado Inalável nos Períodos secos e Úmidos na Cidade de Cuiabá**. 2005. Dissertação de Mestrado (Mestrado). Instituto de Ciências exatas e Naturais, Universidade Federal do Mato Grosso, Cuiabá- MT.

REEVE, I. et al. “This is not a burning issue for me”: How citizens justify their use of wood heaters in a city with a severe air pollution problem. **Energy Policy**, v. 57, p. 204-211, 2013. ISSN 0301-4215.

RENDEIRO, G. et al. **Combustão e Gasificação de Biomassa Sólida: Soluções Energéticas para a Amazônia**. 1. Brasília: Ministério de Minas e Energia, 2008. 192 ISBN 978-85-98341-05-7.

ROZENFELD, H. et al. **Gestão de Desenvolvimento de Produtos : Uma referência para a melhoria do Processo**. São Paulo- SP: Saraiva, 2006. 541 ISBN 85-02-05446-5.

STANTON, N. Product design with people in mind. In: STANTON, N. (Ed.). **Human Factors in Consumer Products**. Padstow-Inglaterra: Taylor & Francis, 1998. ISBN 0748406034.

STANTON, N.; YOUNG, M. Ergonomics methods in consumer product design and evaluation. In: STANTON, N. (Ed.). **Human Factors in Consumer Products**. 1. Padstow- Inglaterra: Taylor & Francis, 1998. ISBN 0748406034.

STILL, D.; MACCARTY, N. **Biomass Cooking Stove Testing Protocols**. Aprovecho Research Center. Cottage Grove-Oregon, p.121. 2008

UFPA-UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ. **Relatório Metalográfico: Chapa de ferro fundido de um fogão a lenha**. Faculdade de Engenharia Mecânica-GAPMMA Belém-Pará. 2010

VALE, A. T. D. et al. Estimativa do Consumo de lenha Residencial de lenha em uma pequena comunidade rural do Município de São João D'Aliança, GO. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 13, n1, p. 6, 2003. ISSN 0103-9954.

WARD, T.; NOONAN, C. Results of Residential indoor PM2.5 sampling program before and after woodstove changeout. **Indoor air - International Journal of Indoor Environment and Health**, p. 7, 2008.

WARD, T. J. et al. The impact of a community-wide woodstove changeout intervention on air quality within two schools. **Atmospheric Pollution Research**, v. 4, n. 2, 2013. ISSN 1309-1042.

WARE, D. et al. Sources and Perceptions of Indoor and Ambient Air Pollution in Rural Alaska. **Journal of community health**, v. 38, n. 4, p. 773-780, 2013. ISSN 0094-5145. Disponível em: < <http://link.springer.com/article/10.1007%2Fs10900-013-9678-9> >.

WINROCK INTERNATIONAL; SHELL FOUNDATION. **Brazil Market Analysis for Improved Stoves- Stage 1**. Salvador- BA. 2007

WOODSTOCK SOAPSTONE, C. **What Makes A Good Chimney**. West Lebanon, NH: 2 p. 2004.



## APÊNDICE 1

### COMBUSTÃO DE BIOMASSA

Conceitualmente combustão de biomassa pode ser definida como processo de conversão de energia contida no combustível por reações termoquímicas dos componentes da biomassa com o ar em excesso, gerando calor e luz (RENDEIRO *et al.*, 2008). Segundo estes autores a combustão de sólidos se desenvolve em 4 etapas:

- *Aquecimento e Secagem* - processo de retirada da umidade do combustível por calor
- *Pirólise ou Volatilização* - Etapa em que ocorre a liberação de gases inflamáveis contidos no sólido;
- *Combustão* - Os gases formados reagem com o oxigênio numa reação exotérmica, se a reação for estequiométrica produzirá  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O} + \text{Calor} + \text{Cinzas}$ ;
- *Pós - Combustão* - Nesta etapa, são caracterizados todos os efluentes do processo.

Uma das grandes preocupações em promover a queima limpa de fogões à biomassa deve-se ao fato de que o processo de combustão pode gerar poluentes atmosféricos de três categorias:

- *Gases de efeito estufa* compreendendo o dióxido de carbono, o metano e outros hidrocarbonetos;
- *Gases nocivos*: o monóxido de carbono e aqueles que contenham nitrogênio ou enxofre
- *Resíduos Inertes*: o carvão e as cinzas.

#### 1.2. O AR NA COMBUSTÃO

A quantidade de ar é determinante para obtenção de uma combustão limpa, na qual é desejável que as concentrações de particulado e das emissões orgânicas, principalmente o CO, dos produtos pós - combustão sejam desprezíveis. O uso de grelhas em fogões à biomassa para a queima da biomassa em leito fixo, produz bons resultados pois os voláteis se desprendem e são queimados sobre o leito e a grelha facilita a divisão do fluxo de ar em:

- *Ar primário* - para a combustão dos resíduos de coque

- Ar secundário - para a combustão de voláteis

A câmara Rocket com grelha exemplifica bem os acessos do ar primário e secundário (Figura A.1). Seguindo umas das recomendações dos princípios de Winiarski para fogões.

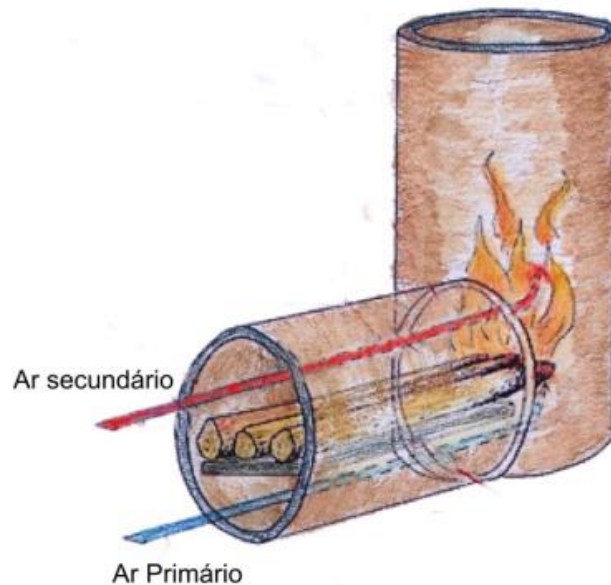


Figura A.1: Ar primário e secundário na camara Rocket

Desenho: Adaptado pelo autor de Baldwin(1986)

Na esquematização do mecanismo de combustão de sólidos detalhado na Figura A.1 estão as indicações das entradas de ar e calor no controle da combustão. Em sistemas no qual o carbono do combustível é queimado formando CO e posteriormente até CO<sub>2</sub>, juntamente com os voláteis, o ar secundário é constituído tipicamente de 83% de ar total. No caso da combustão completa do carbono sobre o leito ou grelha, o ar secundário representa em torno de 67% (NOGUEIRA E LORA, 2003).

A Figura A.2 mostra o esquema do processo de combustão com a fórmula química geral da biomassa (NOGUEIRA E LORA, 2003) e onde se visualiza a formação das espécies relacionadas à temperatura e a entrada de ar primário e secundário e os produtos que são gerados em cada fase.

