



Bruno Filipe Cardoso Marques **Análise e melhoria das emissões de uma câmara de combustão de um recuperador a lenha**



Bruno Filipe Cardoso Marques **Análise e melhoria das emissões de uma câmara de combustão de um recuperador a lenha**

Relatório de Estágio apresentado à Universidade de Aveiro para cumprimento dos requisitos necessários à obtenção do grau de Mestre em Engenharia Mecânica, realizada sob a orientação científica do Doutor Professor Fernando José Neto da Silva, Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro e co-orientação do Doutor Professor Luís António da Cruz Tarelho, Professor Associado do Departamento de Ambiente e Ordenamento da Universidade de Aveiro.

Este trabalho teve o apoio financeiro dos projetos UIDB/00481/2020 e UIDP/00481/2020 - FCT - Fundação para Ciência e Tecnologia; e CENTRO-01-0145-FEDER-022083 - Programa Operacional Regional do Centro (Centro2020), no âmbito do Acordo de Parceria Portugal 2020, através do Fundo Europeu de Desenvolvimento Regional.

o júri

Presidente

Prof^a. Doutora Margarida Isabel Cabrita Marques Coelho

Professor Auxiliar c/ Agregação do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Vogal

Doutor Daniel Torrão Pio

Técnico Superior de I&D, The Navigator Company

Vogal

Prof. Doutor Fernando José Neto da Silva

Professor Auxiliar do Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Aveiro

Agradecimentos

À minha família, pai, mãe, irmão e avós pelo carinho, motivação e apoio que demonstram e demonstraram desde sempre e por me proporcionarem a oportunidade de frequentar o ensino superior.

Ao Professor Doutor Fernando José Neto da Silva pelos conhecimentos transmitidos ao longo do percurso académico especialmente durante a realização deste trabalho.

Ao Professor Doutor Luís António da Cruz Tarelho pelos conhecimentos transmitidos durante a realização deste trabalho.

A toda a organização Solzaima e especialmente ao Engenheiro Rui Soares pelo conhecimento transmitido e por proporcionar a oportunidade de realizar este trabalho.

À equipa do Gabinete de Desenvolvimento da Solzaima constituída pelos Engenheiros Alexandre Pires, Augusto Tavares, David Rodrigues, Inês Martins, Márcio Duarte, Marco Santiago e Pedro Sousa por me proporcionarem uma excelente integração na equipa, pelo conhecimento transmitido e pelos bons momentos passados.

Ao André Rafeiro, David Silva, Pedro Santos, Ruben Lopes e Rui Oliveira pela amizade, apoio e pelos bons momentos passados ao longo destes anos.

Aos companheiros de curso, professores e todos que, direta ou indiretamente, contribuíram para o meu desenvolvimento pessoal e intelectual.

Muito Obrigado,

Bruno Marques

palavras-chave

Biomassa, Combustão, Recuperador de Calor, Aquecimento Local, Emissões

resumo

No desenvolvimento do presente trabalho foram analisadas especificidades presentes na norma europeia prEN16510-1:2013 relativas aos procedimentos de ensaio para recuperadores de calor para aquecimento local.

Foram estudados alguns recuperadores de calor que se encontram já presentes no mercado, alguns dos quais anunciados como cumpridores dos requisitos exigidos pelo Ecodesign que vigorarão a partir de 1 de janeiro de 2022. Foram submetidos dois destes recuperadores a ensaios no laboratório interno da Solzaima para uma análise mais profunda à sua performance.

Ao longo do trabalho foi desenvolvido e construído um protótipo de uma câmara de combustão cujo objetivo é ser comum a vários modelos das marcas pertencentes à Solzaima.

O protótipo foi submetido a ensaios laboratoriais para averiguar a potência térmica, a eficiência energética e a quantidade de poluentes emitidos durante o funcionamento da mesma.

A configuração inicial do protótipo sofreu alterações no modo como o ar é fornecido à combustão de modo a serem ultrapassadas as perdas de carga detetadas ao longo dos canais, que foram detetadas durante a realização dos ensaios. Pretendia-se atingir os requisitos de performance quanto à eficiência energética e às emissões de monóxido de carbono, compostos orgânicos gasosos, óxidos de azoto e partículas estipulados para o cumprimento dos requisitos de Ecodesign.

keywords

Biomass, Combustion, Heat Recover, Local Heating, Emissions

abstract

In the development of this work, specificities present in the European standard prEN16510-1:2013 were analysed regarding the test procedures for heat recuperators for local heating.

Some wood stoves already on the market were studied, some of which were announced as meeting the requirements demanded by Ecodesign, effective from January 1, 2022. Two of these competitor wood stoves were submitted to tests in Solzaima's internal laboratory for a deeper analysis of their performance.

During the work, a prototype of a combustion chamber was developed and built, whose objective is to be used in several models of the brands belonging to Solzaima.

The prototype was subjected to laboratory tests to ascertain the thermal power, energy efficiency and the amount of pollutants emitted during its operation.

The initial configuration of the prototype underwent some changes during the tests, until the performance objectives stipulated for the fulfillment of the Ecodesign requirements were reached.

The initial configuration of the prototype underwent some changes in the way air is supplied to combustion process in order to overcome the pressure losses detected along the air channels, which were detected during the test. It was intended to achieve the performance requirements regarding energy efficiency and emissions of carbon monoxide, organic gaseous compounds, nitrogen oxides and particulates stipulated to comply with Ecodesign requirements.

Índice

i. Lista de Figuras.....	iv
ii. Lista de tabelas	viii
iii. Lista de símbolos e abreviaturas.....	ix
1 Introdução.....	1
1.1 Estrutura do trabalho	1
1.2 Enquadramento	1
1.3 Objetivos.....	2
1.4 Solzaima	2
2 Conceitos sobre a combustão de madeira	5
2.1 Biomassa como fonte de energia renovável.....	5
2.2 Composição típica dos combustíveis à base de madeira.....	5
2.3 Processo de combustão de lenha.....	6
2.3.1 Secagem do combustível.....	6
2.3.2 Pirólise	7
2.3.3 Combustão do carvão residual.....	7
2.3.4 Combustão intermitente e combustão contínua	8
2.4 Fatores que influenciam a combustão de biomassa	8
2.4.1 Teor de humidade do combustível	8
2.4.2 Temperatura de combustão.....	8
2.4.3 Fornecimento de ar para a combustão	9
2.4.4 Distribuição de ar	9
2.5 Formação de poluentes	10
3 Regulamentação europeia	11
3.1 Requisitos de conceção ecológica para equipamentos de aquecimento local que utilizam combustível sólido	11
3.2 Norma europeia EN16510-1:2013.....	12

3.2.1	Requisitos de performance em relação ao design, construção e materiais utilizados	13
4	Análise de Benchmarking	17
4.1	Conceito de Benchmarking.....	17
4.2	Benchmarking Competitivo	17
4.3	Modelos de base utilizados.....	22
4.3.1	Bosca Eco 380.....	22
4.3.2	Panadero Vera	24
5	Desenvolvimento do protótipo da câmara de combustão.....	27
5.1	Materiais e Processos de fabrico utilizados	27
5.1.1	Materiais utilizados	27
5.1.2	Processos de fabrico - materiais metálicos	29
5.1.3	Processos de fabrico - materiais cerâmicos	35
5.2	Características do protótipo desenvolvido.....	36
5.2.1	Corpo da câmara de combustão.....	36
5.2.2	Controlo e fornecimento de ar para a combustão	37
5.2.3	Porta de acesso ao interior da câmara de combustão	42
5.2.4	Dissipadores de calor	44
5.2.5	Capas exteriores.....	44
5.3	Documentação auxiliar à produção	46
6	Metodologia	47
6.1	Metodologia segundo a norma EN16510-1:2013.....	47
6.1.1	Ambiente de teste	47
6.1.2	Secção de medição.....	47
6.1.3	Medição da temperatura dos gases de combustão.....	48
6.1.4	Amostragem dos gases de escape.....	48
6.1.5	Medição da pressão estática na saída dos gases de escape	49

6.1.6	Equipamentos de medição.....	49
6.1.7	Procedimentos de ensaio.....	50
6.1.8	Ensaio de performance à potência nominal.....	51
6.1.9	Métodos de cálculo.....	52
6.1.10	Medição de partículas.....	55
6.2	Metodologia utilizada.....	56
6.2.1	Potência térmica útil esperada.....	57
7	Resultados e análise de resultados.....	59
7.1	Equipamentos concorrentes.....	59
7.1.1	Bosca Eco 380.....	59
7.1.2	Panadero Vera.....	61
7.2	Protótipo desenvolvido.....	64
7.2.1	Primeira série de ensaios.....	65
7.2.2	Segunda série de ensaios.....	67
7.2.3	Terceira série de ensaios.....	71
7.2.4	Quarta série de ensaios.....	72
7.2.5	Quinta série de ensaios.....	74
7.2.6	Sexta série de ensaios.....	75
8	Conclusões.....	77
9	Referências.....	79
10	Anexos.....	83
	Anexo I – Instruções de Quinagem.....	83
	Anexo II – Instruções de corte.....	92
	Anexo III – Instrução de soldadura.....	96
	Anexo IV – Equipamento do laboratório interno da Solzaima.....	119

i. Lista de Figuras

Capítulo 4

FIGURA 1 - RECUPERADOR DE CALOR BOSCA ECO 380	22
FIGURA 2 - DEFLETORA DE FUMOS METÁLICA E OCA DO RECUPERADOR BOSCA ECO 380.	22
FIGURA 3 - REGULADOR DO AR PARA O VARRIMENTO DO VIDRO DO RECUPERADOR BOSCA ECO 380	23
FIGURA 4 - RECUPERADOR DE CALOR PANADERO VERA/DANA	24
FIGURA 5 - MANÍPULO DE REGULAÇÃO DAS ENTRADAS DE AR. PANADERO VERA	24
FIGURA 6 - POSIÇÃO MÁXIMA DO MANÍPULO DE REGULAÇÃO DAS ENTRADAS DE AR. PANADERO VERA.....	25
FIGURA 7 - POSIÇÃO MÍNIMA DO MANÍPULO DE REGULAÇÃO DAS ENTRADAS DE AR. PANADERO VERA.	25
FIGURA 8 - DEFLETORA DE FUMOS. PANADERO VERA	26

Capítulo 5

FIGURA 9 - CHAPA DE AÇO S235JR, DENOMINADA DE CHAPA NEGRA.	28
FIGURA 10 - PLACA DE VERMICULITE	28
FIGURA 11 – ESQUEMATIZAÇÃO DO PROCESSO DE CORTE POR FEIXE DE LASER. [12].....	29
FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PROCESSO DE CORTE COM LASER DE CO2. [12]	30
FIGURA 13 - QUINADORA ADIRA. CHÃO DE FÁBRICA SOLZAIMA.	32
FIGURA 14 - EXEMPLO DE QUINAGEM DE UMA PEÇA.	32
FIGURA 15 - CALANDRA. CHÃO DE FÁBRICA SOLZAIMA.	33
FIGURA 16 - SOLDADURA MIG.	34
FIGURA 17 - ROBOT DE SOLDADURA. CHÃO DE FÁBRICA DA SOLZAIMA.	35
FIGURA 18 - CANTO DA PORTA DE UMA SALAMANDRA APÓS UM PROCESSO DE ACABAMENTO.	35
FIGURA 19 - PARTE DO CORPO DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	36
FIGURA 20 - PARTE DO CORPO DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	37
FIGURA 21 - DAMPER TIPO GUILHOTINA DA ECOTECH GTS.....	38
FIGURA 22 - CIRCULAÇÃO DE GASES ESPERADA DURANTE A FASES DE ARRANQUE.	39
FIGURA 23 - CIRCULAÇÃO DE GASES ESPERADA DURANTE O RESTANTE FUNCIONAMENTO DO RECUPERADOR.	39
FIGURA 24 - MAQUETE DO MECANISMO DE REGULAÇÃO DAS ENTRADAS DE AR.	40
FIGURA 25 - GRELHA DE CINZAS	41
FIGURA 26 - PERFIL OBTIDO PARA ALOCAR O CORDÃO DE VEDAÇÃO DA PORTA.....	43
FIGURA 27 - FECHAMENTO DOS CANTOS DA PORTA COM CORDÃO DE SOLDA.....	43
FIGURA 28 - PINO PARA GUIA DA ROTAÇÃO DA PORTA	44
FIGURA 29 - RASGOS NAS CAPAS LATERAIS DO PROTÓTIPO	45
FIGURA 30 - PROTÓTIPO DO RECUPERADOR DE CALOR DESENVOLVIDO.....	45

Capítulo 6

FIGURA 31 – DISPOSIÇÃO GERAL E DIMENSÕES A TER CONTA PARA A SECÇÃO DE MEDIÇÃO. [21]	48
FIGURA 32 – TOLERÂNCIAS LIMITE PARA OS EQUIPAMENTOS DE MEDIÇÃO UTILIZADOS. [21].....	49

FIGURA 33 – DURAÇÕES MÍNIMA PARA UM ENSAIO E NÚMERO MÍNIMO DE ENSAIOS A REALIZAR. [22]	51
FIGURA 34 – REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO PROCESSO DE AMOSTRAGEM E ANÁLISE DE EMISSÕES DE NOx. [21]	54
FIGURA 35 - PREPARAÇÃO DO PROTÓTIPO PARA ENSAIO LABORATORIAL CONFORME INDICADO PELA NORMA EN16510-1	56

Capítulo 7

FIGURA 36 - NOVA CHAPA PARA REGULAR A ABERTURA DA ENTRADA DE AR PARA A COMBUSTÃO SECUNDÁRIA	64
FIGURA 37 - CONFIGURAÇÃO INICIAL COM 2 TOROS DE 25CM.	65
FIGURA 38 - ALTERAÇÃO EFETUADA NA DEFLETORA DO VIDRO. AUMENTO DE 30MM.	67
FIGURA 39 - PERDAS DE CARGA IDENTIFICADAS NO ESCOAMENTO DO AR CANALIZADO PARA O VARRIMENTO DO VIDRO.	69
FIGURA 40 - CÂMARA DE COMBUSTÃO ANTES DA COLOCAÇÃO DO SEGUNDO CANAL.	69
FIGURA 41 - SEGUNDO CANAL PARA DIRECIONAMENTO DO AR PARA O VARRIMENTO DO VIDRO.	70
FIGURA 42 - ABERTURA DE UMA SEGUNDA ENTRADA PARA FORNECIMENTO DE AR PARA O VARRIMENTO DO VIDRO.	70
FIGURA 43 - CONFIGURAÇÃO FINAL DA CÂMARA DE COMBUSTÃO APÓS A COLOCAÇÃO DO SEGUNDO CANAL.....	70
FIGURA 44 - ALARGAMENTO DA ÁREA DE PASSAGEM DA ÁREA PARA O VARRIMENTO DO VIDRO.	72
FIGURA 45 - CONFIGURAÇÃO DE CARGA DE COMBUSTÍVEL COM 3 TOROS.	72

Anexo I

FIGURA 46 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-001 - v4	83
FIGURA 47 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-002 - v4	84
FIGURA 48 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-003 - GLH CNZ	84
FIGURA 49 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-007	85
FIGURA 50 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-008 - v4	85
FIGURA 51 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-009 - v5	86
FIGURA 52 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-010	86
FIGURA 53 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-011 - v4	87
FIGURA 54 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-012 - v4	87
FIGURA 55 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-015 - v12	88
FIGURA 56 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-034 - v4	88
FIGURA 57 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-035 - v2	89
FIGURA 58 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-043	89
FIGURA 59 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-044 - v2	90
FIGURA 60 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-045 - v2	90
FIGURA 61 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-049	91
FIGURA 62 - INSTRUÇÃO DE QUINAGEM. COMPONENTE P0294-051 - v2	91

Anexo II

FIGURA 63 - INSTRUÇÃO DE CORTE DA PLACA DE VERMICULITE DA DEFLETORA.	92
FIGURA 64 - INSTRUÇÃO DE CORTE DA PLACA DE VERMICULITE DAS COSTAS DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	93
FIGURA 65 - INSTRUÇÃO DE CORTE DAS PLACAS DE VERMICULITE DAS LATERAIS DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	94

FIGURA 66 - INSTRUÇÃO DE CORTE DO VIDRO DA PORTA.	95
--	----

Anexo III

FIGURA 67 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA. LISTAGEM DOS COMPONENTES.....	96
FIGURA 68 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA. DIMENSÕES GERIAS DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	96
FIGURA 69 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	97
FIGURA 70 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	97
FIGURA 71 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	98
FIGURA 72 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	98
FIGURA 73 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	99
FIGURA 74 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	99
FIGURA 75 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	100
FIGURA 76 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	100
FIGURA 77 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	101
FIGURA 78 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	101
FIGURA 79 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	102
FIGURA 80 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	102
FIGURA 81 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	103
FIGURA 82 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	103
FIGURA 83 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	104
FIGURA 84 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	104
FIGURA 85 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	105
FIGURA 86 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	105
FIGURA 87 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	106
FIGURA 88 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	106
FIGURA 89 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	107
FIGURA 90 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	107
FIGURA 91 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	108
FIGURA 92 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	108
FIGURA 93 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	109
FIGURA 94 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	109
FIGURA 95 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	110
FIGURA 96 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	110
FIGURA 97 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	111
FIGURA 98 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	111
FIGURA 99 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.....	112
FIGURA 100 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	112

FIGURA 101 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	113
FIGURA 102 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	113
FIGURA 103 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	114
FIGURA 104 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	114
FIGURA 105 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	115
FIGURA 106 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	115
FIGURA 107 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	116
FIGURA 108 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	116
FIGURA 109 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	117
FIGURA 110 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	117
FIGURA 111 - INSTRUÇÃO DE SOLDADURA DA CÂMARA DE COMBUSTÃO.	118

Anexo IV

FIGURA 112 - MODELO 4900 CONTINUOUS EMISSION ANALYSER DA SERVOMEX.	119
FIGURA 113 - MODELO SERVOPRO 4900 CONTINUOUS EMISSIONS DA SERVOMEX.....	119
FIGURA 114 - MODELO THERMO-FID ES DA SK- ELETRONICS.	120
FIGURA 115 - ANALISADOR DE EMISSÃO DE PARTÍCULAS TESTO 300-2L E RESPECTIVO CONJUNTO TESTO 380.....	120
FIGURA 116 - Sonda de sucção, termopar e linha de transporte de amostras de gases de combustão da JCT ANALYSENTECHNIK GMBH.....	121
FIGURA 117 - MEDIDOR DA HUMIDADE DO COMBUSTÍVEL MODELO HF550 DA WOHLER.	121

ii. Lista de tabelas

TABELA 1 - REQUISITOS PARA EQUIPAMENTOS DE AQUECIMENTO LOCAL A COMBUSTÍVEL SÓLIDO LENHOSO NÃO PELLET, [11]...	12
TABELA 2 - RESUMO DA ANÁLISE BENCHMARKING DE EQUIPAMENTOS CONCORRENTES	18
TABELA 3 - RESUMO DA ANÁLISE BENCHMARKING DE EQUIPAMENTOS CONCORRENTES	19
TABELA 4 - RESUMO DA ANÁLISE BENCHMARKING DE EQUIPAMENTOS CONCORRENTES	20
TABELA 5 - RESUMO DA ANÁLISE BENCHMARKING DE EQUIPAMENTOS CONCORRENTES	21
TABELA 6 – RESULTADOS OBTIDOS NA PRIMEIRA SÉRIE DE ENSAIOS COM O RECUPERADOR BOSCA ECO 380	59
TABELA 7 - RESULTADOS OBTIDOS NA SEGUNDA SÉRIE DE ENSAIOS COM O RECUPERADOR BOSCA ECO 380.....	61
TABELA 8 - RESULTADOS OBTIDOS NA PRIMEIRA SÉRIE DE ENSAIOS COM O RECUPERADOR PANADERO VERA	62
TABELA 9 - RESULTADOS OBTIDOS NA SEGUNDA SÉRIE DE ENSAIOS COM O RECUPERADOR PANADERO VERA	63
TABELA 10 - RESULTADOS DA PRIMEIRA SÉRIE DE ENSAIOS	66
TABELA 11 – RESULTADOS DA SEGUNDA SÉRIE DE ENSAIOS	68
TABELA 12 - RESULTADOS DA TERCEIRA SÉRIE DE ENSAIOS	71
TABELA 13 - RESULTADOS DA QUARTA SÉRIE DE ENSAIOS	73
TABELA 14 - RESULTADOS DA QUINTA SÉRIE DE ENSAIOS.	74
TABELA 15 - RESULTADOS DA SEXTA SÉRIE DE ENSAIOS.	75

iii. Lista de símbolos e abreviaturas

Acrónimos

C – Carbono

CAD – Desenho assistido por computador. *Computer Aided Design* na língua inglesa

CNC – Controlo numérico por computador

CO – Monóxido de carbono

CO₂ – Dióxido de carbono

COG – Compostos orgânicos gasosos. OGC na língua inglesa

COV – Compostos orgânicos voláteis

EE – Eficiência Energética [%]

EEE – Espaço Económico Europeu

H – Hidrogénio

Mtep – Megatonelada equivalente de petróleo

NO₂ – Dióxido de nitrogénio

NO_x – Óxidos de azoto

O₂ – Oxigénio diatómico

O₃ – Oxigénio triatómico (Ozono)

PM₁₀ – Partículas com tamanho inferior a 10µm

PM_{2.5} – Partículas com tamanho inferior a 2,5µm

PM₁ – Partículas com tamanho inferior a 1µm

ppm – partes por milhão

PTN – Condições de pressão e temperatura normais

THC – Total de hidrocarbonetos em partes por milhão de propano equivalente

UPF – Partículas ultrafinas. *Ultra fine particles* na língua inglesa

Lista de símbolos

A_{secção} – Área de secção transversal ao escoamento do fluído [m²]

C_f - Teor de carbono do combustível de ensaio [% de massa de combustível]

C_{p,fg} – Calor específico dos gases de combustão nas condições de referência [kJ/(K × m³)]

C_{p,fgw} – Calor específico do vapor de água nos gases de combustão nas condições de referência [kJ/(K × m³)]

C_r – Concentração de carbono no combustível utilizado [% da massa de combustível]

d_{NO_2} – Densidade do dióxido de nitrogénio a 13% de O_2
 G_{D} – Volume específico do gás em base seca [m^3/kg]
 G_{W} – Volume específico do gás em base húmida [m^3/kg]
 $H_{i,f}$ – Poder calorífico inferior do combustível [kJ/kg]
 H_f – Concentração de hidrogénio no combustível utilizado [% da massa de combustível]
 M_a – Massa de carga de combustível [kg]
 M_h – Consumo de combustível por hora [kg/h]
 $\text{O}_{2, \text{avg}}$ – Quantidade média de oxigénio medida durante o ensaio [%]
 $\text{O}_{2, \text{standard}}$ – Quantidade de oxigénio de referência (13%)
 P – Potência térmica nominal [kW]
 Q_a – Perdas térmicas através dos gases de combustão [kJ/kg]
 q_a - Proporção de perdas térmicas relacionadas com o calor específico dos gases de combustão [%]
 Q_b – Perdas térmicas associadas a ligações químicas nos gases de combustão
 q_b – Proporção de perdas térmicas relacionadas com o calor latente dos gases de combustão [%]
 Q_{vol} – Caudal volumétrico do fluido [m^3/s]
 T_a – Temperatura ambiente [$^{\circ}\text{C}$]
 T_{fg} – Temperatura dos gases de combustão [$^{\circ}\text{C}$]
 V_{fluido} – Velocidade média do escoamento do fluido [m/s]

Letras gregas

η – Eficiência energética [%]
 $\Phi_{f,g}$ – Caudal mássico dos gases de combustão [g/s]

1 Introdução

1.1 Estrutura do trabalho

O presente trabalho inicia-se com um enquadramento geral ao tema e a sua origem, seguido de uma breve descrição da história da empresa e as suas motivações para o futuro.

Na segunda parte são apresentados alguns conceitos teóricos sobre a biomassa lenhosa enquanto combustível renovável, o seu processo de combustão e são apresentados os requisitos ambientais e os procedimentos exigidos pelas normas europeias com entrada em vigor a 1 de janeiro de 2022. É ainda apresentada uma análise de alguns equipamentos, já existentes no mercado, alguns dos quais anunciados como cumpridores dos requisitos do Ecodesign.

Por último é apresentado o equipamento desenvolvido e é realizada uma primeira análise do protótipo desenvolvido. Por fim, são realizados ensaios com 2 equipamentos concorrentes e ensaios de validação do protótipo e o trabalho termina com a apresentação e discussão dos resultados obtidos no que toca à performance do equipamento desenvolvido comparativamente aos recuperadores concorrentes analisados.

1.2 Enquadramento

O tema do presente trabalho surge através de conversações entres as entidades Solzaima, S.A. e Universidade de Aveiro. A Solzaima, S.A. é líder, a nível ibérico, na produção de soluções de aquecimento a biomassa e produz recuperadores de calor para aquecimento central e local que utilizam pellets ou lenha como fonte principal de energia. O foco da empresa é disponibilizar no mercado soluções cada vez mais eficientes que permitam aos utilizadores terem conforto nas suas habitações com recurso a energia renovável, limpa e acima de tudo económica. Atualmente a empresa comercializa 3 marcas próprias consoante o canal de distribuição. A marca Solzaima é vendida por pequenos e médios distribuidores, a marca RedPod encontra-se disponível em grandes distribuidores e a marca Fogo Montanha é comercializada em lojas de especialidade.

A aprovação de novas diretivas europeias, com entrada em vigor a janeiro de 2022, que impõem limites mais restritivos para as emissões de CO, COG, NO_x e de partículas resultantes da combustão de biomassa, cria a necessidade de realizar alterações nos equipamentos existentes ou, caso estas não sejam viáveis, desenvolver novos equipamentos.

A proposta de dissertação de mestrado apresentada surgiu da necessidade de desenvolver uma câmara de combustão para pequenas salamandras a lenha para aquecimento local que possam ser enquadradas nas gamas *low cost*, isto é, de baixo custo e que cumpram os requisitos ambientais impostos pelas novas diretivas europeias.

1.3 Objetivos

Os objetivos principais deste projeto são o desenvolvimento de uma câmara de combustão simples, com um custo de produção e comercialização competitivo, capaz de ser replicada por vários modelos nas diferentes marcas comercializadas. O equipamento deverá atingir um bom desempenho energético e ao mesmo tempo cumprir com os requisitos ambientais previstos para este tipo de equipamento, isto é, salamandras a lenha, especificados na norma europeia EN 16510-1:2013.

1.4 Solzaima

A Solzaima, S.A. surgiu em 1978 na localidade de Belazaima do Chão, em Águeda, e dedicava-se ao fabrico de artigos metálicos, contudo já com intenção de entrar no mercado da produção de equipamentos para o setor das energias renováveis. No início dos anos 80 começou a produção de painéis solares e equipamentos de aquecimento a biomassa antecipando-se muito às exigências que encontramos no mercado atual.

Os vários investimentos ao longo do tempo permitiram que a Solzaima atualizasse e melhorasse o seu parque de máquinas e como consequência melhorasse e aumentasse a sua capacidade produtiva e de desenvolvimento levando a que fosse possível introduzir equipamentos inovadores no mercado.

Hoje em dia o trabalho desenvolvido na Solzaima procura responder às necessidades dos seus clientes quanto a soluções de aquecimento, nomeadamente na recuperação de calor pela queima de biomassa.

Atualmente a empresa possui certificação para o seu sistema de Gestão de Qualidade e Ambiente de acordo com as normas NP EN ISO9001 e NP EN ISO14001 o que revela a constante preocupação no que concerne ao processo de desenvolvimento, conceção e fabrico de equipamentos de aquecimento a biomassa.

Em 2008 a Solzaima foi adquirida pelo grupo Explorer Investments.

Em 2009 a Solzaima adquiriu a fabricante Fogo Montanha e desde aí passou a produzir e comercializar esta marca.

Desde então a empresa tem vindo a aumentar o investimento no seu parque de máquinas, em técnicas de melhoria contínua e desenvolvimento de novos produtos com o objetivo de apresentar aos seus clientes equipamentos cada vez mais eficientes, robustos, com um design apelativo e acima de tudo a um preço competitivo.

2 Conceitos sobre a combustão de madeira

2.1 Biomassa como fonte de energia renovável

A energia não pode ser criada nem destruída, isto é, a energia é transformada entre os vários tipos de energia conhecidos. Uma fonte de energia renovável é normalmente conhecida como uma fonte de energia limpa proveniente de recursos naturais renováveis à escala da vida humana.

A definição de biomassa engloba toda a matéria orgânica, quer de origem vegetal quer de origem animal, que pode ser utilizada nos estados sólido, líquido ou gasoso. Exemplos de biomassa são os subprodutos de diversas indústrias tais como a pecuária, a agricultura, a florestal, a celulose e o papel, [1] e [2].

A utilização deste tipo de combustível, particularmente a madeira, continua a ser um fator de grande relevo num grande número de países, com particular foco na confeção de alimentos e aquecimento local de certas zonas da habitação, [3].

Os produtos da combustão completa de madeira são, essencialmente, vapor de água, CO₂ e calor. Para que o processo de combustão de madeira ocorra nas condições de excelência é importante ter em conta fatores como a quantidade de oxigénio fornecida ao processo de combustão, a temperatura durante o processo, o tempo necessário ao processo da combustão e a qualidade da mistura entre o combustível e o oxidante. Na realidade ainda não é possível ter uma combinação perfeita entre todos estes fatores. Em recuperadores de calor, tal como as salamandras a lenha, consegue-se obter uma boa temperatura no interior da câmara de combustão, consegue-se manipular as entradas de ar para regular o fornecimento de ar à combustão e também é possível desenhar a configuração do equipamento para promover uma melhor mistura entre o combustível e o ar, contudo, garantir que os reagentes são mantidos na câmara de combustão durante tempo suficiente para que o processo decorra nas melhores condições ainda não é um fator facilmente controlável. Isto resulta em combustões incompletas que se traduzem em desperdício da energia armazenada no combustível e maior emissão de poluentes.

2.2 Composição típica dos combustíveis à base de madeira

A composição química dos combustíveis sólidos influencia o processo de combustão desse mesmo combustível, [4] e [5].

A estrutura interna da madeira é essencialmente composta por celulose, hemicelulose e lignina sendo que a maior ou menor presença de lignina permite fazer a

distinção entre madeiras macias (*softwood*), com um teor de lignina entre 25 e 30%, e madeiras duras (*hardwood*), com um teor de lignina entre 18 e 25%.

Enquanto combustível, a madeira tem a particularidade de possuir um elevado conteúdo de matéria volátil. Os combustíveis à base de madeira são constituídos geralmente por 47 a 52% de carbono (C), 6,1 a 6,3% de hidrogénio (H) e 38 a 45% de oxigénio (O). Neste tipo de combustíveis o conteúdo de nitrogénio e de minerais é geralmente baixo, [4]. Outro fator relevante da composição dos combustíveis à base de madeira é o teor de humidade do combustível. Nos toros de madeira o teor de humidade encontra-se, normalmente, entre 10 e 30%, [6].

2.3 Processo de combustão de lenha

A combustão é uma reação química que liberta energia e para que esta se realize é importante garantir que ocorre uma reação entre o combustível e o oxigénio.

A combustão de biomassa não pode ser caracterizada numa única fase. Normalmente é um processo que envolve um grande número de reações físicas e químicas de grande complexidade e é fortemente afetado pela natureza do combustível utilizado e pela finalidade que se pretende obter. A combustão de biomassa pode, no entanto, ser caracterizada por fases genéricas sendo estas a secagem do combustível, a pirólise, a combustão de voláteis e a combustão do carvão residual. Em equipamentos que funcionam por cargas de combustível, tal como as salamandras a lenha, a secagem do combustível é seguida da pirólise e são as primeiras etapas no processo de combustão sendo necessário o fornecimento de calor para que estas possam ser realizadas, [4] e [6].

2.3.1 Secagem do combustível

A primeira fase de um processo de combustão traduz-se na secagem do combustível e termina quando toda a água presente é vaporizada. A duração desta fase do processo de combustão depende do tipo de combustível utilizado, do teor de humidade presente nesse mesmo combustível e da taxa de transferência de calor entre o combustível e o ambiente envolvente, [4].

A vaporização da água presente no combustível requer energia, assim, a temperatura no interior da câmara de combustão irá descer levando a uma desaceleração no processo de combustão. Caso a humidade do combustível seja superior a 60% o consumo de energia para evaporar e vaporizar a água presente no combustível será de tal

modo elevado que pode provocar uma diminuição da temperatura na câmara de combustão ao ponto de não ser possível manter o processo de combustão ativo, [6].

2.3.2 Pirólise

A pirólise ou desvolatilização é a fase em que as grandes estruturas como a celulose, a hemicelulose e a lignina começam a degradar-se. Durante a pirólise dá-se origem a vários produtos dos quais se podem destacar a água, dióxido de carbono, hidrogénio, monóxido de carbono e os COV, [4], [6] e [7].

A taxa de desvolatilização da madeira aumenta substancialmente quando a temperatura de combustão é superior a 200°C, a hemicelulose começa a decompor-se entre os 200°C e os 350°C, a celulose entre os 250°C e os 450°C e a lignina entre 200°C e os 500°C, [4]. A decomposição da lignina neste intervalo traduz a grande variação da massa de combustível que se verifica durante os ensaios de combustão. Quando a temperatura ultrapassa os 400°C a grande maioria dos compostos voláteis já foram consumidos pelo processo de combustão e a taxa de desvolatilização do combustível começam a diminuir rapidamente terminando a pirólise.

2.3.3 Combustão do carvão residual

A combustão pode ser definida como o processo de oxidação do combustível.

A ignição dos gases de combustão ocorre quando a geração de calor é superior às perdas de calor através das envolventes. O aumento da taxa de consumo de combustível, e conseqüente aumento da quantidade de calor libertado, proporciona o aumento da temperatura de combustão e da taxa de combustão. Este efeito tende a diminuir consoante o abrandamento da libertação de gases durante a pirólise. No decorrer da pirólise, a proporção de carbono, presente no combustível, aumenta em relação à proporção de hidrogénio. Nesta fase, inicia-se a combustão do carvão residual conhecida como a fase de queima de combustível sólido. Este carvão residual representa, apenas, entre 10 e 30% da massa total do combustível (em base seca) contudo, traduz 25 a 50% da energia total libertada pelo processo de combustão, [4]. A combustão do carvão residual é composta tanto por reações entre os vários produtos gasosos como entre os produtos gasosos e a superfície do carvão sólido. A taxa de difusão do oxigénio nesta superfície é extremamente baixa o que restringe a taxa de combustão do combustível fazendo com que esta seja a fase mais lenta do processo de combustão, [6].

2.3.4 Combustão intermitente e combustão contínua

Nos equipamentos de aquecimento que utilizam madeira como combustível é possível ter um processo de combustão contínua ou um processo de combustão por lotes de combustível.

Na combustão contínua, tal como o nome indica, o combustível é alimentado de forma contínua e a combustão não segue exatamente as fases descritas anteriormente. O controlo deste tipo de combustão é muito mais preciso e consegue-se obter uma combustão mais estável que a combustão intermitente.

Na combustão intermitente, o combustível é alimentado em lotes. Neste tipo de combustão identificam-se as fases descritas anteriormente.

2.4 Fatores que influenciam a combustão de biomassa

2.4.1 Teor de humidade do combustível

O teor de humidade varia significativamente entre os vários tipos de madeiras e consoante o tempo e método de secagem aplicados. Tal como referido anteriormente quanto maior for o teor de humidade menor tende a ser a temperatura que é possível atingir no interior da câmara de combustão originando uma combustão mais incompleta levando a um aumento na quantidade de poluentes libertados para a atmosfera.

No caso de recuperadores de calor que operam por lotes de carga o teor de humidade pode variar entre cargas de combustível o que torna ainda mais difícil o controlo do processo de combustão.

2.4.2 Temperatura de combustão

A principal consequência da temperatura no interior da câmara de combustão durante o processo de combustão é observada no efeito de oxidação do combustível e na duração da combustão. Quanto mais elevada for a temperatura de combustão menor tende a ser o tempo necessário para que o processo seja realizado e os processos de oxidação do combustível tendem a ser mais rápidos e mais completos.

Posto isto torna-se evidente que para atingir uma combustão o mais completa possível é essencial minimizar as perdas térmicas pelas envolventes do equipamento. As maiores perdas térmicas estão associadas à transferência de calor por radiação através do vidro e laterais do equipamento, às transferências de calor por condução através dos materiais que constituem as envolventes do equipamento, à transferência de calor por

convecção através das envolventes exteriores da câmara de combustão e as perdas energéticas relacionadas com a secagem do combustível e a pirólise. Outro fator que provoca uma redução da temperatura de combustão está associado ao facto de equipamento, tais como as salamandras, operarem, normalmente, com um fornecimento excessivo de ar (excesso de ar entre 8 e 11%) com o intuito de garantir e promover a mistura entre o combustível e o ar.