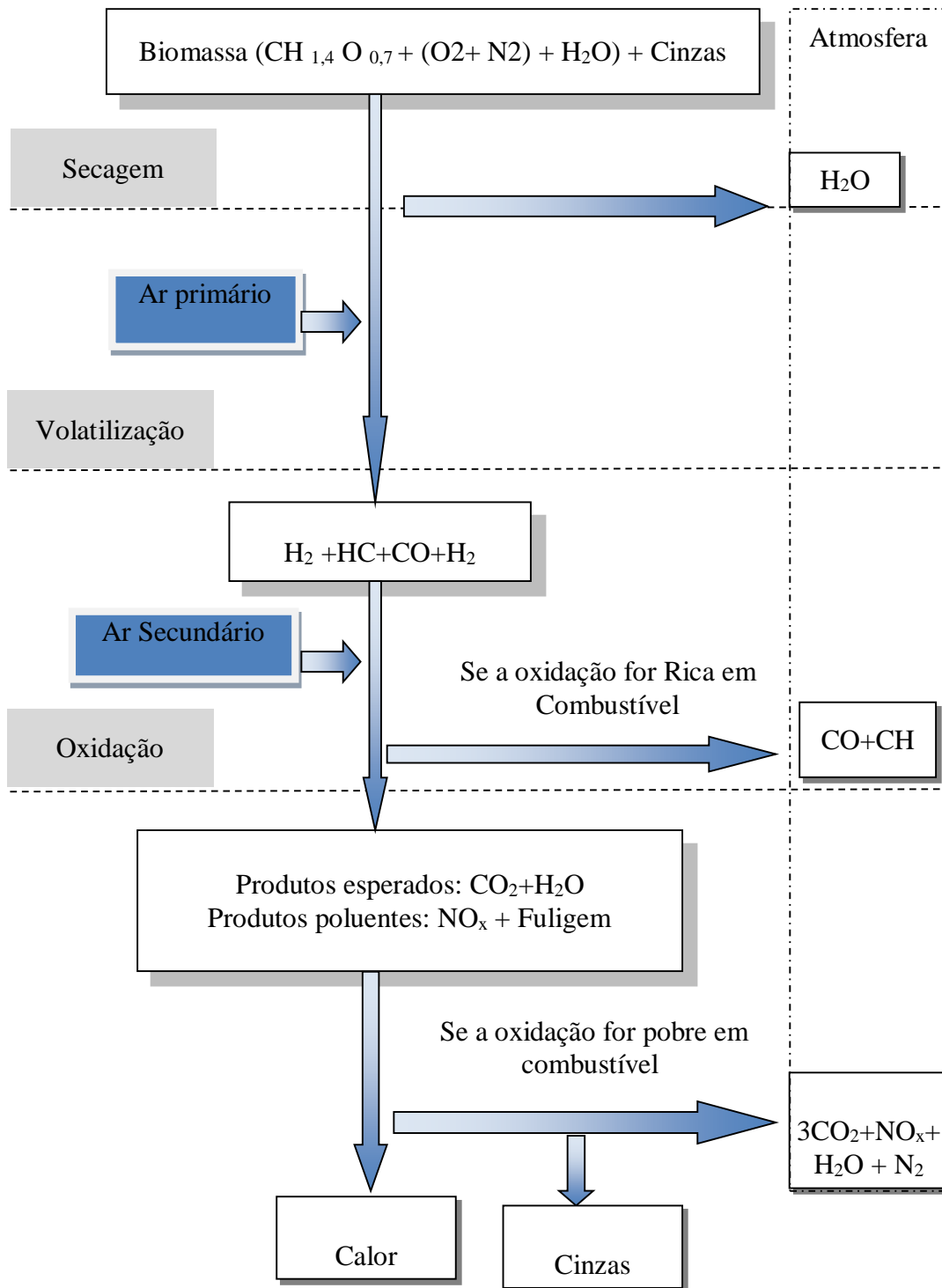


Figura A.2: Esquemática do processo de combustão  
 Fonte: Nogueira e Lora (2003)

Rendeiro et al (2007) esclarecem que para controlar o processo de combustão, é necessário conhecer as massas do oxigênio e do combustível a ser utilizado. São adotados com frequência três parâmetros para determinar a quantidade de ar utilizada na combustão de um dado combustível (CARVALHO JUNIOR E MCQUAY, 2007) :

- Razão ar - combustível;
- Razão de equivalência;
- Excesso de ar;

### 1.3. RAZÃO AR - COMBUSTÍVEL

Esta razão dada pela equação (A.1) que permite conhecer a relação estequiométrica para diversos combustíveis e assim controlar as demandas de energia caso a mistura seja pobre em combustível (com excesso de ar), ou rica em combustível (pobre em ar). Apesar de bastante empregado em plantas de geração de energia só faz sentido se for conhecida a razão ar - combustível estequiométrica para que se possa comparar e então distinguir se a mistura é Rica ou Pobre (RENDEIRO *et al.*, 2008).

$$\lambda = \frac{\text{massa de ar}}{\text{Massa de combustível}} \quad (\text{A.1})$$

### 1.4. RAZÃO DE EQUIVALÊNCIA

A *Razão de Equivalência* definida como a razão ar - combustível dos reagentes pela razão ar - combustível estequiométrica, ou seja, o resultado unitário na equação (A.2).

$$\Phi = \frac{\frac{N_{comb.}}{N_{ar}}}{\left(\frac{N_{comb.}}{N_{ar}}\right)_{estequiométrica}} = \frac{\frac{m_{comb.}}{m_{ar}}}{\left(\frac{m_{comb.}}{m_{ar}}\right)_{estequiométrica}} \quad (\text{A.2})$$

Sendo:

|            |                                |
|------------|--------------------------------|
| $N_{comb}$ | Número de moles do combustível |
| $N_{ar}$   | Número de moles do ar          |
| $m_{comb}$ | Massa do combustível           |
| $m_{ar}$   | Massa do ar                    |

A Razão de Equivalência é determinada se:

$\Phi > 1$  a mistura é **Rica em Combustível**

$\Phi < 1$  a mistura é **Pobre em Combustível**

## 1.5. EXCESSO DE AR

O excesso de ar é determinante na eficiência da combustão. É comumente definido como o percentual acima da quantidade estequiométrica de ar quase sempre necessária para completar as reações do processo real de combustão (CARVALHO JUNIOR E MCQUAY, 2007) o Excesso de Ar é definido matematicamente pela equação (A.3).

$$\alpha = \frac{V_{ar}}{V_{ar}^o} = \frac{m_{ar}}{m_{ar}^o} \quad (\text{A.3})$$

Sendo:

|            |                              |
|------------|------------------------------|
| $V_{ar}$   | Volume de ar                 |
| $V_{ar}^o$ | Volume de ar estequiométrico |
| $m_{ar}$   | Massa de ar                  |
| $m_{ar}^o$ | Massa de ar estequiométrico  |

Na interpretação de Nogueira e Lora (2003) existe um valor ótimo para  $\alpha$  ( $\alpha_{\text{ótimo}}$ ) então se:

- $\alpha_{\text{ótimo}} > \alpha$  ocorre perda de energia pelos gases que saem pela chaminé
- $\alpha_{\text{ótimo}} < \alpha$  a combustão é incompleta e forma CO

A determinação de  $\alpha_{\text{ótimo}}$  depende do combustível, entretanto, Nogueira e Lora (2003) consideram genericamente o  $\alpha_{\text{ótimo}}$  para biomassa quando:

- $\cong 1,2$ , ou 20%, para queima em suspensão
- $\cong 1,3$ , ou 30%, para queima em grelha, onde se enquadram os fogões à lenha

Nas reações de combustão, a formação das espécies  $\text{CO}_2$ ,  $\text{O}_2$  e  $\text{CO}$  são interdependentes, a 3 esquematiza a formação das espécies produtos da combustão. Na figura fica claro a influência da concentração de ar na formação das espécies. Com excesso de ar aumenta a contração de  $\text{O}_2$  e diminui  $\text{CO}_2$ , conseqüentemente, ao passo que com deficiência de ar é formado  $\text{CO}$  e reduz o  $\text{CO}_2$ .