Para evitar que demasiado calor seja transferido para o exterior é normal fazer-se uso de um isolante térmico para manter a temperatura no interior da câmara relativamente elevada e constante durante o processo. O efeito térmico da colocação de isolamento pode ser melhorado aumentando a espessura do mesmo ou através da utilização de um material com melhores características isolantes, nomeadamente uma menor condutividade térmica, contudo, estas hipóteses trazem, por vezes, custos mais avultados que acabam por não justificar a sua utilização em equipamento de gamas low-cost.

2.4.3 Fornecimento de ar para a combustão

Nas salamandras a lenha é importante operar em condições de excesso de ar de modo a garantir que existe ar suficiente para que se possa atingir uma boa mistura entre gases e ar fresco, [8]. Este modo de operação traduz-se numa redução da temperatura no interior da câmara de combustão quando comparada com a temperatura que se obteria na reação de combustão estequiométrica, consequência do aquecimento de uma maior quantidade de gases inertes, [6]. Nas salamandras o ar pode ser fornecido ao processo através de escoamento forçado, com recurso a sistemas de ventilação, ou pode ser fornecido através de escoamento natural visto que os gases quentes têm tendência a subir e sair pela chaminé criando uma depressão no interior da câmara de combustão que obriga a entrada de ar novo. O fornecimento de ar através de escoamento natural pode originar flutuações na taxa de combustão. Pode extinguir a chama caso a depressão criada na câmara seja muito reduzida e neste caso o fornecimento de ar tende a ser insuficiente. Pode causar uma redução da temperatura de combustão quando a depressão criada na câmara é muito alta visto que o fornecimento de ar se torna excessivo, [9] e [10].

2.4.4 Distribuição de ar

Atingir uma boa distribuição de ar é um ponto fulcral para se atingir níveis de emissão de poluentes baixos. A distribuição do ar primário e do ar secundário no interior

da câmara de combustão e na zona da chama deve ser idealizada de modo a conseguir obter uma boa mistura entre o ar e o combustível. Desta forma é também possível manter a temperatura de combustão em valores mais elevados e constantes durante o processo, [6] e [9].

2.5 Formação de poluentes

A norma europeia relativa aos requisitos de Ecodesign impõe limites mais restritos às emissões de CO, NO_x, COG e partículas, comparativamente à norma EN13240 atualmente em vigor. Torna-se assim importantes perceber como cada um destes compostos se forma.

O CO é um gás incolor e inodoro. A principal razão para a formação deste composto é a combustão incompleta quando a presença de oxigénio na reação de combustão é insuficiente. Visto que os recuperadores de calor, tal como a salamandra que constitui objeto deste trabalho, operam com excesso de ar fornecido à reação, a formação de CO é devido à falta de capacidade de misturar o combustível com o ar fresco, [4].

Os NO_x são formados pela reação entre o azoto e o oxigénio a elevadas temperaturas. Durante um processo de combustão existem três mecanismos de formação de NO_x sendo que dois deles ocorrem devido essencialmente à presença de azoto no ar que, juntamente com as elevadas temperaturas reage com o oxigénio presente no próprio ar. O último mecanismo ocorre devido à presença de azoto no combustível. No caso de recuperadores de calor de pequenas dimensões a temperatura no interior da câmara de combustão, regra geral, não é suficiente para que ocorra reação entre o azoto e o oxigénio presentes no ar pelo que a formação de NO_x neste tipo de situação é devida sobretudo à reação do oxigénio com o azoto presente no combustível, [6].

Os COG são conhecidos por terem efeitos cancerígenos e por terem um grande impacto na poluição ambiental. Os COG originados durante combustão de madeira incluem uma grande variedade de compostos e na presença de óxidos de azoto podem formar O₃, [6].

As partículas podem ser classificadas em PM₁₀, PM_{2,5}, PM₁ e UPF (*Ultra fine particle*) consoante o seu diâmetro seja inferior a 10µm, a 2,5µm, 1µm e 0,1µm, respetivamente. Na combustão de madeira o carbono orgânico e a fuligem são os dois elementos constituintes principais das partículas. As partículas podem ainda ser classificadas conforme a fase em que são formadas sendo que as partículas primárias são formadas durante o processo de combustão e as partículas secundárias são formadas pela condensação dos COG emitidos para a atmosfera.

3 Regulamentação europeia

3.1 Requisitos de conceção ecológica para equipamentos de aquecimento local que utilizam combustível sólido

O regulamento europeu 2015/1185, [11], publicado no jornal oficial da comissão europeia, assenta na Diretiva 2009/125/CE do Parlamento Europeu respeitante aos requisitos de conceção ecológica no que concerne a equipamentos de aquecimento local que utilizam combustíveis sólidos para o seu funcionamento.

Segundo o artigo 18º da Diretiva 2009/125/CE o consumo anual de energia, em 2010 na união europeia, relacionado com o uso de equipamentos de aquecimentos local de combustível sólido, era cerca de 627 PJ, que corresponde a aproximadamente 15,0 Mtep, o que se traduz em cerca de 9,5 Mt de emissões de CO₂, contudo prevê-se que serão atingidos valores de consumo de energia de 812 PJ (19,4 Mtep) e emissões de CO₂ a rondar os 8,8 Mt no ano 2030. É esperado que exista uma redução das emissões de dióxido de carbono, apesar do aumento de consumo energia, visto que os novos equipamentos à venda no mercado serão mais eficientes e por consequência menos poluentes. Os requisitos de conceção ecológica têm em vista poupanças anuais de energia, até 2030, de aproximadamente 41 PJ (0,9 Mtep) que corresponde a cerca de 0,4 Mt de CO₂, [11].

Relativamente à emissão de partículas, COG e CO os valores determinados para o ano 2010 na União Europeia eram, respetivamente, as 142 kt/ano, 119 kt/ano e 1658 kt/ano e é esperado que a introdução de melhorias de Ecodesign e o desenvolvimento tecnológico levem a uma diminuição destas emissões para valores a rondar os 94 kt/ano para as emissões de partículas, 49 kt/ano para as emissões de COG e 1433 kt/ano para as emissões de CO, no entanto é esperado um aumento nas emissões de NO_x uma vez que os equipamentos desenvolvidos deverão operar com temperaturas de combustão mais elevadas para atingirem as metas impostas.

Esta norma define que um aquecedor de ambiente local de frente fechada a combustível sólido é um qualquer equipamento de aquecimento local cujo leito de combustível e gases de combustão se encontrem isolados do espaço em que o equipamento se encontra instalado e se encontra fixado à abertura de uma chaminé ou a uma conduta de evacuação de produtos de combustão.

O combustível a utilizar no equipamento em desenvolvimento encontra-se definido, também neste regulamento, como sendo do tipo combustível sólido, isto é, o combustível encontra-se no estado sólido às condições PTN, e é do tipo biomassa lenhosa, isto é,

biomassa proveniente de árvores e arbustos, incluindo madeira em estilhas e em toros, pellets, madeira prensada na forma de briquetes e serrim de madeira.

Nem todos os equipamentos irão operar sob as mesmas condições ambientais logo é expectável que a eficiência energética e a quantidade de poluentes emitidos neste tipo de equipamentos medida durante os ensaios laboratoriais sejam diferentes relativamente à eficiência e emissão de poluentes obtidas durante a utilização do equipamento por parte do utilizador final.

A tabela 1 apresenta os limites estabelecidos para equipamentos de aquecimento local com frente fechada que utilizam combustível sólido na forma de biomassa lenhosa não pellets.

Tabela 1 - Requisitos para equipamentos de aquecimento local a combustível sólido lenhoso não pellet, [11].

Requisitos Específicos de conceção ecológica				
Eficiência Energética Estacional (%)	Partículas (mg/Nm ³)	COG (mg/Nm ³)	CO (mg/Nm ³)	NO _x (mg/Nm ³)
≥65	≤40	≤120	≤1500	≤200

3.2 Norma europeia EN16510-1:2013

A norma prEN 16510-1:2013 é aplicável a equipamentos residenciais que utilizem combustíveis sólidos como fonte de energia e especifica requisitos mínimos relacionados com o design, fabrico, construção, segurança e performance desses equipamentos. Também estabelece os métodos gerais a seguir durante os ensaios laboratoriais para a análise dos gases de combustão emitidos durante o normal funcionamento do equipamento de modo que este possa obter a certificação exigida para ser comercializado no Espaço Económico Europeu.

Esta norma encontra-se subdividida em 7 partes:

- Parte 1: Requisitos gerais e métodos de ensaio;
- Parte 2-1: Equipamentos de aquecimento local;
- Parte 2-2: Equipamentos inseríveis incluindo lareiras abertas;
- Parte 2-3: Fogões;
- Parte 2-4: Caldeiras independentes com potência térmica útil até 50 kW;
- Parte 2-5: Equipamentos de combustão lenta;
- Parte 2-6: Equipamentos alimentados a pellets.

Deste modo a parte 1 deste documento foi analisada em conjunto com a subsecção 1 da parte 2.

Segundo a norma prEN 16510-1:2013 um equipamento de aquecimento local está definido como sendo um equipamento que tem uma câmara de combustão completamente selada com uma porta de acesso, normalmente fechada durante o funcionamento do equipamento, para efetuar a recarga de combustível e distribui calor por radiação e por convecção para o local onde se encontra instalado ou para a água, caso seja instalado juntamente com um sistema de aquecimento central. Tendo em conta esta definição e que o equipamento objeto deste trabalho irá operar de forma intermitente, este pode ser enquadrado na categoria dos equipamentos de aquecimento local.

3.2.1 Requisitos de performance em relação ao design, construção e materiais utilizados

3.2.1.1 Documentação de produção

Os documentos de identificação e/ou desenhos de montagem devem incluir, no mínimo, as características dos materiais utilizados na construção do aparelho, a potência térmica nominal, em kW, especificada pelo fabricante usando os combustíveis recomendados pelo mesmo, os intervalos mínimos para a efetuar a recarga de combustível e as dimensões gerais da câmara de combustão.

3.2.1.2 Requisitos de construção, materiais utilizados e segurança para equipamentos de aquecimento local

As geometrias e as dimensões dos componentes e equipamento assim como o design e os métodos de produção devem garantir, quando em operação, um funcionamento confiável e seguro para o utilizador final.

Deve dar-se prioridade à utilização de materiais não inflamáveis, contudo existem exceções no que toca a componentes instalados no exterior do equipamento, componentes internos de controlo e de segurança, mecanismos para manobrar o equipamento e componentes elétricos.

Nenhuma parte do equipamento deve ser constituída com recurso a materiais nocivos para a saúde dos operadores que construírem o equipamento nem para a saúde utilizadores. Também não devem ser utilizadas ligações com soldadura que contenha cádmio na sua constituição química.

Peças ou componentes que carecem de substituição e/ou remoção periódica, devem ser dimensionadas de modo a garantir a correta desmontagem e montagem.

É necessário garantir que nos locais de juntas sejam evitadas fugas de ar/água ou produtos de combustão, isto é, deve ser garantida a sua estanquicidade.

As superfícies de dissipação de calor do aparelho são superfícies úteis e com o objetivo de libertar calor para a zona onde este está logo não existe a necessidade de limitar a temperatura destas superfícies.

Caso seja utilizado isolamento térmico, este deve ser um material não inflamável e a sua utilização durante o funcionamento do equipamento não deve representar um perigo para a saúde do utilizador.

Todas as superfícies em contacto com produtos de combustão devem ser de fácil acesso para que seja efetuada a sua limpeza periódica.

A gaveta de cinzas deve ser fácil e segura de manusear mesmo quando está quente, deve ter, no mínimo, a capacidade para albergar os resíduos de combustão equivalentes a duas cargas completas de combustível e também deve garantir espaço suficiente para que a passagem de ar através da grelha de cinzas não fique obstruída.

O fornecimento de ar para a combustão primária deve ser controlado através de um mecanismo de regulação. O correto ajuste deste mecanismo durante o funcionamento do equipamento deve estar claramente especificado no manual de instruções do utilizador e deve ser visível ou estar devidamente marcado para que o seu funcionamento seja facilmente compreensível. Este mecanismo deve ser projetado de modo que, durante o funcionamento do equipamento, as cinzas e resíduos de combustão não afetem o seu funcionamento.

Caso seja implementado um mecanismo de ajuste da entrada de ar para a combustão secundária este deve ser projetado de maneira que o fornecimento de ar não seja afetado quando a câmara de combustão é carregada na totalidade de acordo com a carga indicada pelo fabricante.

Para os aparelhos equipados com porta de acesso para o carregamento de combustível, deve assegurar-se que essa porta é suficientemente grande para permitir o abastecimento de combustível e deve assegurar-se que estas são fáceis de fechar e que as aberturas acidentais são evitadas.

Os materiais isolantes colocados nas laterais da câmara de combustão e, em particular, as placas defletoras destacáveis devem ser facilmente removíveis através da porta de carregamento.

Nas instruções de instalação devem ser introduzidas as informações necessárias para isolar as paredes, piso ou teto adjacentes ou indicar as distâncias mínimas necessárias para garantir que a temperatura destes ou qualquer outra estrutura adjacente que contenha materiais combustíveis não exceda a temperatura ambiente em mais de 65K.

Quanto aos requisitos de performance, nos equipamentos de aquecimento local de combustão intermitente deve ser testada a potência útil, em kW, a eficiência energética, em %, a emissão de poluentes, o período mínimo de queima de combustível e deve ser garantida uma tiragem mínima (pressão estática na saída de gases de escape) de 12 Pa em condições nominais. A temperatura dos gases de combustão deve ser medida e o valor médio obtido dessas medições deve ser tido em conta aquando da determinação da eficiência, do nível de emissões e medição da temperatura de saída dos gases de escape, sendo que esta última terá que ser registada na ficha técnica do equipamento. Os ensaios laboratoriais para a avaliação das emissões poluentes e eficiência energética devem ser realizados utilizando os combustíveis listados pelo fabricante no manual de utilizador e no caso da queima de toros de madeira deve ser considerada a média dos três ciclos de ensaios, além disso, dois destes ciclos de ensaios têm de ser consecutivos para os resultados poderem ser considerados válidos. A medição da pressão estática na saída de gases de combustão tem uma tolerância de ± 2 Pa.

4 Análise de Benchmarking

4.1 Conceito de Benchmarking

O benchmarking é um processo que permite a comparação de um produto ou serviço fornecido por uma empresa com o mesmo tipo de produto ou serviço fornecidos pelas restantes empresas que competem no mesmo mercado.

A análise de benchmarking pode ser dividida em duas categorias principais sendo estas o benchmarking interno quando o estudo assenta na análise da performance do funcionamento interno das empresas concorrentes e o benchmarking externo quando o estudo assenta na avaliação da performance de processos, produtos e estratégias comerciais.

O benchmarking permite que a empresa se familiarize com novas tecnologias, técnicas e processos fabrico, descubra as deficiências no seu processo produtivo e adote novas estratégias de produção e/ou comercialização originando crescimento a nível da organização interna. Também permite que a empresa perceba quais as tendências atuais dos consumidores o que permite tornar os seus produtos mais atrativos e facilitar as suas entradas no mercado.

4.2 Benchmarking Competitivo

Na etapa inicial do processo de desenvolvimento do produto foi criada uma ficha de lançamento de um produto novo na qual consta o mercado alvo, os requisitos legais a cumprir pelos equipamentos que utilizem esta câmara de combustão para que possam ser comercializados e os requisitos e objetivos ambientais e de performance que terão de cumprir. Na análise de benchmarking, isto é, análise das funcionalidades, das características funcionais e estéticas dos produtos da mesma categoria que já se encontram disponíveis no mercado, os principais fatores analisados foram o controlo automático/manual das entradas de ar primário, de ar secundário e do fornecimento de ar para o varrimento e limpeza do vidro, a existência/inexistência de isolamento térmico e qual o material utilizado, as dimensões gerais do equipamento, a eficiência energética, a potência térmica útil, o preço de venda do equipamento em Portugal e o cumprimento ou não dos requisitos de Ecodesign.

Os recuperadores estudados foram o Aduro 14, o Thorma Gent, o Panadero Chambery, Giulietta, Skara e Vera, o Lacunza Atlantic 603, Bidart, Calpe e Sagra CP, o Godin Cube, o Boreal E2000 e E7000, o Bronpi Gijón e Sena Plus, o Invicta Châtel e Remilly e os

recuperadores Bosca Eco 350/360/380, Gold 380/500 e Limit 350/360. Os equipamentos da Bosca não são comercializados em Portugal, contudo existem outras marcas cujos equipamentos são fabricados pela Bosca. Para este estudo foram consultados os manuais de utilizador e as declarações de performance dos equipamentos referidos.

A tabelas 2, 3, 4 e 5 apresentam o resumo da análise de benchmarking realizada.

Tabela 2 - Resumo da análise benchmarking de equipamentos concorrentes

Parâmetros	Requisitos Ecodesign	Aduro 14	Thorma Gent	Panadero Chambery	Panadero Giulietta	Panadero Skara	Panadero Vera
Potência [kW]	-	6,5	5	7,1	7,1	5,9	7,1
Eficiência energética [%]	≥ 65	80,4	81	81,1	81,1	77	81,1
Emissões CO a 13% O2 [%vol]	≤ 0,12	0,06	,012	0,1	0,1	0,1	0,1
Partículas a 13% O2 [mg/m3]	≤ 40	ND	ND	29	29	30	37,08
OGC a 13% O2 [mg/m3]	≤ 120	ND	ND	67,58	67,58	67,58	67,58
Nox a 13% O2 [mg/m3]	≤ 200	ND	ND	16,93	16,93	16,93	16,93
Ventilador	-	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Entrada ar primário	-	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável
Entrada ar secundário	-	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável
Controlo da combustão	-	Manual/ Automático opcional	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Revestimento interior	-	Vermiculite	Tijolo Refratário	Sem revestimento	Sem revestimento	Vermiculite	Sem revestimento
Dimensões (LxAxP) [mm]	-	511 x 900 x 370	530 x 835 x 355	630 x 751 x 389	572 x 710 x 396	436 x 653 x 443	563 x 710 x 396
Preço [€]	-	699	399	599	559	450	559
Requisitos Ecodesign	-	Informação insuficiente	Informação insuficiente	Cumpre	Cumpre	Cumpre	Cumpre

Tabela 3 - Resumo da análise benchmarking de equipamentos concorrentes

Parâmetros	Requisitos Ecodesign	Lacunza Atlantic 603	Lacunza Bidart	Lacunza Calpe	Lacunza Sagra CP	Godin Cube	Boreal E2000
Potência [kW]	-	12	9	12	12,5	6,5	9,5
Eficiência energética [%]	≥ 65	85,03	77	85,03	70,6	76,8	75
Emissões CO a 13% O2 [%vol]	≤ 0,12	0,04	0,08	0,04	0,35	0,08	0,13
Partículas a 13% O2 [mg/m3]	≤ 40	14	14	14	ND	30,55	ND
OGC a 13% O2 [mg/m3]	≤ 120	28	66	28	ND	ND	ND
Nox a 13% O2 [mg/m3]	≤ 200	111	112	111	ND	ND	ND
Ventilador	-	Não	Não	Não	Não	Não	Sim
Entrada ar primário	-	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável
Entrada ar secundário	-	Regulável	Não regulável	Regulável	Regulável	Regulável	Não regulável
Controlo da combustão	-	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Revestimento interior	-	Vermiculite	Vermiculite	Vermiculite	Vermiculite	Sem revestimento	Vermiculite
Dimensões (LxAxP) [mm]	-	530 x 220 x 280	550 x 230 x 230	530 x 220 x 280	520 x 250 x 365	550 x 280 x 220	447 x 306 x 286
Preço [€]	-	844	856	625	390	567	490
Requisitos Ecodesign	-	Cumpre	Cumpre	Cumpre	Não cumpre	Informação insuficiente	Não cumpre

Tabela 4 - Resumo da análise benchmarking de equipamentos concorrentes

Parâmetros	Requisitos Ecodesign	Boreal E7000	Bronpi Gijón	Bronpi Sena Plus	Invicta Châtel	Invicta Remilly	Bosca Eco 350
Potência [kW]	-	8	11	12,5	8	7	7,3
Eficiência energética [%]	≥ 65	74	80	79	77	78	68
Emissões CO a 13% O2 [%vol]	≤ 0,12	0,1	0,14	0,09	0,09	0,1	<0,3
Partículas a 13% O2 [mg/m3]	≤ 40	ND	ND	ND	24	21	ND
OGC a 13% O2 [mg/m3]	≤ 120	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nox a 13% O2 [mg/m3]	≤ 200	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ventilador	-	Sim	Não	Não	Não	Não	Não
Entrada ar primário	-	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável
Entrada ar secundário	-	Não regulável	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável	Não regulável
Controlo da combustão	-	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Revestimento interior	-	Vermiculite	Vermiculite	Vermiculite	Sem revestimento	Sem revestimento	Tijolo refratário
Dimensões (LxAxP) [mm]	-	425 x 310 x 385	400 x 295 x 328	585 x 250 x 304	476 x 803 x 375	436 x 800 x 366	380 x 607 x 495
Preço [€]	-	560	502	526	674	560	240\$
Requisitos Ecodesign	-	Informação insuficiente	Não cumpre	Informação insuficiente	Informação insuficiente	Informação insuficiente	Informação insuficiente

Tabela 5 - Resumo da análise benchmarking de equipamentos concorrentes

Parâmetros	Requisitos Ecodesign	Bosca Eco 360	Bosca Eco 380	Bosca Gold 380	Bosca Gold 500	Bosca Limit 350	Bosca Limit 360
Potência [kW]	-	9,4	10,3	10,5	12,2	7,5	9,4
Eficiência energética [%]	≥ 65	69	68	69,6	65,7	72	71
Emissões CO a 13% O ₂ [%vol]	$\leq 0,12$	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3	<0,3
Partículas a 13% O ₂ [mg/m ³]	≤ 40	ND	ND	ND	ND	ND	ND
OGC a 13% O ₂ [mg/m ³]	≤ 120	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Nox a 13% O ₂ [mg/m ³]	≤ 200	ND	ND	ND	ND	ND	ND
Ventilador	-	Não	Não	Não	Não	Não	Não
Entrada ar primário	-	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável	Regulável
Entrada ar secundário	-	Não regulável					
Controlo da combustão	-	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual	Manual
Revestimento interior	-	Tijolo refratário					
Dimensões (LxAxP) [mm]	-	446 x 781 x 495	421 x 677 x 495	501 x 779 x 489	692 x 783 x 432	380 x 713 x 495	421 x 757 x 495
Preço [€]	-	270\$	320\$	380\$	450\$	260\$	290\$
Requisitos Ecodesign	-	Informação insuficiente					

4.3 Modelos de base utilizados

4.3.1 Bosca Eco 380

O primeiro modelo de base analisado é uma salamandra a lenha fabricada pela Bosca. O recuperador em questão (figura 1) foi fabricado em 2009.



Figura 1 - Recuperador de calor Bosca Eco 380

É um equipamento de câmara de combustão simples, permite regular o ar fornecido para varrimento do vidro que atua também como ar primário. Contudo também é fornecido algum ar primário por um orifício localizado ao fundo da porta de abastecimento de combustível. Quanto ao ar secundário a sua entrada não é regulável e é feita através de orifícios presentes na defletora metálica oca, figura 2.



Figura 2 - Defletora de fumos metálica e oca do recuperador Bosca Eco 380.

O revestimento interior da câmara de combustão é feito com recurso a tijolo refratário de dimensões standard. Segundo o fabricante o equipamento atinge valores médios de 75,3% de eficiência energética, emissões de CO de 0,11% a 13% de O₂, emissão de partículas de 46 mg/m³, temperatura média de gases de escape de 484°C e uma potência térmica útil nominal de 11 kW. No ano de produção deste recuperador ainda não eram exigidos os requisitos de Ecodesign, no entanto as dimensões, a simplicidade e o facto do equipamento já ter sido adquirido para análises de benchmarking anteriores tornam o seu estudo interessante.

As dimensões exteriores do equipamento são 430mm de largura, 728mm de altura e 470mm de profundidade. As dimensões da câmara de combustão são 400mm de largura, 492mm de altura e 342mm de profundidade. A câmara de combustão é feita com recurso a chapa de 4mm de espessura. O único mecanismo de regulação de entradas de ar encontra-se localizado na parte superior (figura 3) e dá ao utilizador final a possibilidade regular a quantidade de ar fornecido para varrimento do vidro.



Figura 3 - Regulador do ar para o varrimento do vidro do recuperador Bosca Eco 380

4.3.2 Panadero Vera

O segundo equipamento estudado é uma salamandra a lenha fabricada pela Panadero em 2018, figura 4.



Figura 4 - Recuperador de calor Panadero Vera/Dana

Este equipamento tem uma câmara de combustão estanque e permite a regulação manual da entrada de ar primário e secundário através de um único manípulo ao fundo da porta de abastecimento, figuras 5, 6 e 7.



Figura 5 - Manípulo de regulação das entradas de ar. Panadero Vera



Figura 6 - Posição máxima do manípulo de regulação das entradas de ar. Panadero Vera.



Figura 7 - Posição mínima do manípulo de regulação das entradas de ar. Panadero Vera.

Não existe revestimento térmico do interior da câmara de combustão. A grelha de cinzas é obtida por fundição. A defletora de fumos, figura 8, é feita em chapa metálica de 4mm e existem duas saliências na parte superior da câmara de combustão que, juntamente com a saliência da defletora, obrigam a que os gases de combustão percorram um caminho mais longo antes de saírem pela chaminé favorecendo a precipitação de partículas poluentes de maior diâmetro e permite retirar uma maior quantidade de energia aos gases de combustão aumentando o rendimento térmico do equipamento e diminuindo o nível de emissões de partículas.

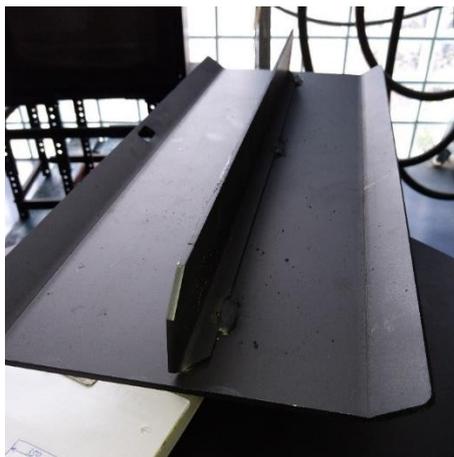


Figura 8 - Defletora de fumos. Panadero Vera

Segundo o fabricante o equipamento atinge valores de 81,1% de eficiência energética, emissões de CO de 0,10% a 13% de O₂, emissão de partículas de 37,08 mg/m³, emissões de COG de 67,58 mg/m³ a 13% de O₂, emissão de NO_x de 16,93 mg/m³ a 13% de O₂ e uma potência térmica útil nominal de 7,1 kW.

Segundo o fabricante o recuperador cumpre os requisitos de Ecodesign. Por este motivo e pelo facto de o preço de venda do equipamento ser próximo do pretendido para a salamandra objeto deste trabalho procedeu-se à aquisição deste equipamento.

As dimensões exteriores do equipamento são 560mm de largura, 710mm de altura e 390mm de profundidade. As dimensões da câmara de combustão são 510mm de largura, 260mm de altura e 350mm de profundidade.

5 Desenvolvimento do protótipo da câmara de combustão

O processo de desenvolvimento do protótipo iniciou-se após os ensaios realizados com os dois equipamentos concorrentes e após a análise de algumas soluções aplicadas em alguns equipamentos produzidos na Solzaima, S.A., especialmente no que toca ao controlo da entrada de ar de combustão.

O software de desenho assistido por computador utilizado, normalmente designado de CAD, foi o Solid Edge 2021 desenvolvido pela Siemens e fornecido pela CADFLOW.

5.1 Materiais e Processos de fabrico utilizados

Atualmente existe uma grande variedade de recursos tecnológicos e métodos de trabalho que permitem a transformação de matéria-prima em peças individuais e/ou conjuntos de peças.

A escolha do melhor processo de fabrico a utilizar para a obtenção de uma determinada peça é feita com base na natureza do material, nas geometrias e dimensões finais e no número de peças que se pretende fabricar [23].

5.1.1 Materiais utilizados

5.1.1.1 Materiais metálicos

Na Solzaima são utilizados dezasseis tipos diferentes de chapa de aço para o fabrico dos diversos componentes utilizados na produção de equipamentos.

Tendo em vista o objetivo de produzir um equipamento com um baixo custo de produção foi escolhida a chapa de aço da norma S235JR, geralmente conhecida como chapa negra. Este tipo de chapa é obtido por um processo de laminagem a quente e tem uma tensão de cedência de 235 MPa, apresenta uma cor negra e geralmente alguns pontos de oxidação nas bordas laterais. Na Solzaima S.A. é utilizada em espessuras desde 1,5 a 12 mm.

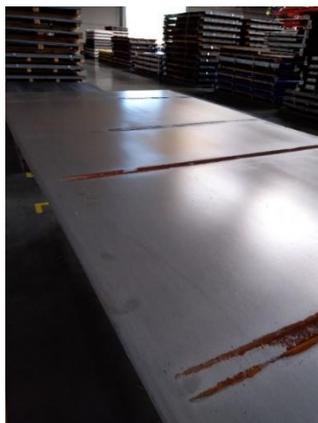


Figura 9 - Chapa de aço S235JR, denominada de chapa negra.

5.1.1.2 Materiais cerâmicos

Na categoria dos materiais cerâmicos recorreu-se a placas de vermiculite para efetuar o revestimento térmico da câmara de combustão, com o intuito de minimizar a perdas térmicas pelas laterais e traseira do equipamento.

A vermiculite é um mineral semelhante à mica, formado essencialmente por silicatos hidratados de alumínio e magnésio. É um material inodoro, não irrita a pele nem os pulmões, apresenta baixa condutividade elétrica, é um absorvente acústico e não se decompõe. É um material refratário com uma excelente capacidade de isolamento térmico devido à baixa condutibilidade térmica que a caracteriza.

Na Solzaima, S.A. é utilizada em densidade de 600, 700, 900 e 1200 kg/m³.



Figura 10 - Placa de vermiculite

5.1.2 Processos de fabrico - materiais metálicos

Os processos de fabrico com materiais metálicos utilizados foram processos de conformação de chapa que envolvem a quinagem e calandragem, processos de corte com formação de apara que incluem o corte de perfis metálicos com serrote mecânico. Processos de corte não tradicionais, mais concretamente o corte por laser, processos de ligação envolvendo a soldadura manual e soldadura automática com robot e processos de acabamento nos quais se incluem essencialmente operações de rebarbagem e polimento.

5.1.2.1 Processos de corte não tradicionais – Corte por Laser

Regra geral, um laser é transdutor ótico, isto é, é um dispositivo ótico que converte energia elétrica num feixe luminoso de alta intensidade. Este feixe luminoso tem, teoricamente, um único comprimento de onda, é um feixe monocromático, e os seus raios luminosos são perfeitamente paralelos. Estas propriedades do feixe laser permitem que este possa ser focado num ponto de dimensões muito reduzida através de lentes óticas tradicionais. As tecnologias que utilizam feixes de laser estão cada vez mais presentes na indústria mundial. Consoante a quantidade de energia presente no feixe laser e a maior ou menor intensidade deste no ponto de focagem é possível realizar diversas operações desde corte, tratamentos superficiais, medições, soldadura, etc.

O corte a laser, conhecido por "Laser Beam Machining (LBM)" na literatura, usa a tecnologia laser para a remoção de material. Na figura 11 encontra-se uma representação esquemática do processo de corte a laser, [12].

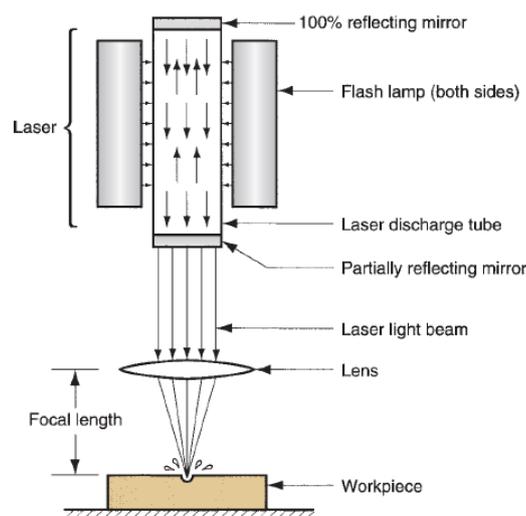


Figura 11 – Esquemática do processo de corte por feixe de laser. [12]

O corte por tecnologia laser permite efetuar furos de diâmetro extremamente reduzido, até 0,025mm consoante a espessura e o tipo de chapa utilizado. Não é uma tecnologia de fabrico de peças de grandes séries nem de espessuras elevadas. A gama de materiais que podem ser trabalhados com o corte a laser são teoricamente ilimitados, porém os materiais utilizados neste tipo de operação de corte apresentam características tais como baixa refletividade, boa condutividade térmica, baixo calor latente de fusão e baixo calor latente de vaporização, [12].

5.1.2.1.1 Corte com laser de CO₂

O corte com laser de CO₂ foi uma das tecnologias primordiais do corte com feixe de laser. Este tipo de laser é produzido recorrendo a uma mistura de gases, nomeadamente CO₂ e azoto. Através desta mistura é feito passar uma corrente elétrica de alta voltagem que excita as partículas dos gases e dá origem a um feixe invisível de alta intensidade de radiação infravermelha, isto é, um feixe laser, [12]. O feixe é então direcionado através uma série de espelhos refletores e é focado na lente que se encontra presente na cabeça, sai pela boquilha e atinge o local onde se pretende efetuar o corte.

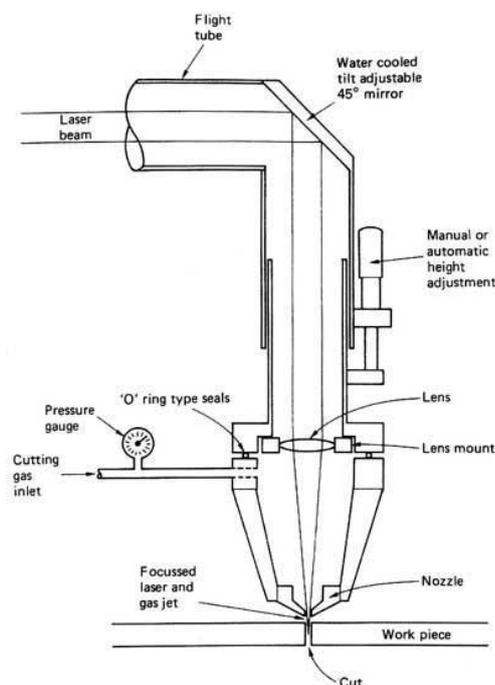


Figura 12 - Representação esquemática do processo de corte com laser de CO₂. [12]

5.1.2.1.2 Corte com laser de fibra ótica

Um díodo laser (LD – “*Laser Diode*”) é um semiconductor bastante semelhante ao díodo emissor de luz, que normalmente designamos por LED, contudo, quando é se faz atravessar uma corrente elétrica pelo LD são criadas condições para que este gere um feixe laser na sua junção p-n. Devido a sua simplicidade e facilidade de montagem os díodos de laser estão a tornar-se no tipo de laser mais utilizados na indústria e já podem ser encontrados em equipamentos de transmissão de dados como as fibras óticas, scanners, impressoras a laser, etc.

O coração do equipamento de corte a laser de fibra ótica é a fonte geradora do feixe laser, aqui a fibra ótica é alimentada com feixes laser originados através de LD’s de alta capacidade. A principal diferença deste tipo de tecnologia para a tecnologia de corte com laser de CO₂, além do método de geração do feixe luminoso, reside na transmissão do feixe laser até à cabeça do laser, visto que neste tipo de tecnologia o laser é transmitido através de cabos flexíveis de fibra ótica, o que elimina por completo a necessidade de usar a reflexão através de lentes, evitando desta forma os possíveis problemas de reflexão associados, [12].

5.1.2.2 Conformação de chapa

Tanto as chapas metálicas como os perfis metálicos são conformados com o material no estado sólido e à temperatura ambiente. Estes processos permitem obter diversas geometrias simples ou complexas conforme a tecnologia, equipamento e ferramentas utilizados.

5.1.2.2.1 Quinagem

A quinagem, ou dobragem de chapas metálicas provenientes dos processos de corte, permite obter geometrias simples ou complexas recorrendo a diversas combinações de posições da chapa e diversos tipos de punção e matriz.

A quinagem de chapas metálicas permite trabalhar chapas de espessuras superiores a 0,2mm e com tolerâncias de 0,1mm ou inferiores. É um processo que mostra ser rentável para obter peças em séries elevadas com um tempo de mudança de ferramentas, punção e matriz, entre 5 e 15 minutos conforme a maior ou menor complexidade da peça a obter, [23].

Este processo pode ser um processo final, nesse caso, após a quinagem, a peça está pronta para ser montada no equipamento.

A quinagem tem como principais vantagens o facto de a espessura do material se manter constante, garantir um bom acabamento final e ter baixo custo de produção. A ferramenta, apesar do seu elevado preço, tem um custo de amortização, por peça produzida, bastante baixo.



Figura 13 - Quinadora Adira. Chão de fábrica Solzaima.