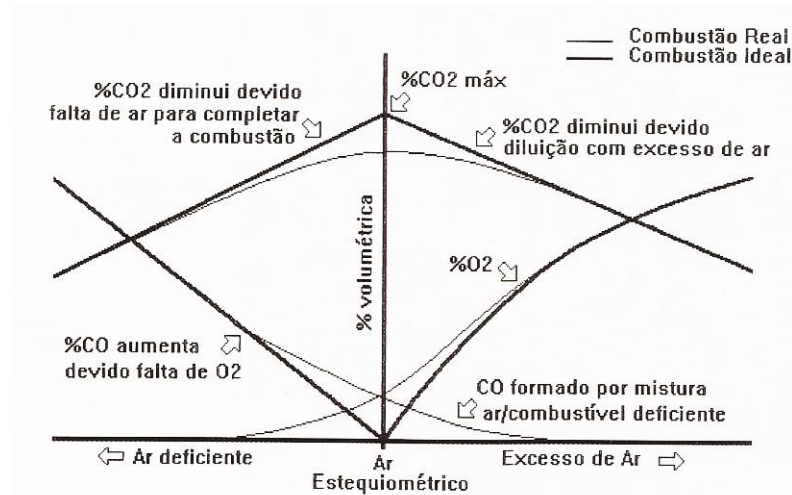


Figura A.3 - Esquema da dinâmica da formação dos gases de combustão  
 Fonte: Nogueira e Lora (2003)

Uma maneira para determinar o excesso de ar é analisando a composição dos produtos da combustão. Quanto mais elevada for a presença do  $O_2$  e quanto menor for a presença  $CO_2$ , maior será o excesso de ar. O projetista de um fogão à biomassa deve buscar soluções técnicas para minimizar a produção de CO e de particulado.

As equações (A.4), (A.5) e (A.6) determinam o excesso de ar empregando parâmetros distintos (Nogueira e Lora, 2003).

$$\alpha = \frac{21}{CO_2} \quad (A.4)$$

$$\alpha = \frac{1}{1 - 0,048O_2} \quad (A.5)$$

$$\alpha = \frac{21}{21 - (O_2 + 0,5CO - 0,5H_2 - 2CH_4)} \quad (A.6)$$

## 1.6. POTÊNCIA

A potência pode ser determinada pelos princípios da primeira lei da termodinâmica, sendo dada pela equação (A.7).

$$P_{nm} = \frac{Q_n}{\Delta t} = \frac{PCI \times m_{bio}}{\Delta t} \quad (A.7)$$

### Parâmetros

|                  |   |
|------------------|---|
| Q <sub>n</sub>   | Quantidade de calor nominal gerado pela biomassa    |
| Δt               | Intervalo de tempo total da operação                |
| PCI              | Poder calorífico da biomassa consumida na combustão |
| m <sub>bio</sub> | Massa de biomassa consumida                         |

Considerando que a potência nominal é aquela fornecida pela biomassa ao fogão e que apenas uma fração será transferida para as painéis, devido às perdas, é necessário determinar a potência medida nas painéis denominada de *Potência Média Útil*, que é dada pela equação (A.8).

$$P_{Um} = \sum_1^n \frac{Q_u}{\Delta t} \quad (A.8)$$

### Sendo:

|                |  |
|----------------|--|
| Q <sub>u</sub> | Calor útil transferido para a água de todas as painéis |
| Δt             | Intervalo de tempo total da operação                   |

O calor útil ( $Q_u$ ) é dado pela equação (A.9) usando como recursos o aquecimento de uma quantidade conhecida de água numa panela, e computando a quantidade de água evaporada.

$$Q_u = m_{\text{água}} \cdot C(T_e - T_i) + m_{\text{evap}} \cdot L \quad (\text{A.9})$$

Sendo:

- $m_{\text{água}}$  Massa de água inicial nas panelas
- $C$  Calor específico da água
- $T_e$  Temperatura de ebulição para a pressão no local
- $T_i$  = Temperatura da água no início do experimento
- $m_{\text{evap}}$  Massa total de água evaporada
- $L$  Calor de vaporização da água, para as condições locais
- $PCI$  Poder calorífico inferior do combustível
- $m_{\text{comb}}$  Massa de combustível

Com este resultado é obtido o rendimento das panelas pela equação (A.10).

$$\eta = \frac{Q_{um}}{Q_{nm}} \cdot 100 = \frac{m_{\text{água}} \cdot C(T_e - T_i) + m_{\text{evap}} \cdot L}{m_{\text{comb}} \cdot PCI^t} \cdot 100 \quad (\text{A.10})$$

O rendimento pelas potências médias, dadas pela equação (A.11).

$$\eta = \frac{P_{um}}{P_{nm}} \cdot 100 = \frac{(m_{\text{água}} \cdot C(T_e - T_i) + m_{\text{evap}} \cdot L) / \Delta t}{(m_{\text{comb}} \cdot PCI^t) / \Delta t} \cdot 100 \quad (\text{A.11})$$

Estes princípios basearam as metodologias de avaliações de fogões, dentre elas a *Water Boiling Test* (WBT) que será tratado oportunamente

O calor latente de vaporização da água ( $L$ ) varia com a temperatura. O calor latente de vaporização da água, expresso em kJ/kg pode ser calculado pela fórmula empírica de Regnault, equação (A.12), no intervalo de temperaturas entre 0 e 200 °C com uma precisão de 0,02% (ALMEIDA, 2004)

$$L = 2538,2 + 2,91 \cdot T \quad (\text{A.12})$$

## 1.7. CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

As propriedades do combustível desempenham papel fundamental na combustão. Para poder avaliar a capacidade energética de uma biomassa é preciso fazer a sua caracterização energética. Que é feita em três grupos de Procedimentos; Determinação do poder Calorífico, a Análise Elementar, e a Análise Imediata.



A determinação do poder calorífico determina a quantidade de energia contida no combustível, que pode ser o poder calorífico superior, PCS, obtido por equipamentos e o poder calorífico inferior, PCI, pode ser calculado após se conhecer a composição química do combustível. O PCI é que é utilizado para dimensionar a potência das plantas térmicas.

A análise elementar quantifica os percentuais em massa dos elementos químicos C, H, O, N, S e o teor de cinza contida no material. A análise imediata determina os teores de umidade, voláteis, carbono fixo e cinzas no material (BARRETO *et al.*, 2008).

## 1.8. DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO SUPERIOR

O Poder Calorífico Superior (PCS) é a quantidade de calor liberada por uma massa de biomassa, em base seca, durante a combustão completa. Esta propriedade é obtida empregando uma bomba calorimétrica, onde a energia da combustão completa da biomassa é transferida para uma massa de água com temperatura controlada. A quantidade de calor absorvido pela água é dada pela equação (A.13). Os procedimentos do ensaio são regidos pelas normas NBR 8633 e ASTM E711.

$$Q = m_{\text{água}} \cdot C \cdot (T_{\text{final}} - T_{\text{inicial}}) \quad (\text{A.13})$$

Sendo:

|                      |                             |
|----------------------|-----------------------------|
| Q                    | Calor absorvido pela água   |
| $m_{\text{água}}$    | Massa da água               |
| C                    | Calor específico da água    |
| $T_{\text{inicial}}$ | Temperatura inicial da água |
| $T_{\text{final}}$   | Temperatura final da água   |

## 1.9. DETERMINAÇÃO DO PODER CALORÍFICO INFERIOR

O poder Calorífico Inferior é calculado depois de conhecido o PCS e a análise elementar da biomassa para que seja calculado pela equação (A.14).