Figura 14 - Exemplo de quinagem de uma peça.

5.1.2.2.2 Calandragem

O processo de calandragem permite criar uma peça curva partindo de uma peça obtida por corte de chapa metálica através da passagem forçada dessa peça entre rolos.

Este processo tem como vantagens a possibilidade obter um acabamento de alta qualidade na peça final, conservar a espessura do material e ser um processo relativamente rápido e fácil de executar. Serve essencialmente para produzir as saídas de fumos dos equipamentos.



Figura 15 - Calandra. Chão de fábrica Solzaima.

5.1.2.3 Processos de Ligação

A soldadura é um processo que permite ligar permanentemente duas peças através de uma união íntima e atômica entre as superfícies que se encontram em contacto, obtendo-se, desta forma, uma junta com propriedades mecânicas iguais ou superiores às do metal base das peças inicialmente separadas e mantendo-se a continuidade de natureza metálica ou não metálica através da ligação, [24].

5.1.2.3.1 Soldadura Manual

Entre os diversos processos de soldadura manual conhecidos, na produção de equipamentos de aquecimento a biomassa na Solzaima S.A., podemos destacar o processo de ligação designado de soldadura MIG sendo este o processo de soldadura mais utilizado neste tipo de indústria.

A soldadura MIG faz uso de um eléctrodo consumível e o arco eléctrico ocorre dentro de uma corrente gasosa entre esse eléctrodo e a peça. Para que o processo de ligação ocorra

devidamente é necessário garantir que o calor desenvolvido durante o processo é suficiente para que o eletrodo funda e que o seu material constituinte migre para a peça.

A principal característica deste processo é a grande densidade de corrente envolvida. Para a correta realização de um processo de soldadura MIG é necessário ter em conta certos parâmetros tais como a intensidade de corrente, a tensão elétrica aplicada ao arco, a velocidade a que a soldadura é realizada, o diâmetro do eletrodo e a sua composição química, o gás de proteção utilizado, a inclinação imposta ao eletrodo e a indutância do aparelho utilizado, [24].



Figura 16 - Soldadura MIG.

5.1.2.3.2 Soldadura Com Robot de Soldadura

A soldadura dos componentes que constituem as câmaras de combustão dos equipamentos de combustão a biomassa, tem de ser de elevada qualidade de modo a evitar fugas de ar que possam prejudicar todo o processo de combustão. Tendo em conta que a grande parte dos componentes são idealizados de forma que a sua geometria seja relativamente simples, e o processo de soldadura possa ser realizado, maioritariamente, segundo trajetórias retas, a utilização de robots para este tipo de trabalho é uma solução que permite automatizar o processo de soldadura poupando tempo e mão-de-obra. Os robots construídos e aplicados em processos de soldadura por arco elétrico são caracterizados por terem dimensões reduzidas, motores de elevada rapidez, grande capacidade de aceleração e a capacidade de fazer trabalhos repetitivos entre ciclos de produção. Neste tipo de robots, o braço, é dimensionado para suportar as ferramentas necessárias ao processo de soldadura, sendo que estas podem ter uma massa entre 5 e 15 kg, [13].



Figura 17 - Robot de soldadura. Chão de fábrica da Solzaima.

5.1.2.4 Processos de Rebarbagem e Polimento

Os processos de rebarbagem e polimento ou processos de acabamento têm como objetivo conceder um acabamento superficial de qualidade superior aos componentes provenientes dos processos de corte, quinagem e soldadura recorrendo a discos abrasivos para retificar as superfícies dos componentes antes de estes seguirem para a linha de pintura ou linhas de montagem final.



Figura 18 - Canto da porta de uma salamandra após um processo de acabamento.

5.1.3 Processos de fabrico - materiais cerâmicos

A obtenção das peças em vermiculite, nas mais diversas geometrias, é feita através do corte com ferramentas tais como discos de serra e fresas. O processo de corte é realizado no centro de maquinação Ouplan 3015 que faz a leitura de um programa CNC previamente criado e desta forma permite efetuar o corte de forma automática e com elevada precisão.

5.2 Características do protótipo desenvolvido

O equipamento desenvolvido é um recuperador de calor para aquecimento local que utiliza toros de madeira como combustível. O equipamento pode ser dividido em cinco partes principais sendo estas, o corpo da câmara de combustão, os componentes de controlo de fornecimento de ar, a porta de acesso ao interior da câmara de combustão, as capas exteriores e o conjunto de dissipadores que permitem a libertação de maior quantidade de calor para o meio ambiente onde o equipamento se encontra.

5.2.1 Corpo da câmara de combustão

O corpo da câmara de combustão é obtido através da união entre os dois componentes apresentados nas figuras 19 e 20. Estes dois componentes são obtidos através de corte laser e são depois sujeitos a operações de quinagem.

No componente apresentado na figura 19 encontram-se, na parte superior dois rasgos principais, um deles para a acoplar o gargalo que permite a ligação à chaminé e outro que servirá como entrada de ar para o varrimento do vidro. Na parte central do mesmo componente encontra-se um conjunto de 11 furos com diâmetro 7,5 mm que permitem a entrada de ar para a combustão dos gases resultantes da combustão primária. Por último, na parte inferior encontra-se o corte onde será alocada a grelha de cinzas e que permitirá também fornecer o ar para a fase de ignição e combustão primária.

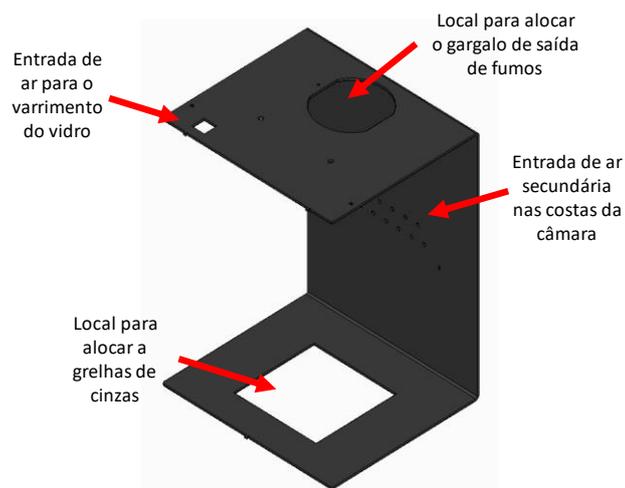


Figura 19 - Parte do corpo da câmara de combustão

No componente apresentado na figura 20 encontra-se a abertura que permite efetuar a carga de combustível no equipamento e os rasgos que permitem a passagem do

ar para o varrimento do vidro. É também neste que se localiza a abertura para a inserção da gaveta de cinzas.

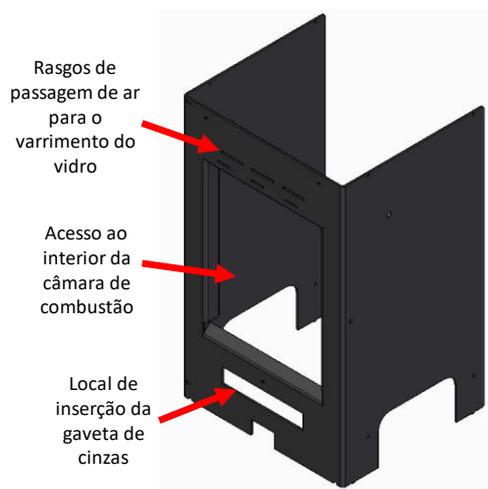


Figura 20 - Parte do corpo da câmara de combustão

O interior da câmara de combustão albergará um conjunto de placas de vermiculite, utilizadas para isolar e diminuir as perdas térmicas, com vista a evitar que a temperatura no interior da câmara desça e por consequência prejudique o processo de combustão. Também foram colocadas 2 defletoras de fumos, com o objetivo de aumentar o percurso de saída dos gases, aumentando o tempo de permanência, de forma a aumentar a eficiência do equipamento e reduzir as emissões de partículas.

O espaço livre dentro da câmara de combustão, para albergar combustível, é 350mm de largura, 415mm de altura e 270mm de profundidade. Estas dimensões foram definidas com o objetivo de serem utilizadas cargas de combustível entre 1,5 e 2,5Kg com toros de madeira de comprimento não superior a 300mm.

5.2.2 Controlo e fornecimento de ar para a combustão

Nos equipamentos de queima a pellets, a regulação do ar de combustão é feita através de sistemas eletrónicos, que permitem regular o caudal de ar admitido na câmara de combustão e a quantidade de combustível alimentado.

Nos equipamentos de queima de lenha na forma de toros, a geometria e a massa de combustível são fundamentais para obter um controlo ótimo da combustão, sobretudo nos casos em que a alimentação é efetuada de forma automática. Os sistemas de

alimentação automática não são de fácil execução, tornando ainda mais crítica o controlo do fornecimento de ar para a combustão.

Como o objetivo é o desenvolvimento de um equipamento de baixo custo, em que o mecanismo de regulação de ar é um dos pontos mais importantes, para o correto funcionamento do equipamento, torna-se fulcral que este seja simples de produzir e ao mesmo, fácil de manusear por parte do utilizador final.

O princípio de funcionamento é inspirado nos sistemas de regulação de ar tipo guilhotina frequentemente utilizados em sistemas de ventilação denominados por *Damper Guillotine*, figura 21, onde uma chapa móvel permite regular a passagem de ar, possibilitando desta forma aumentar ou diminuir a quantidade de ar fornecido à combustão.



Figura 21 - Damper tipo guilhotina da ECOTECH GTS

O controlo da entrada de ar para a combustão é feito na parte inferior da salamandra por meio de um manípulo que possibilita ao utilizador a regulação da entrada de ar para a combustão primária, onde o ar entra na câmara de combustão através da grelha de cinzas. Para efetuar a combustão secundária fornece-se ar através dos furos nas costas da câmara de combustão. A limpeza de vidro é efetuada através de varrimento com ar secundário, que ao passar impede que a fuligem se deposite no vidro.

A figura 22 apresenta a entrada de ar e respetiva circulação dentro da câmara de combustão, durante fase de arranque.

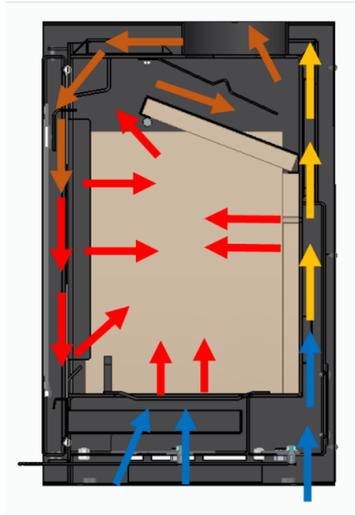


Figura 22 - Circulação de gases esperada durante a fases de arranque.

A figura 23 apresenta a circulação de ar dentro da câmara de combustão durante a fase de queima em contínuo do equipamento. A cor das setas, representadas em ambas as figuras, traduz o aumento e a diminuição da temperatura dos gases à medida que entram e saem da câmara de combustão, respetivamente.

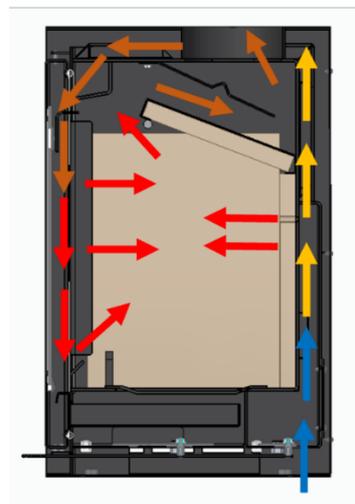


Figura 23 - Circulação de gases esperada durante o restante funcionamento do recuperador.

Pretende-se que o ar proveniente do varrimento do vidro, seja direcionado para a superfície do combustível (lenha) e seja arrastado até às costas da câmara combustão, onde entra em contacto com o ar proveniente dos furos aí localizados, criando turbilhões de ar que permitem melhorar a mistura entre gases e obter uma melhor combustão. Os

gases resultantes desta etapa seguem o trajeto definido entre as duas defletoras antes de saírem pela chaminé.

O mecanismo desenvolvido para a regulação da entrada de ar, figura 24, é constituído por duas caixas soldadas na câmara de combustão, que permitem regular a entrada de ar primário e de ar secundário.



Figura 24 - Maquete do mecanismo de regulação das entradas de ar.

A passagem de ar é regulada através de duas placas metálicas assinaladas na figura 24. Estas placas são obtidas diretamente através de processos de corte por laser. São controladas através do manípulo, deslizam sobre o corpo principal do registo e são guiadas através dos rasgos laterais.

O mecanismo é totalmente construído em chapa metálica pelo que existe a possibilidade de haver entrada de ar parasita para a combustão, visto que não ser possível vedar a 100%, devido à rugosidade inerente à própria chapa. No entanto espera-se que, com o aumento da temperatura, a dilatação das chapas permita atingir um maior grau de vedação.

5.2.2.1 Dimensionamento das entradas do registo

É necessário garantir que o equipamento, durante a fase de ignição, seja capaz de fornecer uma quantidade de ar suficiente para que o acendimento do combustível se realize num intervalo de tempo até 3 minutos tal como exigido pela norma europeia EN 16510.

Como referido, o ar para a combustão primária entra na câmara através da grelha de cinzas. Nesta existe um total de 16 rasgos, cada um com 30mm de comprimento e 9 mm de largura, figura 25, que perfazem 4320 mm² de área de abertura. Esta área é bastante superior à área da abertura do mecanismo de regulação (1500 mm²).

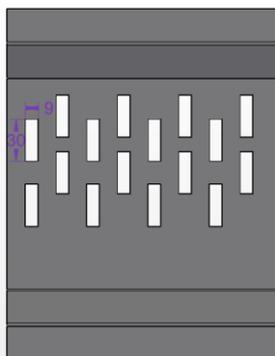


Figura 25 - Grelha de cinzas

Terminada a pirólise e a ignição do combustível, não é necessário fornecer ar à combustão primária, pelo que a entrada de ar primário pode ser fechada o que permite reduzir significativamente a taxa de combustão e a taxa de consumo de combustível.

Na segunda fase de operação do equipamento, o fornecimento de ar é feito, através das entradas secundárias para se efetuar a combustão dos gases inflamáveis resultantes da combustão primária.

Nas costas da câmara de combustão existem 11 furos com diâmetro de 7,5mm que equivale a uma área de aproximadamente 486mm². Para reduzir a diminuição da temperatura de combustão o ar fornecido para o varrimento do vidro é canalizado e pré-aquecido à medida que atravessa as costas e a parte superior da câmara de combustão. Este fornecimento de ar é feito através de 3 rasgos cada um com 55mm de comprimento e 5 mm de largura que traduzem uma área de secção de 825mm².

A área total é soma das áreas destas entradas na câmara e o seu valor é 1311mm².

Imediatamente após o fecho da entrada de ar primário, a área de passagem de ar secundário é de cerca de 1040mm² que representa aproximadamente 80% do valor da área das entradas secundárias na câmara de combustão. Contudo o mecanismo ainda pode ser regulado até uma posição mínima, onde a área de passagem passa a ser apenas cerca de 325mm² que representa cerca de 25% do valor da área da entrada de ar na câmara de combustão.

Nesta fase, o processo de combustão foi analisado seguindo os princípios de análise de escoamentos em regime permanente. Uma vez que é atingida uma temperatura elevada dentro da câmara de combustão e que a pressão dentro do equipamento é relativamente baixa podemos assumir que o ar se comporta como um gás ideal. Também foi considerado que a quantidade de ar presente no volume de controlo, isto é, a câmara de combustão, será a mesma ao longo do processo de combustão.

O caudal volúmico de um fluído, neste caso o ar atmosférico, é calculado através da equação 5.1:

$$Q_{vol} = A_{secção} \times V_{fluído} \quad [m^3/s] \quad \text{Eq.5.1}$$

Pela equação anterior conclui-se, que para o mesmo caudal volumétrico, se a área de secção diminuir a velocidade do escoamento do fluído tende a aumentar. Este fenómeno é interessante para o dimensionamento das entradas de ar, uma vez que recorrendo a uma diminuição da área da secção de passagem é possível fazer com que a velocidade de entrada do ar na câmara aumente e, desta forma se consiga obter melhor mistura entre o ar fresco e os gases libertados na combustão, favorecendo uma combustão mais completa e por consequência menor emissão de poluentes, no entanto uma redução excessiva na área de passagem pode provocar uma perda de carga mais elevada resultando numa diminuição do caudal volúmico.

5.2.3 Porta de acesso ao interior da câmara de combustão

A porta de acesso ao interior da câmara de combustão, foi projetada de modo a ser leve e simples de construir e com um custo de produção reduzido, no entanto tem de ser capaz de vedar em toda a superfície de contacto com a câmara de combustão, de forma a evitar entradas de ar parasita que prejudicam o processo de combustão. A porta tem de ser robusta o suficiente para evitar deformações causadas pela exposição à temperatura elevada durante a utilização do recuperador.

A porta é obtida, inicialmente, por corte laser de chapa de 2,5mm de espessura e de seguida é encaminhada para os processos de quinagem. O processo de quinagem da porta tem um total de 12 dobras por porta, sendo que as primeiras 4 dobras são feitas com recurso a uma ferramenta especial que permite obter o perfil onde será colocado o cordão de vedação, figura 26.



Figura 26 - Perfil obtido para alocar o cordão de vedação da porta.

As restantes operações de quinagem são operações de quinagem simples com um ângulo de dobragem de 90°.

Após as operações de quinagem, a porta segue para a secção de soldadura de acessórios e rebarbagem. Nesta secção os cantos da porta são soldados e nela são soldados os pinos que permitem a rotação e o guiamento da rotação da porta e os posicionadores do vidro.



Figura 27 - Fechamento dos cantos da porta com cordão de solda



Figura 28 - Pino para guia da rotação da porta

Por fim é feita uma rebarbagem nas superfícies soldadas e toda a superfície é lixada de modo a obter-se um acabamento superficial de melhor qualidade.

5.2.4 Dissipadores de calor

A eficiência energética do equipamento está fortemente relacionada com a sua capacidade de dissipar calor para o meio envolvente.

Uma estratégia muito utilizada atualmente nas indústrias das mais diversas áreas é aumentar a área disponível para as trocas de calor por convecção.

Visto tratar-se de um equipamento para aquecimento local as trocas de calor com o ambiente envolvente serão conseguidas sobretudo devido à transferência de calor por radiação através do vidro da porta e à transferência de calor por radiação e por convecção natural através das faces exteriores do recuperador. Como tal foram colocados um conjunto de dissipadores nas laterais, no topo e na traseira da câmara de combustão. A colocação destes dissipadores permitiu aumentar a área disponível para a troca de calor por convecção natural em cerca de 45%.