$$PCI = (1 - w_{bu}) \cdot PCS - [9 \cdot h \cdot h_{lv} \cdot (1 - w_{bu})] - w_{bu} \cdot h_{lv} \quad (A.14)$$

Sendo:

|                 |  |
|-----------------|--|
| PCI             | Poder calorífico superior              |
| $w_{bu}$        | Teor de umidade e da biomassa,         |
| h               | Teor de hidrogênio do material seco    |
| h <sub>lv</sub> | Entalpia de vaporização da água à 25°C |

## 1.10. DETERMINAÇÃO DOS TEORES DE UMIDADE

Os procedimentos laboratoriais são regidos pelas normas NBR 8112 e E 871. Para a biomassa ser considerada seca deve ter sido submetida a temperatura de 105°C até apresentar peso constante. A *umidade em base seca* é a relação percentual entre o peso de água livre da amostra de biomassa e o peso da amostra seca, que é calculada pela equação (A.15) e a *umidade em base úmida* é obtida pela equação (A.16) que relaciona o peso de água livre da biomassa, dividido pelo peso da amostra nas condições de campo.

$$\text{Teor de umidade base seca} \quad w_s = \frac{(m_u - m_s)}{m_s} \cdot 100 \quad (A.15)$$

$$\text{Teor de umidade base úmida} \quad w_u = \frac{(m_u - m_s)}{m_u} \cdot 100 \quad (A.16)$$

Sendo:

|       |                            |
|-------|----------------------------|
| $w_s$ | Teor de umidade base seca  |
| $w_u$ | Teor de umidade base úmida |
| $m_u$ | Massa da amostra úmida     |
| $m_s$ | Massa da amostra seca      |

## 1.11. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE CINZAS

As cinzas resultam da combustão de componentes orgânicos e inorgânicos em um forno de mufla que é elevado a 710°C por uma hora, conforme as normas NBR 8112 e D1102. Para determinar o teor de cinzas, utiliza - se a equação (A.17).

$$TC = \frac{m_i - m_{cf}}{m_i} \cdot 100 \quad (A.17)$$

Sendo:

$m_i$       Massa da amostra inicial  
 $m_{cf}$      Massa final da amostra

### 1.11.1 Determinação do teor de carbono fixo

O Teor de carbono fixo é a fração restante da amostra depois que são extraídas as cinzas e a matéria volátil. Os procedimentos são dados pela norma NBR 8112 e o cálculo do teor de carbono é dado pela equação (A.18).

$$T_{CF} = 100 - (Tv - TC) \quad (A.18)$$

Sendo:

TCF    Teor de Carbono Fixo  
Tv     Teor de Voláteis  
Tc     Teor de Cinzas

### 1.11.2 Determinação do teor de voláteis

A queima direta é a tecnologia de conversão mais antiga e mais difundida. Os combustíveis podem ser gasosos, líquidos, ou os sólidos como os resíduos agroindustriais, bagaço de cana, casca de arroz, entretanto o mais usado é a madeira, que é um combustível rico em voláteis, com quase 3/4 de seu peso e de suma importância já que durante o processo de combustão ocorre a degradação da matéria e os voláteis são liberados pelo calor e entram em ignição. Objetivamente todo processo de combustão somente ocorre em fase gasosa e, para tal, é necessário que o combustível sólido gere voláteis e gases (RENDEIRO *et al.*, 2008). A Figura A.2 e a Figura A.4 reproduzem esquematicamente as etapas da combustão de biomassa, destacando a importância dos voláteis nesse processo próprio do que ocorre num fogão à biomassa.

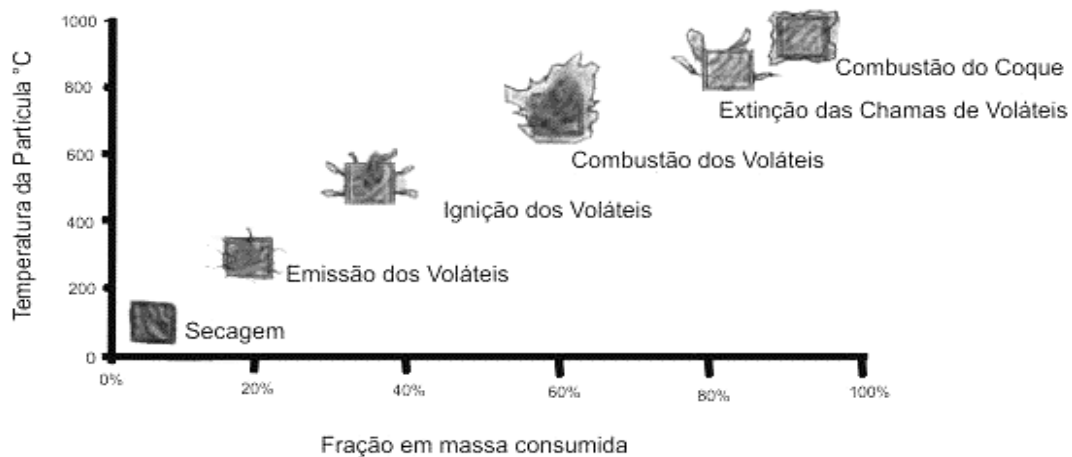


Figura A.4 - Etapas da combustão de madeira

Fonte : Nogueira e Lora (2003)

O teor de voláteis é determinado medindo a fração em massa da biomassa que volatiliza durante o aquecimento de uma amostra padronizada, em atmosfera inerte, até temperaturas de aproximadamente 850°C, num forno mufla por 7 (sete) minutos, conforme os procedimentos são ditados pelas normas NBR 8112 e E872. O teor de voláteis é dado pela equação (A.19).

$$Tv = \frac{(m_i - m_f)}{m_i} \cdot 100 \quad (\text{A.19})$$

Sendo:

- $Tv$  Teor de Voláteis
- $m_i$  Massa inicial da amostra
- $m_f$  Massa do resíduo após o aquecimento

## APÊNDICE 2

### PLANILHAS DO MAGOF

|   |    | Avaliação do Desempenho Especifico do projeto  | Atendimento |       |         |        |
|---|----|--|-------------|-------|---------|--------|
| Atributo  |    | Requisitos de qualidade  | Anotação    | Pleno | Parcial | Negado |
| <b>Projeto</b><br>Avaliação conceitual do produto Avaliação dos procedimentos da manufatura | 1  | O fogão é culturalmente aceito pelos usuários finais   |             |       |         |        |
|   | 2  | A forma do fogão reflete intuitivamente a sua função   |             |       |         |        |
|   | 3  | O fogão atende as necessidades dos usuários finais   |             |       |         |        |
|   | 4  | O fogão tem inovações  |             |       |         |        |
|   | 5  | O fogão emprega tecnologia acessível aos usuários finais   |             |       |         |        |
|   | 6  | O fogão está em conformidade com a legislação do local alvo para produção, comercialização e uso |             |       |         |        |
|   | 7  | A produção e o uso podem ser realizados livremente, mesmo com patentes                           |             |       |         |        |
|   | 8  | O local de manufatura é acessível aos usuários finais  |             |       |         |        |
|   | 9  | No processo de manufatura são empregados materiais acessíveis aos usuários finais                |             |       |         |        |
|   | 10 | No processo de manufatura são empregadas técnicas construtivas acessíveis aos usuários finais    |             |       |         |        |
|   | 11 | A manufatura produz em série   |             |       |         |        |
|   | 12 | O fogão emprega elementos normalizados   |             |       |         |        |
|   | 13 | O transporte do fogão é acessível até os usuários finais   |             |       |         |        |
|   | 14 | O volume e forma das embalagens do fogão facilitam o manuseio até o usuário final                |             |       |         |        |
|   | 15 | A montagem do fogão é acessível aos usuários finais  |             |       |         |        |
|   | 16 | Foram evitados cantos vivos ou pontos que representem perigo para quem manipule o fogão          |             |       |         |        |
|   | 17 | A estrutura do fogão é estável   |             |       |         |        |
|   | 18 | As dimensões do fogão estão dentro da tolerância do projeto                                      |             |       |         |        |
|   | 19 | O acabamento está dentro do padrão estabelecido no projeto                                       |             |       |         |        |
|   | 20 | O processo de manufatura oferece baixo risco à saúde dos construtores                            |             |       |         |        |
| <b>Desempenho do projeto (%)</b>  |    |  |             |       |         |        |

| Avaliação do Desempenho Específico da Funcionalidade |  | Atendimento |  |         |        |  |
|--|--|-------------|--|---------|--------|--|
| Atributo   | Requisitos de qualidade  | Anotação    | Pleno  | Parcial | Negado |  |
| <b>De Funcionalidade</b>                             | Avaliação da usabilidade, e manutenção   | 21          | O fogão permite o uso de múltiplas panelas simultaneamente                               |         |        |  |
|  |  | 22          | O fogão permite que as panelas fiquem bem apoiadas e estáveis                            |         |        |  |
|  |  | 23          | O fogão opera conforme as especificações   |         |        |  |
|  |  | 24          | O fogão opera normalmente dentro das condições exigidas pelo usuário final               |         |        |  |
|  |  | 25          | O fogão permite o uso de panelas de formas e tamanhos diferentes                         |         |        |  |
|  |  | 26          | A instalação do fogão dispensa obras complementares na cozinha                           |         |        |  |
|  |  | 27          | O usuário está protegido do contato acidental com as partes quentes e perigosas do fogão |         |        |  |
|  |  | 28          | A carcaça do fogão atinge menos que 40°C durante a operação                              |         |        |  |
|  |  | 29          | O fogão permaneceu sem avarias pelo menos um ano   |         |        |  |
|  |  | 30          | O combustível utilizado é abundante para os usuários finais                              |         |        |  |
|  |  | 31          | O combustível requer pouca preparação e tratamento para ser utilizado                    |         |        |  |
|  |  | 32          | A alimentação de combustível no fogão é simples e segura                                 |         |        |  |
|  |  | 33          | Os procedimentos de operação são intuitivos, exigindo baixa carga mental                 |         |        |  |
|  |  | 34          | Os procedimentos de operação são seguros para os usuários finais                         |         |        |  |
|  |  | 35          | Os procedimentos de operação são realizados com esforço físico leve (menor que 5kg)      |         |        |  |
|  |  | 36          | As posturas naturais ou neutras predominam nos procedimentos de operação                 |         |        |  |
|  |  | 37          | Os procedimentos de manutenção são intuitivos, exigindo baixa carga mental               |         |        |  |
|  |  | 38          | Os procedimentos de manutenção oferecem baixo risco à saúde aos manipuladores            |         |        |  |
|  |  | 39          | As posturas neutras ou naturais predominam nos procedimentos de manutenção               |         |        |  |
|  |  | 40          | Os procedimentos de manutenção são realizadas com esforço físico leve (menor que 5kg)    |         |        |  |
| 41   | A manutenção requer materiais, ferramentas e técnicas acessíveis aos usuários finais |             |  |         |        |  |
| <b>Desempenho De Funcionalidade (%)</b>              |  |             |  |         |        |  |

| Avaliação do Desempenho Ambiental                   |   |  |             |       |         |        |  |
|---|---|--|-------------|-------|---------|--------|--|
| Atributo  | Requisitos de qualidade   |  | Atendimento |       |         |        |  |
|   |   |  | Anotação    | Pleno | Parcial | Negado |  |
| Ambiental<br>Avaliação de fatores ambientais        | 42  | O material do fogão é reciclável ou biodegradável  |             |       |         |        |  |
|   | 43  | O combustível utilizado é abundante para os usuários finais  |             |       |         |        |  |
|   | 44  | A fonte de biomassa utilizada é legal e manejada   |             |       |         |        |  |
|   | 45  | O fogão tem chaminé  |             |       |         |        |  |
|   | 46  | O ambiente de operação é isento de fumaça, gases de combustão e do material particulado                            |             |       |         |        |  |
|   | 47  | As faces externas das panelas não enegrecem com o uso  |             |       |         |        |  |
|   | 48  | Emissão de CO na fase de fervura do WBT - Ferver 5 litros de água e manter a fervura por 45 minutos                |             |       |         |        |  |
|   |   | Se o fogão não tem chaminé a média é menor que 20g   |             |       |         |        |  |
|   |   | Se o fogão tem chaminé média é menor que 50ppm   |             |       |         |        |  |
|   | 49  | A emissão CO é menor que 5270 ppm para sistemas com potência menores que 0,05MW                                    |             |       |         |        |  |
|   | 50  | Emissão de particulado PM2,5 na fase de fervura do WBT - Ferver 5 litros de água e manter a fervura por 45 minutos |             |       |         |        |  |
| Se o fogão não tem chaminé a média é menos que 1,5g |   |  |             |       |         |        |  |
| Se o fogão tem chaminé a média é menor que 65 µg/m3 |   |  |             |       |         |        |  |
| 51  | A emissão de particulado é 592ppm para sistemas com potências menores que 10 MW |  |             |       |         |        |  |
| <b>Desempenho Ambiental (%)</b>                     |   |  |             |       |         |        |  |

| Avaliação do Desempenho Energético  |  |   |             |       |         |        |
|---|--|---|-------------|-------|---------|--------|
| Atributo  | Requisitos de qualidade                                  |   | Atendimento |       |         |        |
|   |  |   | Anotação    | Pleno | Parcial | Negado |
| Energético<br>Avaliação da eficiência térmica, combustão e transferência de calor | 52   | O isolamento térmico é eficiente  |             |       |         |        |
|   | 53   | O operador controla a intensidade do calor produzido durante a operação                                     |             |       |         |        |
|   | 54   | Os gases da combustão são direcionados para as painéis.   |             |       |         |        |
|   | 55   | O desempenho obtido na fase 3 do WBT está acima de 10% para fogão sem chaminé                               |             |       |         |        |
|   |  | O desempenho obtido na fase 3 do WBT está acima de 20% para fogão com chaminé                               |             |       |         |        |
|   | 56   | Ocorre combustão completa no processo   |             |       |         |        |
|   | 57   | A potência de pelo menos 4 kW durante hora e meia   |             |       |         |        |
|   | 58   | O consumo de biomassa na fase de fervura do WBT - Ferver 5 litros de água e manter a fervura por 45 minutos |             |       |         |        |
|   |  | Se o fogão não tem chaminé consome até de 850 g   |             |       |         |        |
|   | 59   | Se o fogão tem chaminé o consumo é abaixo de 1500 g   |             |       |         |        |
|   | 60   | As cinzas ficam separadas da zona de combustão  |             |       |         |        |
|   | 61   | É mantida uma corrente de ar distribuída por toda biomassa  |             |       |         |        |
|   | 62   | O excesso de ar foi menor que 30 %  |             |       |         |        |
|   | 63   | A transferência de calor é feita numa área máxima do fundo da panela  |             |       |         |        |
|   | 64   | As dimensões da passagem do gás são uniformes da entrada da câmara até a chaminé.                           |             |       |         |        |
| 65  | O fogão emprega grelha para biomassa na câmara combustão |   |             |       |         |        |
| <b>Desempenho energético (%)</b>  |  |   |             |       |         |        |