5.2.5 Capas exteriores

As capas exteriores são os componentes que conferem a parte estética do recuperador. Um conjunto de capas exteriores apelativas tornam o produto mais apetecível e, portanto, permitem que este se diferencie mais na altura em que o consumidor decide qual o equipamento que vai adquirir.

Além de conferirem um lado mais estético ao recuperador as capas também devem permitir que o ar do meio envolvente possa entrar em contacto com as faces exteriores da câmara de combustão para que a dissipação de calor seja eficiente. Tendo isto em mente, o conjunto de capas desenvolvido permite a entrada de ar à temperatura ambiente nos

rasgos inferiores e permite a saída deste ar, depois de aquecido, pelos rasgos na parte superior, figura 29.



Figura 29 - Rasgos nas capas laterais do protótipo

Na capa inferior também se encontra um conjunto de quatro componentes roscados que permitem acoplar diversos acessórios, por exemplo suportes diferentes, tornando o recuperador mais versátil.

O aspeto final do protótipo do recuperador pode ser visto na figura 30.



Figura 30 - Protótipo do recuperador de calor desenvolvido

5.3 Documentação auxiliar à produção

Para a construção do protótipo foram elaboradas instruções de quinagem de cada componente (Anexo I), foram desenvolvidos desenhos 2D auxiliares para o corte das placas de vermiculite e do vidro da porta (Anexo II) e foi elaborada a instrução de soldadura com as etapas e cuidados a serem seguidos durante o processo de soldadura do equipamento e dos seus acessórios (Anexo III). Visto que se trata de um protótipo, optou-se por não pintar o equipamento e visto que se trata de uma ordem de produção com apenas um equipamento o processo de montagem final dos componentes e acessórios foi realizada fora das linhas de montagem e pelo responsável do projeto.

6 Metodologia

6.1 Metodologia segundo a norma EN16510-1:2013

6.1.1 Ambiente de teste

A temperatura ambiente do laboratório de ensaios deve ser medida dentro de uma circunferência com raio de $1,2 \pm 0,1$ m, traçado desde as laterais do equipamento, a uma altura de $0,50 \pm 0,01$ m, acima da balança e longe de qualquer foco de radiação direta.

Para a medição da temperatura ambiente deve ser utilizado um termopar ou outro qualquer dispositivo de medição de temperatura e este deve estar devidamente protegido de radiação incidente. O termopar ou outro dispositivo de medição de temperatura utilizado deve ter uma incerteza que não ultrapasse os 2K.

A corrente de ar na vizinhança do equipamento em teste não deve ser superior a 0,5 m/s dentro da zona especificada anteriormente.

6.1.2 Secção de medição

Na secção de medição devem estar localizados os equipamentos de medição de temperatura, os equipamentos de recolha de amostras dos gases de combustão e também os equipamentos necessários à medição da pressão estática na saída dos gases de combustão. A secção de medição deve ser totalmente revestida com fibra mineral de 40 mm de espessura ou com outro material semelhante, a fim de fornecer uma condutividade térmica de $0,04 \text{ W}/(\text{m} \times \text{K})$ a uma temperatura média de 20 °C.

A disposição geral e as dimensões a considerar para a secção de medição encontram-se ilustradas na figura 31.

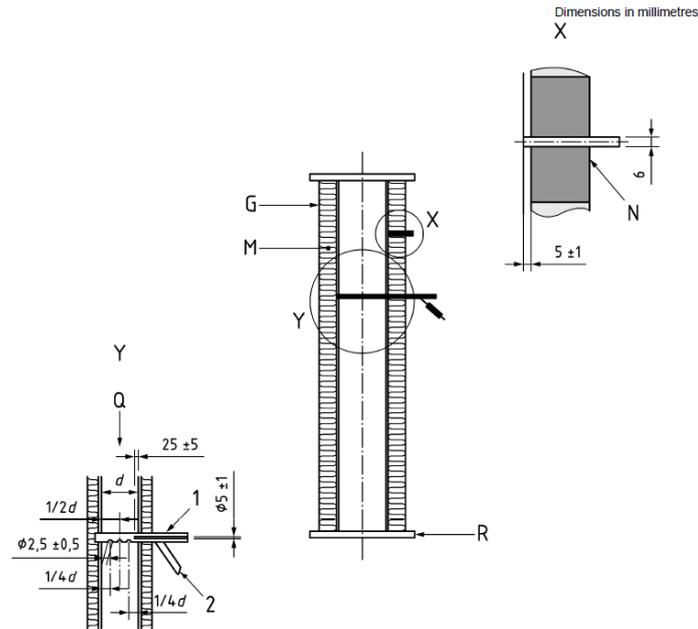


Figura 31 – Disposição geral e dimensões a ter conta para a secção de medição. [21]

Onde M representa o isolante, X a zona onde é medida a pressão estática na saída dos gases de combustão, Y a zona onde é medida a temperatura dos gases de combustão e onde são recolhidas as amostras de gases para análise, 1 é a saída para o termopar e 2 é a saída para recolha da amostra de gases.

6.1.3 Medição da temperatura dos gases de combustão

A medição dos gases de escape é feita com recurso a um termopar incorporado numa sonda de sucção como ilustrado na figura 31, onde a extremidade vedada da sonda encosta na parede oposta da seção de medição e a extremidade de saída se encontra ligada à linha de sucção. A sonda deve ter 3 orifícios para a recolha de amostras de gases e cada um dos orifícios deve ter $2,5 \pm 0,5$ mm de diâmetro. O diâmetro interno da sonda de sucção deve ser 5 ± 1 mm e a taxa de recolha de amostras deve ser ajustada de modo a ser atingida uma velocidade de recolha entre 20 e 25 m/s.

6.1.4 Amostragem dos gases de escape

A sonda de gases deve ser ligada a uma linha de amostragem aquecida aproximadamente a 195 °C, linha esta que termina nos equipamentos de análise dos gases de combustão. Os materiais usados na linha de amostragem devem ser suficientemente resistentes à temperatura utilizada, não devem ser quimicamente compatíveis com os

elementos dos gases de escape de modo a evitar processos de difusão mássica e devem garantir estanquicidade. Os equipamentos de análise dos gases também devem incorporar sistemas de secagem e arrefecimento das amostras de gases recolhidas.

6.1.5 Medição da pressão estática na saída dos gases de escape

Para a medição da tiragem dos gases de escape deve ser colocado um tubo com diâmetro interno de 6 mm na secção de medição, como ilustrado na secção X da figura 31.

6.1.6 Equipamentos de medição

Os equipamentos utilizados durante os ensaios, tais como os analisadores de gases, termopares e balanças, devem garantir as tolerâncias especificadas na tabela apresentada na figura 32 e o valor de pico medido para qualquer parâmetro deve estar enquadrado no alcance do equipamento de medição utilizado.

Table A.1 — Maximum uncertainty of measuring equipment

Parameter measured	Maximum uncertainty of measuring equipment
Gas analysis - CO - CO ₂ - O ₂ - NO _x - VOC	± 10 % of the measured value or ± 10 ppm (whatever is greater) ± 5 % of the measured value or ± 0,4 % vol (whatever is greater) ± 5 % of the measured value or ± 0,4 % vol (whatever is greater) ± 5 % of the measured value or ± 15 ppm (whatever is greater) ± 10 % of the measured value or ± 5 ppm (whatever is greater)
Temperature - Flue gas - Ambient room - Water - Surface - Touchable area	≤ 5 K ≤ 2 K ≤ 0,5 K (for the difference between feed water and return water) ≤ 2 K ≤ 2 K
Water flow	≤ 1,0 % of the actual flow rate at flows more than 500 kg/h, or ≤ 5 kg/h for flow rates below 500 kg/h
Cross-draught	≤ 0,2 m/s
Static pressure	≤ 1 Pa
Mass (equipment = scale) - Platform scale - Residue scale - Fuel load scale ≤ 7,5 kg > 7,5 kg - PM filter scale	± 50 g ± 5 g ± 5 g ± 10 g ± 0,5 mg (for the difference between unloaded and loaded filter)
PM and PME measurement - Dry gas meter - Sampling gas temperature - Filter holder temperature - Ambient pressure - Differential pressure gauge - Micro balance	± 2 % of sampled volume ± 0,5 K ± 0,5 K ± 1 % ± 1 Pa ± 0,5 mg

Figura 32 – Tolerâncias limite para os equipamentos de medição utilizados. [21]

6.1.7 Procedimentos de ensaio

6.1.7.1 Cama de brasas

A cama de brasas evita diminuições abruptas da temperatura no interior da câmara de combustão e facilita a ignição da carga de combustível seguinte. A massa de brasas necessária para a realização dos ensaios à potência nominal pode ser especificada pelo fabricante, contudo caso não o seja, esta deve ser 10% da massa total da carga de combustível com uma tolerância de ± 50 g.

6.1.7.2 Massa da carga de combustível

Segundo a norma, a massa da carga de combustível deve ser a mesma em cada ensaio efetuado e deve ser calculada segunda a equação 6.1.

$$M_a = \frac{360000 \times P \times t}{H_{i,f} \times \eta} \quad [\text{kg}] \quad \text{Eq.6.1}$$

Onde M_a é a massa da carga de combustível, $H_{i,f}$ é o poder calorífico inferior do combustível utilizado, η é a eficiência energética, P é a potência térmica nominal e t é o tempo de intervalo mínimo, em horas, entre recargas de combustível.

6.1.7.3 Composição dos gases de combustão

A medição da concentração dos produtos de combustão (CO , CO_2 , O_2 , NO_x e Partículas) deve ser feita de modo contínuo ou através de intervalos de medição que não excedam os 30 segundos.

6.1.7.4 Temperatura ambiente e dos gases de combustão

As duas temperaturas devem ser medidas de forma contínua ou em intervalos de tempo não superiores a 30 segundos. No final do ensaio devem ser registadas a temperatura média ambiente e a temperatura média dos gases de escape.

6.1.8 Ensaio de performance à potência nominal

Os ensaios de performance à potência nominal devem ser feitos utilizando a configuração para a secção de medição apresentada na figura 31. Estes ensaios consistem em duas partes distintas:

- Ignição e pré-ensaio;
- Ensaio

A duração do pré-ensaio deve ser suficiente para garantir que o equipamento atinge as condições normais de operação e se forma uma cama de brasas aceitável.

Durante o ensaio propriamente dito é permitido, após o carregamento de combustível, ajustar manualmente a(s) entrada(s) de ar durante um período máximo de 3 minutos e desta forma atingir uma ignição adequada. Após este período de tempo as entradas de ar devem ser reajustadas de modo a ser atingida a potência nominal declarada pelo fabricante e o equipamento terá de permanecer inalterado durante o tempo restante do ensaio. Este período de 3 minutos deve ser incluído como parte do ensaio e deve ser considerado para determinação da eficiência energética e medição de emissões, com exceção para a medição de emissões de partículas.

Os tempos mínimos de cada ensaio assim como o número mínimo de ensaios a realizar encontra-se na tabela da figura 33.

Table A.2 — Minimum duration and minimum number of cycles

Appliance	Fuel	cycles (1 batch)	
		Minimum duration	Minimum number
At nominal heat output			
Continuous burning	Wood, lignite briquettes, peat briquettes	1,5 h	3
Continuous burning	All other solid mineral fuel	4 h	2
Intermittent burning	Wood, lignite briquettes, peat briquettes	40 min	3
Intermittent burning	All other solid mineral fuel	1 h	2
At slow combustion			
Continuous burning	Wood, lignite briquettes, peat briquettes	3 h	3
Continuous burning	All other solid mineral fuel	12 h	2
Intermittent burning	Wood, lignite briquettes, peat briquettes	No requirement	
Intermittent burning	All other solid mineral fuel	10 h	2

Figura 33 – Durações mínima para um ensaio e número mínimo de ensaios a realizar. [22]

6.1.9 Métodos de cálculo

6.1.9.1 Perdas térmicas nos gases de combustão

As perdas térmicas através dos gases de combustão são determinadas pelas equações 6.2, 6.3 e 6.4.

$$C_r = 1,4925 \times H_{i,f} \times 10^{-5} \quad [\%] \quad \text{Eq.6.2}$$

$$Q_a = (T_{fg} - T_a) \times \left(\frac{C_{p,fg} \times (C_f - C_r)}{0,536 \times (CO + CO_2)} + C_{p,fgw} \times 1,244 \times \frac{(9 \times H_f + W_f)}{100} \right) \quad [\text{kJ/kg}] \quad \text{Eq.6.3}$$

$$q_a = \frac{100 \times Q_a}{H_{i,f}} \quad [\%] \quad \text{Eq.6.4}$$

6.1.9.2 Perdas térmicas associadas a ligações químicas nos gases de combustão

As perdas térmicas associadas a ligações químicas nos gases de combustão são determinadas através das equações 6.2, 6.5 e 6.6.

$$Q_b = 12644 \times CO \times \frac{C_f - C_r}{0,536 \times (CO + CO_2) \times 100} \quad [\text{kJ/kg}] \quad \text{Eq.6.5}$$

$$q_b = \frac{100 \times Q_b}{H_{i,f}} \quad [\%] \quad \text{Eq.6.6}$$

6.1.9.3 Eficiência Energética

A eficiência energética é calculada com recurso à equação 6.7.

$$\eta = 100 - (q_a + q_b + q_r) \quad [\%] \quad \text{Eq.6.7}$$

Onde q_r tem o valor de 0,5% para a queima de toros de lenha.

6.1.9.4 Potência térmica total

A potência térmica total é calculada com base no consumo de combustível por hora, no poder calorífico inferior do combustível e na eficiência energética. Esta relação é dada pela equação 6.8.

$$P = \frac{\eta \times M_h \times H_{i,f}}{100 \times 3600} \quad [\text{kW}] \quad \text{Eq.6.8}$$

6.1.9.5 Caudal mássico dos gases de combustão

O caudal mássico dos gases de combustão pode ser determinado através da equação 6.9.

$$\Phi_{f,g} = \frac{M_h \times 1,3 \times \left(\frac{C_f - C_r}{0,536 \times (\text{CO} + \text{CO}_2)} + 1,244 \times \left(\frac{9H_f + W_f}{100} \right) \right)}{3,6} \quad [\text{g/s}] \quad \text{Eq.6.9}$$

6.1.9.6 Concentração de CO a 13% de Oxigénio

A concentração de monóxido de carbono deve ser calculada considerando os seguintes pontos:

- O valor médio de CO, CO_{avg} , deve ser calculado como a média aritmética dos valores de CO adquiridos durante o ensaio
- O CO_{avg} deve ser convertido para a concentração de CO respeitante a uma concentração standard de oxigénio, neste caso a 13%

A concentração de monóxido de carbono é determinada recorrendo às equações 6.10 ou 6.11.

$$\text{CO}_{\text{content}} = \text{CO}_{\text{avg}} \times \frac{21 - \text{O}_{2,\text{avg}}}{21 - \text{O}_{2,\text{standard}}} \quad [\text{mg/m}^3] \quad \text{Eq.6.10}$$

$$\text{CO}_{\text{content}} = \text{CO}_{\text{avg}} \times \frac{\text{CO}_{2,\text{max}}}{\text{CO}_{2,\text{avg}}} \times \frac{21 - \text{O}_{2,\text{standard}}}{21} \quad [\text{mg/m}^3] \quad \text{Eq.6.11}$$

6.1.9.7 Medição de NO_x

O sistema de medição consiste em instrumentos analíticos tal como analisadores com células de quimiluminescência, com uma gama de medição entre 10 e 20000 mg/m³, sondas de gases com filtros de partículas e uma linha aquecida de transporte de amostras de gases.

A amostra de gás a ser analisada é extraída, com uma taxa de extração controlada, na zona Y da secção de medição apresentada na figura 31. A amostra passa num filtro para remover as partículas contaminantes, é aquecida e é posteriormente transferida até aos analisadores através da linha de transporte aquecida.

A figura 34 apresenta a representação esquemática do processo de amostragem e análise das emissões de NO_x.

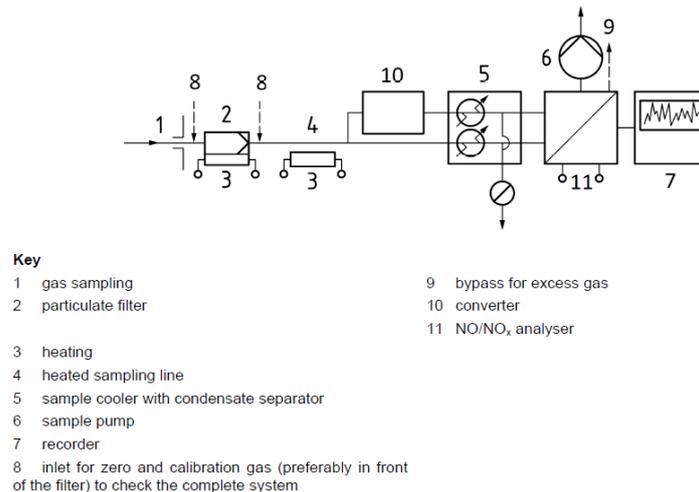


Figura 34 – representação esquemática do processo de amostragem e análise de emissões de NO_x. [21]

6.1.9.8 Método de cálculo para a concentração de NO_x

A concentração média de NO_x medida deve ser convertida para uma concentração média com base na concentração standard de 13% de oxigénio através da equação 6.12.

$$NO_x = NO_{x,measured} \times \frac{21 - O_{2,standard}}{21 - O_{2,avg}} \times d_{NO_2} \quad \text{Eq.6.12}$$

Onde d_{NO_2} é a densidade NO₂ a 13% de oxigénio e o seu valor é 2,05 kg/m³.

6.1.9.9 Medição de COG

O método de medição faz uso de um equipamento que incorpora um detetor de ionização de chama (FID).

A medição é feita continuamente com taxa controlada, passa por um filtro com objetivo de remover quaisquer partículas contaminantes que possam existir, e é respeitante ao teor total de hidrocarbonetos. A amostra é recebida no analisador em base húmida. O ponto de recolha da amostra também é na secção Y da secção de medição apresentada na figura 31.

6.1.9.9.1 Método de cálculo para a concentração de COG

O seguinte método de cálculo permite calcular a concentração, em base seca, de COG nos gases de combustão a 13% de oxigénio.