| Avaliação do Desempenho Energético                                     |                         |   | Atendimento |       |         |        |
|--|-------------------------|---|-------------|-------|---------|--------|
| Atributo   | Requisitos de qualidade |   | Anotação    | Pleno | Parcial | Negado |
| <b>Econômico</b><br>Avaliação de custos<br>referenciando o fogão a gás | <b>66</b>               | O custo de aquisição do fogão é menor ou equivalente a de um fogão a gás que atende as mesmas necessidades dos usuários         |             |       |         |        |
|  | <b>67</b>               | O custo de manufatura é menor ou equivalente a aquisição de um fogão a gás que atende as necessidades dos usuários              |             |       |         |        |
|  | <b>68</b>               | O custo de transporte até os usuários finais é menor ou equivalente a de um fogão a gás que atende as necessidades dos usuários |             |       |         |        |
|  | <b>69</b>               | Os custos de instalação são menores ou equivalentes a de um fogão a gás que atende as mesmas necessidades dos usuários          |             |       |         |        |
|  | <b>70</b>               | O custo de manutenção é menor ou equivalente a de um fogão a gás que atende as mesmas necessidades dos usuários                 |             |       |         |        |
|  | <b>71</b>               | O custo da biomassa é menor ou equivalente a um botijão de gás  |             |       |         |        |
|  | <b>72</b>               | A análise econômica apresenta vantagem sobre o Fogão a gás  |             |       |         |        |
| <b>Desempenho econômico (%)</b>  |                         |   |             |       |         |        |

| Desempenho Global (%) | Atendimento Global |         |        |
|-----------------------|--------------------|---------|--------|
|                       | Pleno              | Parcial | Negado |
|                       |                    |         |        |

## APÊNDICE 3

### RESULTADOS DO WBT

|   |  |
|---|--|
| <b>WATER BOILING TEST - VERSION 4.2.2</b>                               | <b>TEST #</b> WBT-Metálico- Panelas Circulares       |
| <b>All cells are linked to data worksheets, no entries are required</b> |  |
| Stove type/model  | Fogão a Lenha- Metálico                              |
| Location  | Belém-UFPA-LABEM-LabGas                              |
| Fuel description  | Aparas de madeira Hymenaea Courbaril (Jatobá)        |
| Wind conditions   | (Select from list); (Select from list); Light breeze |
| Ambient temperature   | ∓ 25   |

| 1. HIGH POWER TEST (COLD START)      | units    | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Average   | St Dev  | COV   |
|--------------------------------------|----------|--------|--------|--------|-----------|---------|-------|
| Time to boil Pot # 1                 | min      | 139    | 107    | 140    | 128,66667 | 18,8    | 14,6% |
| Temp-corrected time to boil Pot # 1  | min      | 139    | 111    | 149    | 133,1315  | 19,4    | 14,6% |
| Burning rate                         | g/min    | 13     | 17     | 20     | 16,805039 | 3,6     | 21,1% |
| Thermal efficiency                   | %        | 45%    | 31%    | 26%    | 0,339749  | 10%     | 29,0% |
| Specific fuel consumption            | g/liter  | 143    | 127    | 217    | 162,22151 | 47,7    | 29,4% |
| Temp-corrected specific consumption  | g/liter  | 143    | 132    | 230    | 168,59184 | 53,7    | 31,9% |
| Temp-corrected specific energy cons. | kJ/liter | 2.451  | 2.265  | 3.944  | 2886,5704 | 920,2   | 31,9% |
| Firepower                            | watts    | 3.705  | 4.971  | 5.710  | 4795      | 1.013,9 | 21,1% |

| 2. HIGH POWER TEST (HOT START)       | units    | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Average   | St Dev  | COV   |
|--------------------------------------|----------|--------|--------|--------|-----------|---------|-------|
| Time to boil Pot # 1                 | min      | 71     | 85     | 81     | 79        | 7,2     | 9,1%  |
| Temp-corrected time to boil Pot # 1  | min      | 93     | 110    | 106    | 103,20021 | 9,0     | 8,8%  |
| Burning rate                         | g/min    | 12     | 6      | 17     | 11,52699  | 5,5     | 48,0% |
| Thermal efficiency                   | %        | 43%    | 98%    | 26%    | 0,5580073 | 38%     | 67,8% |
| Specific fuel consumption            | g/liter  | 66     | 34     | 115    | 71,605031 | 40,5    | 56,6% |
| Temp-corrected specific consumption  | g/liter  | 86     | 45     | 150    | 93,670577 | 53,2    | 56,8% |
| Temp-corrected specific energy cons. | kJ/liter | 1.480  | 762    | 2.570  | 1603,7948 | 910,3   | 56,8% |
| Firepower                            | watts    | 3.476  | 1.625  | 4.767  | 3289,3514 | 1.579,6 | 48,0% |

| 3. LOW POWER (SIMMER)                | units    | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Average   | St Dev | COV   |
|--------------------------------------|----------|--------|--------|--------|-----------|--------|-------|
| Burning rate                         | g/min    | 18     | 14     | 15     | 15,876797 | 1,8    | 11,1% |
| Thermal efficiency                   | %        | 30%    | 57%    | 30%    | 0,3926481 | 16%    | 39,9% |
| Specific fuel consumption            | g/liter  | 60     | 50     | 64     | 57,993641 | 7,3    | 12,6% |
| Temp-corrected specific energy cons. | kJ/liter | 1.030  | 853    | 1.096  | 992,94682 | 125,6  | 12,6% |
| Firepower                            | watts    | 5.089  | 4.116  | 4.387  | 4530,6159 | 502,6  | 11,1% |
| Turn down ratio                      | --       | 0,73   | 1,21   | 1,30   | 1,0791827 | 0,3    | 28,5% |

| BENCHMARK VALUES (for 5L)          |    | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Average   | St Dev  | COV     |
|------------------------------------|----|--------|--------|--------|-----------|---------|---------|
| Fuel Use Benchmark Value           | g  | 875    | 691    | 1.271  | 945,62424 | 296,4   | 31,3%   |
| Energy Use Benchmark Value         | kJ | 14.978 | 11.832 | 21.762 | 16190,647 | 5.074,9 | 31,3%   |
| Carbon Monoxide Benchmark Value    | g  | 76,5   |        |        | 76,466599 |         |         |
| Particulate Matter Benchmark Value | g  |        |        |        | #DIV/0!   |         | #DIV/0! |

| IWA PERFORMANCE METRICS             | units      | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Average   | St Dev | COV     |
|-------------------------------------|------------|--------|--------|--------|-----------|--------|---------|
| High Power Thermal Efficiency       | %          | 44,1%  | 64,7%  | 25,9%  | 0,4488781 | 19,4%  | 43,2%   |
| Low Power Specific Fuel Consumption | MJ/(min-L) | 0,023  | 0,019  | 0,021  | 0,0211107 | 0,002  | 9,5%    |
| High Power CO                       | g/MJ       | 18,1   |        |        | 18,135576 |        |         |
| Low Power CO                        | g/(min-L)  | 0,028  |        |        | 0,0278203 |        |         |
| High Power PM                       | mg/MJ      |        |        |        | #DIV/0!   |        | #DIV/0! |
| Low Power PM                        | mg/(min-L) |        |        |        | #DIV/0!   |        | #DIV/0! |
| Indoor CO Emissions                 | g/min      | 1,717  |        |        | 1,7165055 |        |         |
| Indoor PM Emissions                 | mg/min     |        |        |        | #DIV/0!   |        | #DIV/0! |

| IWA PERFORMANCE TIERS               | units      | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Average |
|-------------------------------------|------------|--------|--------|--------|---------|
| High Power Thermal Efficiency       | %          | 3      | 4      | 2      | 3       |
| Low Power Specific Fuel Consumption | MJ/(min-L) | 3      | 3      | 3      | 0       |
| High Power CO                       | g/MJ       | 0      | 4      | 4      | NA      |
| Low Power CO                        | g/(min-L)  | 4      | 4      | 4      | NA      |
| High Power PM                       | mg/MJ      | 4      | 4      | 4      | NA      |
| Low Power PM                        | mg/(min-L) | 4      | 4      | 4      | NA      |
| Indoor CO Emissions                 | g/min      | 0      | 4      | 4      | NA      |
| Indoor PM Emissions                 | mg/min     | 4      | 4      | 4      | NA      |

NA = Not Applicable; IWA Performance Tiers are not reported if there are fewer than 3 tests conducted.

| <b>WATER BOILING TEST - VERSION 4.2.2</b>                               |   | <b>TEST #</b> | <b>Metálico-Panela Quadrada</b> |
|---|---|---------------|---------------------------------|
| <b>All cells are linked to data worksheets, no entries are required</b> |   |               |                                 |
| Stove type/model  | Fogão a lenha- modelo Metálico                |               |                                 |
| Location  | Belém-PA-UFGA-LABEM-LabGas                    |               |                                 |
| Fuel description  | Aparas de Madeira Hymenaea Courbaril (Jatobá) |               |                                 |
| Wind conditions   | No wind; No wind; No wind                     |               |                                 |
| Ambient temperature   | 28, 28,5, 29                                  |               |                                 |

| <b>1. HIGH POWER TEST (COLD START)</b> | <b>units</b> | <b>Test 1</b> | <b>Test 2</b> | <b>Test 3</b> | <b>Average</b> | <b>St Dev</b> | <b>COV</b> |
|--|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|------------|
| Time to boil Pot # 1                   | min          | 87            | 103           | 87            | 92,3333333     | 9,2           | 10,0%      |
| Temp-corrected time to boil Pot # 1    | min          | 90            | 104           | 90            | 94,9633875     | 8,2           | 8,6%       |
| Burning rate                           | g/min        | 12            | 10            | 18            | 13,3705384     | 4,3           | 31,8%      |
| Thermal efficiency                     | %            | 61%           | 50%           | 30%           | 0,46898883     | 15%           | 32,8%      |
| Specific fuel consumption              | g/liter      | 86            | 84            | 203           | 124,378731     | 68,1          | 54,8%      |
| Temp-corrected specific consumption    | g/liter      | 89            | 85            | 210           | 128,299635     | 71,0          | 55,4%      |
| Temp-corrected specific energy cons.   | kJ/liter     | 1.530         | 1.460         | 3.601         | 2196,70144     | 1.216,3       | 55,4%      |
| Firepower                              | watts        | 3.374         | 2.885         | 5.187         | 3815           | 1.212,9       | 31,8%      |

| <b>2. HIGH POWER TEST (HOT START)</b> | <b>units</b> | <b>Test 1</b> | <b>Test 2</b> | <b>Test 3</b> | <b>Average</b> | <b>St Dev</b> | <b>COV</b> |
|---------------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|------------|
| Time to boil Pot # 1                  | min          | 15            | 59            | 51            | 41,6666667     | 23,4          | 56,3%      |
| Temp-corrected time to boil Pot # 1   | min          | 19            | 72            | 56            | 48,882924      | 27,4          | 56,0%      |
| Burning rate                          | g/min        | 52            | 12            | 10            | 24,7840676     | 23,3          | 94,1%      |
| Thermal efficiency                    | %            | 66%           | 79%           | 74%           | 0,72996947     | 7%            | 9,2%       |
| Specific fuel consumption             | g/liter      | 68            | 62            | 76            | 68,5731476     | 7,3           | 10,7%      |
| Temp-corrected specific consumption   | g/liter      | 84            | 75            | 84            | 81,0300508     | 5,1           | 6,3%       |
| Temp-corrected specific energy cons.  | kJ/liter     | 1.436         | 1.286         | 1.440         | 1387,36817     | 87,8          | 6,3%       |
| Firepower                             | watts        | 14.752        | 3.521         | 2.944         | 7072,40217     | 6.657,3       | 94,1%      |

| <b>3. LOW POWER (SIMMER)</b>         | <b>units</b> | <b>Test 1</b> | <b>Test 2</b> | <b>Test 3</b> | <b>Average</b> | <b>St Dev</b> | <b>COV</b> |
|--------------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|------------|
| Burning rate                         | g/min        | 18            | 40            | 16            | 24,4625031     | 13,2          | 54,0%      |
| Thermal efficiency                   | %            | 47%           | 21%           | 38%           | 0,35533449     | 13%           | 36,3%      |
| Specific fuel consumption            | g/liter      | 70            | 146           | 102           | 105,769513     | 38,0          | 36,0%      |
| Temp-corrected specific energy cons. | kJ/liter     | 1.197         | 2.494         | 1.742         | 1810,94859     | 651,4         | 36,0%      |
| Firepower                            | watts        | 5.128         | 11.318        | 4.496         | 6980,64027     | 3.769,4       | 54,0%      |
| Turn down ratio                      | --           | 0,66          | 0,25          | 1,15          | 0,68887654     | 0,5           | 65,4%      |

| <b>BENCHMARK VALUES (for 5L)</b>   |    | <b>Test 1</b> | <b>Test 2</b> | <b>Test 3</b> | <b>Average</b> | <b>St Dev</b> | <b>COV</b> |
|------------------------------------|----|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|------------|
| Fuel Use Benchmark Value           | g  | 782           | 1.129         | 1.245         | 1052,17178     | 240,6         | 22,9%      |
| Energy Use Benchmark Value         | kJ | 13.398        | 19.335        | 21.312        | 18014,9169     | 4.119,2       | 22,9%      |
| Carbon Monoxide Benchmark Value    | g  | 178,0         | 75,2          | 70,1          | 107,769068     | 60,9          | 56,5%      |
| Particulate Matter Benchmark Value | g  |               |               |               | #DIV/0!        |               | #DIV/0!    |

| <b>IWA PERFORMANCE METRICS</b>      | <b>units</b> | <b>Test 1</b> | <b>Test 2</b> | <b>Test 3</b> | <b>Average</b> | <b>St Dev</b> | <b>COV</b> |
|-------------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|---------------|------------|
| High Power Thermal Efficiency       | %            | 63,1%         | 64,4%         | 52,3%         | 0,59947915     | 6,6%          | 11,1%      |
| Low Power Specific Fuel Consumption | MJ/(min-L)   | 0,027         | 0,061         | 0,034         | 0,04052773     | 0,018         | 44,4%      |
| High Power CO                       | g/MJ         | 12,4          | 2,4           | 10,5          | 8,4422338      | 5,3           | 62,9%      |
| Low Power CO                        | g/(min-L)    | 0,571         | 0,323         | 0,068         | 0,32089569     | 0,252         | 78,4%      |
| High Power PM                       | mg/MJ        |               |               |               | #DIV/0!        |               | #DIV/0!    |
| Low Power PM                        | mg/(min-L)   |               |               |               | #DIV/0!        |               | #DIV/0!    |
| Indoor CO Emissions                 | g/min        | 6,608         | 3,611         | 1,215         | 3,81128851     | 2,702         | 70,9%      |
| Indoor PM Emissions                 | mg/min       |               |               |               | #DIV/0!        |               | #DIV/0!    |

| <b>IWA PERFORMANCE TIERS</b>        | <b>units</b> | <b>Test 1</b> | <b>Test 2</b> | <b>Test 3</b> | <b>Average</b> |
|-------------------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|----------------|
| High Power Thermal Efficiency       | %            | 4             | 4             | 4             | 4              |
| Low Power Specific Fuel Consumption | MJ/(min-L)   | 3             | 0             | 2             | 0              |
| High Power CO                       | g/MJ         | 1             | 4             | 2             | 0              |
| Low Power CO                        | g/(min-L)    | 0             | 0             | 4             | 4              |
| High Power PM                       | mg/MJ        | 4             | 4             | 4             | NA             |
| Low Power PM                        | mg/(min-L)   | 4             | 4             | 4             | NA             |
| Indoor CO Emissions                 | g/min        | 0             | 0             | 0             | 4              |
| Indoor PM Emissions                 | mg/min       | 4             | 4             | 4             | NA             |