A concentração de COG é expressa em equivalentes de propano a 13% de oxigénio de acordo com a equações 6.13 e 6.14.

$$C_{\text{COG}} = \frac{(\text{THC} \times 36)}{22,4} \times \frac{\text{CO}_{2,\text{max}}}{\text{CO}_{2,\text{avg}}} \times \frac{21 - \text{O}_{2,\text{standard}}}{21} \times \frac{G_W}{G_D} \quad [\text{mg}/\text{m}^3] \quad \text{Eq.6.13}$$

$$C_{\text{COG}} = \frac{(\text{THC} \times 36)}{22,4} \times \frac{21 - \text{O}_{2,\text{standard}}}{21 - \text{O}_{2,\text{avg}}} \times \frac{G_W}{G_D} \quad [\text{mg}/\text{m}^3] \quad \text{Eq.6.14}$$

6.1.10 Medição de partículas

O anexo F da norma prEN16510-1:2013 referente ao procedimento para mediação da emissão de partículas indica dois métodos distintos para realizar a medição:

- Medição por amostragem parcial dos gases de combustão desde a secção de medição até a um filtro aquecido que separa a fração sólida da concentração total das partículas emitidas;
- Medição por amostragem parcial dos gases de combustão através de um túnel de diluição que utiliza um filtro à temperatura ambiente.

6.2 Metodologia utilizada

A realização de ensaios, denominados internamente de ensaios de rendimento e potência, segue os princípios especificados na norma prEN16510-1:2013 com vista a garantir que quando o equipamento segue para laboratórios externos, a obtenção de certificação esteja de alguma forma assegurada.

A primeira fase da preparação de ensaios no laboratório interno consiste na verificação do equipamento quanto a possíveis fugas, falhas nas ligações soldadas, montagem de componentes, etc. De seguida o recuperador é colocado na báscula e é realizada a montagem dos equipamentos de medição conforme o indicado pela norma. Esta montagem pode ser vista na figura 35.



Figura 35 - Preparação do protótipo para ensaio laboratorial conforme indicado pela norma EN16510-1

O pré-ensaio, tal como é referido na norma, deve durar até que sejam atingidas a condição de temperatura normal de funcionamento no interior do recuperador e de maneira que também possa ser obtida uma boa cama de cinzas.

Os ensaios podem terminar por 2 motivos distintos sendo estes o consumo total da carga de combustível e extinção da chama ou caso a duração mínima do ensaio ser atingida.

No decorrer dos ensaios são recolhidas amostras de gases de combustão para análise de emissão de CO, CO₂, O₂ e NO_x. A recolha de amostras para análise de emissão de partículas é feita com um equipamento isolado. Para efetuar a análise das amostras de gases recolhidas são utilizados 4 equipamentos distintos, um equipamento modelo 4900 Continuous Emission Analyser da Servomex para a medição das concentrações mássicas de CO, de CO₂ e de O₂, um equipamento modelo Servopro 4900 da Servomex para a medição

da quantidade, em ppm, de NO, de CO e de NO_x e um modelo Thermo-FID ES da SK-Eletronics para a medição da concentração de COG em mg/m³. As medições de CO, CO₂, O₂ e NO_x são feitas em base seca e as medições de COG são feitas utilizando diretamente a amostra recolhida na sonda. A medição de partículas é feita com recurso ao equipamento Testo 330-2L que está incorporado no conjunto Testo 380. A linha de transporte das amostras de gases desde a sonda até aos analisadores foi fornecida pela JCT Analysentechnik GmbH. O equipamento utilizado para a medição da humidade do combustível é fabricado pela Wöhler e é o modelo HF 550.

A instalação dos equipamentos de medição, assim como o software informático para a recolha de dados e o respetivo processamento dos mesmo foram realizados pela Tecnilab, S.A.

6.2.1 Potência térmica útil esperada

O combustível utilizado durante os testes de potência e emissões do equipamento é madeira de Faia com poder calorífico inferior anunciado pelo fornecedor de 15606 kJ/kg. Posto isto, e sabendo que os ensaios têm uma duração mínima de 45 minutos (2700 segundos) é possível estimar a potência térmica máxima que o equipamento será capaz de fornecer nesse intervalo de tempo, recorrendo às equações 6.15, 6.16, 6.17 e 6.18.

$$H_{i,f, \text{combustível}} = 15606 \text{ [kJ/kg]} \quad \text{Eq.6.15}$$

$$m_{\text{combustível, média}} = 2 \text{ [kg]} \quad \text{Eq.6.16}$$

$$\Delta t_{\text{ensaio}} = 2700 \text{ [s]} \quad \text{Eq.6.17}$$

$$P_{\text{térmica, máx}} = \frac{H_{i,f, \text{combustível}} \times m_{\text{combustível, média}}}{\Delta t_{\text{ensaio}}} = 11,56 \text{ [kW]} \quad \text{Eq.6.18}$$

Contudo esta potência só será atingida com uma eficiência térmica de 100%, algo que ainda não é possível de atingir neste tipo de equipamentos. Espera-se que o rendimento térmico no equipamento seja no mínimo 75%, pelo que a potência térmica esperada num ensaio com uma carga de combustível de 2 kg será de aproximadamente 8,7 kW.

7 Resultados e análise de resultados

7.1 Equipamentos concorrentes

Foram realizados ensaios no laboratório interno de testes na Solzaima, S.A. para obter uma melhor compreensão do funcionamento dos equipamentos concorrentes e a influência de certos parâmetros tais como a regulação da entrada de ar para varrimento do vidro, entrada de ar secundário e a disposição, geometria e quantidade de combustível (lenha) a colocar na câmara de combustão.

7.1.1 Bosca Eco 380

A tabela 6 apresenta os valores obtidos durante a primeira série de ensaios com o recuperador Bosca Eco 380.

Tabela 6 – Resultados obtidos na primeira série de ensaios com o recuperador Bosca Eco 380

Parâmetros	Ecodesign	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Média
O ₂ [%vol]	-	7,50	8,86	8,67	9,99	8,76
CO ₂ [%vol]	-	12,16	10,53	10,79	9,17	10,66
CO [%vol]	0,12	0,1420	0,1551	0,1231	0,0979	0,0976
Partículas [mg/m ³]	40,0	-	-	-	-	-
NO _x [mg/m ³]	200,0	86,41	88,49	99,68	95,86	92,6
COG [mg/m ³]	120,0	159,6	152,4	148,3	101,9	140,6
T _{gases} [°C]	-	441,8	428,6	446,0	431,7	437,0
Carga de combustível [kg]	-	3,10	2,25	3,06	3,44	2,96
Tempo ensaio [min]	-	45	39	45	60	47,25
Consumo de combustível [kg/h]	-	4,06	3,39	3,56	2,41	3,40
Eficiência energética [%]	≥ 65	68,39	65,93	65,51	62,12	65,49
Potência térmica [kW]	-	12,04	9,68	10,1	6,48	9,6
Depressão [Pa]	12 ± 2	10,68	10,73	12,65	12,380	11,60
Humidade combustível [%]	-	13,00	13,00	12,00	14,00	13,00
T _{ambiente} [°C]	-	16,7	18,7	20,5	21,3	19,3
Nº Toros	-	3	2	3	2	-
t _{ar primário} [s]	-	180	180	180	180	-

A primeira série permitiu concluir que a melhor disposição do combustível seria utilizar 2 toros colocados longitudinalmente no interior da câmara de combustão. Concluiu-se também que a grelha de cinzas/fundo da câmara de combustão, do modo que se encontra configurada, afeta negativamente o funcionamento da salamandra pois não permite a correta remoção de cinzas da câmara de combustão originando desta forma uma cama de brasas excessiva que diminui a circulação de ar culminando num aumento de

emissões de CO e COG. Outro problema detectado está relacionado com o uso de tijolo refratário no revestimento do interior da câmara. Este material tem uma elevada inércia térmica o que com o acumular de ensaios realizados tende a saturar a capacidade térmica da chapa metálica que constitui o corpo da câmara de combustão tornando o arranque do ensaio seguinte mais violento com uma taxa de desvolatilização elevada levando ao aumento do nível de emissão de CO e COG.

Em geral foi atingida a potência anunciada pelo fabricante, contudo a eficiência energética ficou muito distante do anunciado. Relativamente aos requisitos de Ecodesign para emissões poluentes, estes não foram atingidos com exceção no último ensaio, no entanto, em detrimento da potência térmica e da eficiência térmica.

Na segunda série de ensaios foram realizadas ligeiras alterações na câmara de combustão. As alterações efetuadas foram a troca dos tijolos refratários por placas de vermiculite, para diminuir a inércia térmica do isolante da câmara de combustão, e tapou-se o furo localizado ao fundo da porta pois concluiu-se que o facto do ar entrar livremente por este furo acelerava excessivamente o processo de combustão. A carga de combustível utilizada na primeira série de ensaios era excessiva pela que se optou por reduzi-la mantendo o número de toros e a sua disposição na câmara inalterados.

A tabela 7 apresenta os resultados obtidos na segunda série de ensaios.

Tabela 7 - Resultados obtidos na segunda série de ensaios com o recuperador Bosca Eco 380

Parâmetros	Ecodesign	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Média
O ₂ [%vol]	-	10,81	10,34	11,38	11,02	10,22	10,75
CO ₂ [%vol]	-	8,52	8,84	7,66	7,96	8,79	8,35
CO [%vol]	0,12	0,0977	0,0999	0,0625	0,1023	0,1258	0,0976
Partículas [mg/m ³]	40,0	-	-	-	-	-	-
NO _x [mg/m ³]	200,0	100,56	108,17	113,51	11,22	94,78	105,65
COG [mg/m ³]	120,0	116,3	131,8	54,3	94,9	131,3	105,7
T _{gases} [°C]	-	403,0	419,9	391,5	392,9	417,1	404,9
Carga de combustível [kg]	-	2,23	2,49	2,40	2,72	2,49	2,47
Tempo ensaio [min]	-	39	45	50	55	45	46,8
Consumo de combustível [kg/h]	-	3,03	2,88	2,87	2,62	3,20	2,92
Eficiência energética [%]	70 a 80	63,00	62,30	60,80	61,90	62,11	62,01
Potência térmica [kW]	-	8,26	7,77	7,57	7,03	8,62	7,85
Depressão [Pa]	12 ± 2	10,81	12,06	11,85	11,26	12,44	11,68
Humidade combustível [%]	-	7,00	12,00	13,00	11,00	15,00	11,60
T _{ambiente} [°C]	-	18,8	21,5	21,7	21,9	22,3	21,2
Nº Toros	-	2	2	2	2	2	-
t _{ar primário} [s]	-	180	180	180	180	180	-

Com estas alterações podemos constatar que o processo de combustão, durante o decorrer dos ensaios, foi muito mais controlado, a temperatura média dos gases de escape desceu cerca de 8% relativamente aos valores obtidos na primeira gama de ensaios, no entanto o rendimento térmico caiu cerca de 3%. Também foi possível atingir valores para as emissões poluentes dentro dos requisitos exigidos para a conceção ecológica de equipamentos, isto é, os requisitos de Ecodesign.

7.1.2 Panadero Vera

O segundo equipamento analisado foi o modelo Vera/Dana do fabricante Panadero. Como referido anteriormente, o fabricante anuncia que o equipamento cumpre os requisitos exigidos pelas normas de Ecodesign relativamente à performance energética e emissão de poluentes.

A análise exterior do equipamento não permite obter conhecimento suficiente sobre o funcionamento do equipamento relativamente ao controlo da entrada de ar. Como tal, foram também realizados ensaios laboratoriais com este equipamento.

A primeira série de ensaios foi realizada utilizando uma carga de combustível entre 1 e 2 kg dividida em 2 toros de madeira, como indicado pelo fabricante no manual do utilizador.

Tabela 8 - Resultados obtidos na primeira série de ensaios com o recuperador Panadero Vera

Parâmetros	Ecodesign	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Ensaio 5	Ensaio 6	Ensaio 7	Ensaio 8	Média
O ₂ [%vol]	-	8,00	8,77	10,06	10,56	8,57	8,27	10,88	11,57	9,59
CO ₂ [%vol]	-	12,40	11,29	9,79	8,97	11,40	11,61	8,65	7,78	10,24
CO [%vol]	0,12	0,2096	0,2935	0,2334	0,3161	0,3005	0,2383	0,3271	0,3722	0,2863
Partículas [mg/m ³]	40,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-
NO _x [mg/m ³]	200,0	86,4	90,3	95,0	89,9	76,9	75,1	77,0	90,6	85,1
COG [mg/m ³]	120,0	1532,5	1288	1087,3	611,0	850,3	1725,9	2083,15	1940,0	1290,7
T _{gases} [°C]	-	322,4	258,3	301,7	270,9	224,0	235,6	250,7	257,5	265,2
Carga de combustível [kg]	-	1,95	1,60	2,30	1,10	1,05	1,45	1,38	1,68	1,56
Tempo ensaio [min]	-	33	41	37	33	29	34	30	33	33,75
Consumo de combustível [kg/h]	-	4,30	2,92	3,71	2,50	2,01	3,14	3,17	3,08	3,10
Eficiência energética [%]	70 a 80	78,1	80,8	75,6	76,2	83,5	83,4	77,5	74,6	78,7
Potência térmica [kW]	-	14,5	10,3	12,2	8,3	7,3	11,4	10,7	10,0	10,6
Depressão [Pa]	12 ± 2	11,84	10,45	11,37	10,68	9,28	9,62	10,51	10,87	10,58
Humidade combustível [%]	-	8,9	13,5	12,0	11,8	12,3	13,0	13,0	13,0	12,2
T _{ambiente} [°C]	-	24,8	28,2	29,8	30,3	29,1	30,1	31,6	31,7	29,5
Nº Toros	-	2	2	2	2	2	2	2	2	-
t _{ar primário} [s]	-	180	180	180	180	180	180	180	180	-

Como podemos ver através dos resultados obtidos, apresentados na tabela 8 a salamandra em questão atinge uma boa eficiência energética e conforme a cargas de combustível consegue obter também uma boa potência térmica útil. Em nenhum dos ensaios realizados se consegui atingir o tempo mínimo para que se possa considerar o ensaio como válido segundo as normas de Ecodesign. O consumo de combustível por hora e os valores de CO e COG presentes nos gases de combustão foram bastante elevados o que traduz um processo de combustão muito acelerado e uma combustão bastante incompleta, tendo em conta os valores de oxigénio medidos. Foi também detetada uma

fuga de ar na porta junto ao fecho o que permite a entrada de uma quantidade extra de ar para a combustão, que também tem uma influência negativa quanto à taxa de consumo de combustível. A defletora de fumos apresenta uma folga excessiva com as laterais do equipamento e permite que os gases de escape se dirijam diretamente para a chaminé. Por último, verificou-se que o registo de ar nunca pode ser colocado na posição mínima visto que ao ser colocado nesta posição a entrada de ar, não contabilizando a fuga detetada, fica completamente fechada e o equipamento tende a sufocar e extinguir a chama.

Na segunda série de ensaios manteve-se as mesmas condições da primeira série, mas o mecanismo de regulação nunca foi colocado na posição mínima de modo que a entrada de ar nunca fosse fechada na totalidade.

A tabela 9 apresenta os resultados obtidos na segunda série de ensaios.

Tabela 9 - Resultados obtidos na segunda série de ensaios com o recuperador Panadero Vera

Parâmetros	Ecodesign	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média
O ₂ [%vol]	-	9,38	10,25	13,04	10,89
CO ₂ [%vol]	-	11,08	9,87	6,73	9,23
CO [%vol]	0,12	0,3315	0,3474	0,4024	0,3604
Partículas [mg/m ³]	40,0	-	-	-	-
NO _x [mg/m ³]	200,0	92,1	83,5	87,2	87,6
COG [mg/m ³]	120,0	2755,6	2200,5	2217,0	2391,0
T _{gases} [°C]	-	256,4	244,0	232,9	244,4
Carga de combustível [kg]	-	2,07	1,40	1,50	1,66
Tempo ensaio [min]	-	38	29	35	34
Consumo de combustível [kg/h]	-	3,74	3,23	2,85	3,27
Eficiência energética [%]	70 a 80	80,3	79,6	73,8	77,9
Potência térmica [kW]	-	13,0	11,2	9,1	11,1
Depressão [Pa]	12 ± 2	11,95	11,91	11,98	11,95
Humidade combustível [%]	-	9,6	9,7	9,7	9,7
T _{ambiente} [°C]	-	22,3	23,8	25,9	24,0
Nº Toros	-	2	2	2	-
t _{ar primário} [s]	-	180	180	180	-

Como é possível observar pelos resultados obtidos o comportamento do equipamento foi bastante semelhante mantendo a tendência de incumprimento dos requisitos estabelecidos pelo Ecodesign.

7.2 Protótipo desenvolvido

Antes de serem efetuados os ensaios laboratoriais para avaliar o comportamento do equipamento relativamente à eficiência energética e emissão de poluentes foram realizadas queimas para que se pudesse avaliar e retirar algumas conclusões prévias relativamente ao funcionamento do equipamento, mais concretamente a resposta e capacidade de fornecimento de ar ao processo de combustão. Verificou-se que o registo tem uma resposta relativamente rápida, isto é, o fornecimento de ar ajusta-se relativamente rápido à maior ou menor abertura das entradas de ar. Também se concluiu que a entrada de ar primário aparentava estar sobredimensionada permitindo a entrada excessiva de ar para a combustão primária que pode levar a uma taxa de consumo excessiva resultante de uma taxa de combustão muito alta. A entrada de ar secundário tal como se encontrava aparentava estar subdimensionada visto não ter capacidade de fornecer ar suficiente à combustão quando a entrada de ar primário era totalmente fechada. Este fornecimento insuficiente de ar pode levar a acumulação excessiva de gases inflamáveis, resultantes da pirólise, no interior da câmara de combustão que com uma entrada súbita de oxigénio pode originar uma explosão agressiva dentro do equipamento. Para ultrapassar este problema a chapa, apresentada na figura 24, que regula a entrada de ar secundário foi alterada de modo a aumentar a área disponível para a entrada de ar. A nova geometria deste componente pode ser observada na figura 36.



Figura 36 - Nova chapa para regular a abertura da entrada de ar para a combustão secundária

Com esta alteração a área de abertura da entrada de ar secundário na posição máxima, após o fecho da entrada de ar primário, passou de cerca de 1040mm^2 para 1750mm^2 e a área de abertura, da mesma entrada de ar, na posição mínima, passou de 325mm^2 para 927mm^2 . Desta forma, na posição máxima, o registo deverá conseguir garantir o fornecimento suficiente de ar para o processo de combustão e caso se verifique que a taxa de combustão é elevada ainda existe a possibilidade de reduzir a área de abertura até ser atingida a posição mínima do registo. Com a alteração efetuada verificou-

se que o recuperador diminui ligeiramente a tendência a sufocar e permite obter uma combustão mais estável.

7.2.1 Primeira série de ensaios

Feitas as alterações preliminares referidas seguiram-se os ensaios laboratoriais do recuperador para aferir a potência térmica, a eficiência energética e a quantidade de poluentes emitidos pelo equipamento seguindo o procedimento indicado na secção 6.2.