NA = Not Applicable; IWA Performance Tiers are not reported if there are fewer than 3 tests conducted.

|   |   |
|---|---|
| <b>WATER BOILING TEST - VERSION 4.2.2</b>                               | <b>TEST #</b> Fogueiro- Pannelas Cii          |
| <b>All cells are linked to data worksheets, no entries are required</b> |   |
| Stove type/model  | Fogueiro com boca de barro                    |
| Location  | Belém-UFPA-LABEM-LabGas                       |
| Fuel description  | Aparas de madeira Hymenaea Courbaril (Jatobá) |
| Wind conditions   | No wind; (Select from list); Light breeze     |
| Ambient temperature   | 25  |

| 1. HIGH POWER TEST (COLD START)      | units    | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Average   | St Dev  | COV   |
|--------------------------------------|----------|--------|--------|--------|-----------|---------|-------|
| Time to boil Pot # 1                 | min      | 60     | 60     | 65     | 61,666667 | 2,9     | 4,7%  |
| Temp-corrected time to boil Pot # 1  | min      | 62     | 62     | 66     | 63,19706  | 2,3     | 3,7%  |
| Burning rate                         | g/min    | 8      | 8      | 8      | 8,0591803 | 0,3     | 3,6%  |
| Thermal efficiency                   | %        | 8%     | 8%     | 11%    | 0,0911999 | 1%      | 14,4% |
| Specific fuel consumption            | g/liter  | 613    | 560    | 786    | 653,13312 | 118,3   | 18,1% |
| Temp-corrected specific consumption  | g/liter  | 630    | 579    | 797    | 668,71096 | 113,9   | 17,0% |
| Temp-corrected specific energy cons. | kJ/liter | 10.784 | 9.919  | 13.645 | 11449,435 | 1.949,7 | 17,0% |
| Firepower                            | watts    | 2.325  | 2.207  | 2.367  | 2300      | 83,5    | 3,6%  |

| 2. HIGH POWER TEST (HOT START)       | units    | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Average   | St Dev  | COV   |
|--------------------------------------|----------|--------|--------|--------|-----------|---------|-------|
| Time to boil Pot # 1                 | min      | 35     | 55     | 50     | 46,666667 | 10,4    | 22,3% |
| Temp-corrected time to boil Pot # 1  | min      | 40     | 62     | 57     | 53,046578 | 11,3    | 21,2% |
| Burning rate                         | g/min    | 14     | 9      | 6      | 9,7526227 | 3,6     | 37,3% |
| Thermal efficiency                   | %        | 10%    | 10%    | 18%    | 0,12621   | 5%      | 38,6% |
| Specific fuel consumption            | g/liter  | 638    | 723    | 441    | 600,87223 | 144,5   | 24,1% |
| Temp-corrected specific consumption  | g/liter  | 737    | 814    | 501    | 684,06209 | 162,8   | 23,8% |
| Temp-corrected specific energy cons. | kJ/liter | 12.611 | 13.940 | 8.586  | 11712,272 | 2.787,7 | 23,8% |
| Firepower                            | watts    | 3.864  | 2.692  | 1.792  | 2783,0166 | 1.038,8 | 37,3% |

| 3. LOW POWER (SIMMER)                | units    | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Average   | St Dev  | COV   |
|--------------------------------------|----------|--------|--------|--------|-----------|---------|-------|
| Burning rate                         | g/min    | 9      | 5      | 4      | 5,8742112 | 2,9     | 48,9% |
| Thermal efficiency                   | %        | 9%     | 7%     | 23%    | 0,1317348 | 9%      | 66,9% |
| Specific fuel consumption            | g/liter  | 868    | 364    | 350    | 527,41672 | 295,4   | 56,0% |
| Temp-corrected specific energy cons. | kJ/liter | 14.868 | 6.226  | 5.996  | 9030,2445 | 5.057,1 | 56,0% |
| Firepower                            | watts    | 2.588  | 1.441  | 999    | 1676,2698 | 820,1   | 48,9% |
| Turn down ratio                      | --       | 0,90   | 1,53   | 2,37   | 1,5994357 | 0,7     | 46,1% |

| BENCHMARK VALUES (for 5L)          |    | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Average   | St Dev   | COV     |
|------------------------------------|----|--------|--------|--------|-----------|----------|---------|
| Fuel Use Benchmark Value           | g  | 7.758  | 5.302  | 4.997  | 6019,0162 | 1.513,6  | 25,1%   |
| Energy Use Benchmark Value         | kJ | #####  | 90.779 | 85.558 | 103055,49 | 25.916,1 | 25,1%   |
| Carbon Monoxide Benchmark Value    | g  | 481,6  |        |        | 481,59393 |          |         |
| Particulate Matter Benchmark Value | g  |        |        |        | #DIV/0!   |          | #DIV/0! |

| IWA PERFORMANCE METRICS             | units      | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Average   | St Dev | COV     |
|-------------------------------------|------------|--------|--------|--------|-----------|--------|---------|
| High Power Thermal Efficiency       | %          | 9,2%   | 9,0%   | 14,4%  | 0,108705  | 3,1%   | 28,4%   |
| Low Power Specific Fuel Consumption | MJ/(min-L) | 0,330  | 0,138  | 0,133  | 0,2006721 | 0,112  | 56,0%   |
| High Power CO                       | g/MJ       | 72,6   |        |        | 72,555282 |        |         |
| Low Power CO                        | g/(min-L)  | 0,400  |        |        | 0,3999212 |        |         |
| High Power PM                       | mg/MJ      |        |        |        | #DIV/0!   |        | #DIV/0! |
| Low Power PM                        | mg/(min-L) |        |        |        | #DIV/0!   |        | #DIV/0! |
| Indoor CO Emissions                 | g/min      | 1,639  |        |        | 1,6391083 |        |         |
| Indoor PM Emissions                 | mg/min     |        |        |        | #DIV/0!   |        | #DIV/0! |

| IWA PERFORMANCE TIERS               | units      | Test 1 | Test 2 | Test 3 | Average |
|-------------------------------------|------------|--------|--------|--------|---------|
| High Power Thermal Efficiency       | %          | 0      | 0      | 0      | 0       |
| Low Power Specific Fuel Consumption | MJ/(min-L) | 0      | 0      | 0      | 4       |
| High Power CO                       | g/MJ       | 0      | 4      | 4      | NA      |
| Low Power CO                        | g/(min-L)  | 0      | 4      | 4      | NA      |
| High Power PM                       | mg/MJ      | 4      | 4      | 4      | NA      |
| Low Power PM                        | mg/(min-L) | 4      | 4      | 4      | NA      |
| Indoor CO Emissions                 | g/min      | 0      | 4      | 4      | NA      |
| Indoor PM Emissions                 | mg/min     | 4      | 4      | 4      | NA      |

NA = Not Applicable; IWA Performance Tiers are not reported if there are fewer than 3 tests conducted.