Iniciou-se os ensaios utilizando 2 toros com um comprimento de aproximadamente 250mm, figura 37, colocados transversalmente na câmara de combustão.



Figura 37 - Configuração inicial com 2 toros de 25cm.

Na primeira série de ensaios foram identificados alguns problemas que condicionavam o correto funcionamento do equipamento, nomeadamente, foi comprovado que a entrada de ar primária se encontrava de facto sobredimensionada prejudicando o arranque do ensaio uma vez que o tornava demasiado agressivo e acelerado acabando por influenciar negativamente a emissão de poluentes no resto do ensaio, [14]. Outro problema identificado era o excesso de pressão nas entradas de ar localizadas nas costas do equipamento. Este excesso de pressão era visível na chama que era projetada contra o vidro o que limitava a ação de limpeza do mesmo e agravava a perda de pressão no escoamento de ar canalizado para o varrimento do vidro sendo que o escoamento deste sofria um efeito estilo bypass, uma vez que tinha tendência a dirigir-se logo para a saída de fumos do recuperador. Estes problemas têm uma grande influência na qualidade da mistura de gases uma vez que a configuração do equipamento está projetada de modo que o ar proveniente da limpeza do vidro aproxime a chama das entradas de ar secundário nas

costas da câmara de combustão e assim, promover o aumento da turbulência no interior da câmara com vista a melhorar a qualidade da mistura.

Os resultados dos melhores ensaios realizados na primeira série encontram-se na tabela 10.

Tabela 10 - Resultados da primeira série de ensaios.

Parâmetros	Ecodesign	Ensaio 1	Ensaio 2	Média
O ₂ [%vol]	-	10,98	10,63	10,81
CO ₂ [%vol]	-	9,08	9,50	9,3
CO [%vol]	0,12	0,2607	0,1817	0,2212
Partículas [mg/m ³]	40,0	-	-	-
NO _x [mg/m ³]	200,0	94,4	98,4	96,41
COG [mg/m ³]	120,0	288,2	258,1	273,1
T _{gases} [°C]	-	270,5	288,7	279,6
Carga de combustível [kg]	-	1,30	1,65	1,47
Tempo ensaio [min]	-	30	40	35
Consumo de combustível [kg/h]	-	1,59	2,20	1,90
Eficiência energética [%]	≥ 65	76,2	76,0	76,1
Potência térmica [kW]	-	5,2	7,3	6,3
Depressão [Pa]	12 ± 2	11,35	12,16	11,76
Humidade combustível [%]	-	11,9	11	11,5
T _{ambiente} [°C]	-	22,3	22,7	22,5
Nº Toros	-	2	2	-
t _{ar primário} [s]	-	120	120	-

7.2.1.1 Alterações realizadas no equipamento após a primeira série de ensaios

De forma a ultrapassar os problemas identificados foram estabelecidas algumas medidas corretivas à configuração do equipamento. Para reduzir o efeito da combustão primária, no arranque do ensaio, e torná-lo menos agressivo reduziu-se em 40% a área de passagem da chapa que regula a entrada de ar primário. Para diminuir a pressão nas entradas de ar localizadas nas costas da câmara de combustão aumentou-se o diâmetro dos furos de 7,5mm para 8mm segundo o princípio de que, para o mesmo caudal, um aumento na área de secção de passagem provoca uma redução na velocidade do escoamento, tal como apresentado na equação 7.1. Para tentar ultrapassar a fraca limpeza do vidro observada foi alterada a geometria da defletora do vidro tornando-a mais comprida 30mm numa tentativa de conseguir fazer chegar o ar até ao fundo do vidro, figura 38.



Figura 38 - Alteração efetuada na defletora do vidro. Aumento de 30mm.

7.2.2 Segunda série de ensaios

A segunda série de ensaios foi realizada já com as alterações referidas em vigor. O número de toros utilizados assim como a sua configuração na câmara de combustão foram mantidas, contudo passou a utilizar-se toros com apenas 200mm de comprimento.

Com as alterações realizadas foi possível reduzir os valores de emissões poluentes, contudo os valores de emissão de CO e COG continuam acima dos limites legais exigidos pelo Ecodesign. Em termos de potência térmica e eficiência térmica obtidas, não existiram alterações significativas. Verificou-se também uma ligeira diminuição da pressão nas entradas de ar nas costas da câmara de combustão, no entanto, esta continuava a ser demasiado elevada e continuava a prejudicar o do varrimento do vidro.

Os resultados dos melhores ensaios obtidos na segunda série de ensaios podem ser consultados na tabela 11.

Tabela 11 – Resultados da segunda série de ensaios

Parâmetros	Ecodesign	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Média
O ₂ [%vol]	-	11,80	10,77	11,41	11,33
CO ₂ [%vol]	-	8,25	9,42	8,58	8,75
CO [%vol]	0,12	0,1554	0,1657	0,2219	0,1810
Partículas [mg/m ³]	40,0	-	-	-	-
NO _x [mg/m ³]	200,0	99,7	98,7	92,8	97,08
COG [mg/m ³]	120,0	115,4	116,9	174,8	135,7
T _{gases} [°C]	-	265,1	278,5	274,3	272,6
Carga de combustível [kg]	-	1,34	1,60	1,68	1,54
Tempo ensaio [min]	-	30	30	41	34
Consumo de combustível [kg/h]	-	1,85	1,87	2,04	1,92
Eficiência energética [%]	≥ 65	75,6	76,8	75,3	75,9
Potência térmica [kW]	-	6,1	6,2	6,6	6,3
Depressão [Pa]	12 ± 2	10,15	10,72	11,69	10,85
Humidade combustível [%]	-	12,6	13,8	13,6	13,3
T _{ambiente} [°C]	-	22,8	23,5	25,9	24,1
Nº Toros	-	2	2	2	-
t _{ar primário} [s]	-	180	180	180	-

Após alguma análise ao comportamento do equipamento, conclui-se que o problema detetado no fornecimento de ar para a combustão secundária não estava relacionado com o fornecimento insuficiente de ar, mas sim, devido á fraca mistura entre os gases combustíveis e o ar novo. Esta falta de capacidade de promover a mistura entre o ar e os gases era fortemente agravada devido às quedas de pressão que ocorriam em todo o canal de fornecimento de ar para a limpeza do vidro. Estas quedas de pressão encontram-se localizadas na entrada de ar, na ligação entre a caixa de ar e a entrada do canal, na curva a 90° entre as costas da câmara de combustão e parte superior da mesma e na ligação entre o canal e a saída de ar para o varrimento do vidro, figura 39.

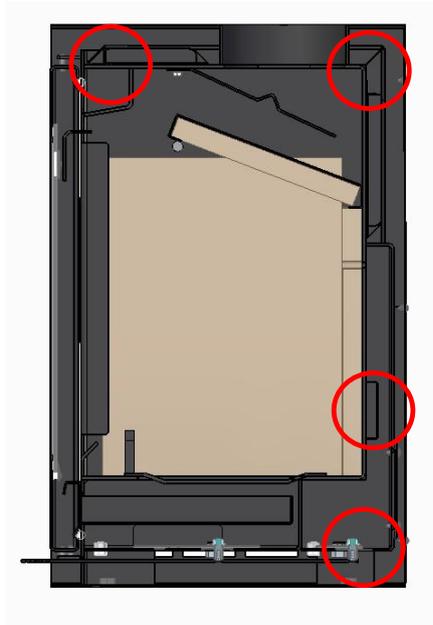


Figura 39 - Perdas de carga identificadas no escoamento do ar canalizado para o varrimento do vidro.

7.2.2.1 Alterações realizadas no equipamento após a segunda série de ensaios

Para ultrapassar a perdas de pressão detetadas, foi incorporado um novo canal com ligação à caixa de regulação das entradas de ar. Este novo canal tem uma abertura de maiores dimensões na ligação à caixa de ar, figura 41, e permite a entrada de ar desde o início do canal, até ao nível em que se encontram os furos nas costas da câmara de combustão, o que permite retirar parte do ar destas entradas e canalizá-lo para o varrimento do vidro, ao mesmo tempo que permite reduzir a queda de pressão nesta secção. A geometria deste novo canal e a alteração feita na câmara de combustão, podem ser observadas nas figuras 40, 41, 42 e 43.



Figura 40 - Câmara de combustão antes da colocação do segundo canal.



Figura 41 - Segundo canal para direcionamento do ar para o varrimento do vidro.



Figura 42 - Abertura de uma segunda entrada para fornecimento de ar para o varrimento do vidro.



Figura 43 - Configuração final da câmara de combustão após a colocação do segundo canal.

7.2.3 Terceira série de ensaios

A terceira série de ensaios revelou algumas melhorias na performance do equipamento, após as alterações efetuadas após a segunda série de ensaios.

Constatou-se que apesar das melhorias obtidas os valores de emissão de CO continuavam acima dos valores exigidos pelo Ecodesign.

A fase de arranque continuava ligeiramente instável o que acabava por influenciar o resto do ensaio. A pressão nas entradas localizadas nas costas da câmara de combustão reduziu bastante, mas continuava a ser excessiva e verificou-se uma tendência para a extinção da chama pelo que os ensaios tiveram de ser realizados com a entrada de ar primário ligeiramente aberta, afetando negativamente o tempo de duração do ensaio e a eficiência térmica obtida. A limpeza do vidro melhorou significativamente assim como a mistura entre os gases combustíveis e o ar novo.

Os resultados obtidos durante os melhores ensaios da terceira série encontram-se apresentados na tabela 12.

Tabela 12 - Resultados da terceira série de ensaios

Parâmetros	Ecodesign	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Média
O ₂ [%vol]	-	10,3	11,61	10,64	11,66	11,30
CO ₂ [%vol]	-	10,22	8,51	9,71	8,52	8,91
CO [%vol]	0,12	0,1180	0,1252	0,1266	0,1197	0,1238
Partículas [mg/m ³]	40,0	-	-	-	-	-
NO _x [mg/m ³]	200,0	99,3	110,3	98,5	90,4	99,74
COG [mg/m ³]	120,0	190,9	91,4	65,7	93,7	83,6
T _{gases} [°C]	-	288,5	305,3	297,4	293,7	298,8
Carga de combustível [kg]	-	1,56	1,69	1,65	1,50	1,61
Tempo ensaio [min]	-	36	35	39	41	38
Consumo de combustível [kg/h]	-	2,15	1,83	2,06	2,01	1,97
Eficiência energética [%]	≥ 65	77,8	72,7	76,4	74,2	74,5
Potência térmica [kW]	-	7,3	5,8	6,8	6,5	6,3
Depressão [Pa]	12 ± 2	12,46	14,71	12,83	12,69	13,41
Humidade combustível [%]	-	12,9	13	12,8	12,3	12,7
T _{ambiente} [°C]	-	24,3	25,5	29,1	29,1	27,9
Nº Toros	-	2	2	2	2	-
t _{ar primário} [s]	-	180	180	180	1800	-

Após estas 3 séries de ensaios concluiu-se que a câmara de combustão é demasiado alta, para a altura das cargas de combustível utilizadas, originando um grande volume entre as entradas nas costas e a chama acima da superfície do combustível. Este problema de configuração tende a criar uma zona mais fria no interior da câmara de combustão afetando a performance do recuperador.

7.2.3.1 Alterações realizadas no equipamento após a terceira série de ensaios

Finda a terceira série de ensaios foi aumentada a área de passagem de ar, para o varrimento e limpeza do vidro com o intuito de diminuir ainda mais a pressão nas entradas localizadas nas costas da câmara de combustão e melhorar a mistura de gases, figura 44.



Figura 44 - Alargamento da área de passagem da área para o varrimento do vidro.

7.2.4 Quarta série de ensaios

Na quarta série de ensaios, a disposição e a massa do combustível no interior da câmara de combustão mantiveram-se, mas passou a utilizar-se 3 toros de modo a aproximar a chama às entradas de ar secundário nas costas da câmara combustão. A nova configuração do combustível utilizada pode ser vista na figura 45.



Figura 45 - Configuração de carga de combustível com 3 toros.

Os resultados obtidos na quarta série de ensaios encontram-se apresentados na tabela 13.

Tabela 13 - Resultados da quarta série de ensaios

Parâmetros	Ecodesign	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Média
O ₂ [%vol]	-	10,74	10,25	8,32	10,77	10,02
CO ₂ [%vol]	-	9,48	10,02	12,27	9,32	10,27
CO [%vol]	0,12	0,1100	0,0829	0,0719	0,1192	0,0960
Partículas [mg/m ³]	40,0	-	-	-	-	
NO _x [mg/m ³]	200,0	112,3	129,5	11,3	118,0	117,78
COG [mg/m ³]	120,0	78,2	80,2	127,7	106,0	98,0
T _{gases} [°C]	-	285,0	312,1	310,3	299,5	301,7
Carga de combustível [kg]	-	1,93	1,94	1,86	1,86	1,89
Tempo ensaio [min]	-	45	45	38	41	42
Consumo de combustível [kg/h]	-	2,19	2,52	2,42	2,17	2,33
Eficiência energética [%]	≥ 65	76,6	75,4	79,1	74,9	76,5
Potência térmica [kW]	-	7,3	8,3	8,3	7,1	7,7
Depressão [Pa]	12 ± 2	11,81	13,06	13	12,77	12,66
Humidade combustível [%]	-	12,2	12,8	13,2	13,2	12,9
T _{ambiente} [°C]	-	21,9	21,5	21,2	22,1	21,7
Nº Toros	-	3	3	3	3	-
t _{ar primário} [s]	-	180	180	180	180	-

Com as alterações efetuadas verificou-se que os escoamentos de gases, ilustrados nas figuras 26 e 27, estavam a ser atingidos, resultando numa mistura entre gases e ar novo mais eficiente. A chama encontrava-se mais perto dos furos nas costas da câmara combustão, como pretendido. Regra geral conseguiu-se obter valores médios de emissões dentro dos limites impostos pelo Ecodesign.

7.2.4.1 Alterações realizadas no equipamento após a quarta série de ensaios

Os resultados obtidos na quarta série de ensaios são satisfatórios e encontram-se dentro dos limites legais, contudo ainda existe margem para melhorar a performance do equipamento, sem prejudicar significativamente o custo do mesmo. Verificou-se que a fila superior de furos nas costas da câmara de combustão não estava a ser benéfica para a performance do recuperador e permitia a entrada de oxigénio em demasia na fase final do ensaio prejudicando a eficiência energética. Para reduzir este efeito foram tapados os 3 furos do centro da fila superior da entrada de ar secundário nas costas da câmara combustão.

7.2.5 Quinta série de ensaios

Na quinta série de ensaios, o recuperador foi ensaiado, com os 3 furos do centro da fila superior tapados, sendo efetuados 2 ensaios com esta configuração.

Nesta série de ensaios o fecho da abertura do ar primário foi gradual, ao contrário das restantes séries de ensaios, com vista a tornar a fase de arranque mais suave. Assim a estratégia adotada foi a de manter a entrada de ar primário totalmente aberta durante os 60 segundos iniciais do ensaio, mantendo a mesma aberta a 50% durante os restantes 120 segundos.

A tabela 14 apresenta os resultados obtidos na primeira parte da quinta série de ensaios.

Tabela 14 - Resultados da quinta série de ensaios.

Parâmetros	Ecodesign	Ensaio 1	Ensaio 2	Média
O ₂ [%vol]	-	9,83	10,28	10,01
CO ₂ [%vol]	-	10,56	10,01	10,29
CO [%vol]	0,12	0,0621	0,0511	0,0566
Partículas [mg/m ³]	40,0	-	-	-
NO _x [mg/m ³]	200,0	115,4	134,3	124,85
COG [mg/m ³]	120,0	65,8	38,5	52,1
T _{gases} [°C]	-	298,2	294,1	296,1
Carga de combustível [kg]	-	1,68	1,75	1,72
Tempo ensaio [min]	-	38	45	42
Consumo de combustível [kg/h]	-	2,43	2,20	2,32
Eficiência energética [%]	≥ 65	77,9	77,4	77,7
Potência térmica [kW]	-	8,2	7,4	7,8
Depressão [Pa]	12 ± 2	11,27	10,61	10,94
Humidade combustível [%]	-	11,9	12,4	12,2
T _{ambiente} [°C]	-	24,3	25,2	24,7
Nº Toros	-	3	3	-
t _{ar primário} [s]	-	180	180	-

A performance do equipamento melhorou significativamente com o fecho dos 3 furos referidos anteriormente. A quantidade de oxigénio, em termos médios, diminuiu na fase final do ensaio o que permitiu conseguir um ganho, em termos médios, de 1,2% na eficiência energética relativamente aos resultados obtidos na quarta série de ensaios e os valores de CO e de COG diminuíram significativamente.

7.2.5.1 Alterações realizadas no equipamento após a quinta série de ensaios

Tendo em conta os resultados obtidos, na quinta série de ensaios, fecharam-se as restantes entradas de ar da fila superior da entrada de ar secundária das costas da câmara de combustão, passando o equipamento a operar apenas com as entradas de ar da fila inferior.

7.2.6 Sexta série de ensaios

Os resultados obtidos na sexta série de ensaios encontram-se apresentados na tabela 15.

Tabela 15 - Resultados da sexta série de ensaios.

Parâmetros	Ecodesign	Ensaio 1	Ensaio 2	Ensaio 3	Ensaio 4	Média
O ₂ [%vol]	-	9,61	8,87	9,58	8,87	9,23
CO ₂ [%vol]	-	10,75	11,81	10,88	11,70	11,29
CO [%vol]	0,12	0,0959	0,0420	0,0559	0,0589	0,0574
Partículas [mg/m ³]	40,0	-	-	-	-	-
NO _x [mg/m ³]	200,0	121,7	125,9	119,2	121,4	120,3
COG [mg/m ³]	120,0	118,1	28,2	44,9	54,4	49,6
T _{gases} [°C]	-	281,7	319,8	306,1	317,5	311,8
Carga de combustível [kg]	-	1,87	2,00	2,09	1,99	2,04
Tempo ensaio [min]	-	40	42	46	44	45
Consumo de combustível [kg/h]	-	1,91	2,65	2,28	2,56	2,42
Eficiência energética [%]	≥ 65	79,4	78,4	78,1	78,4	78,2
Potência térmica [kW]	-	6,6	9,0	7,7	8,7	8,2
Depressão [Pa]	12 ± 2	10,69	11,77	12,04	12,38	12,21
Humidade combustível [%]	-	12,6	12,6	12,4	13,1	12,8
T _{ambiente} [°C]	-	25,8	27,1	27,6	27,8	27,7
Nº Toros	-	3	3	3	3	-
t _{ar primário} [s]	-	180	180	180	180	-

Esta última alteração permitiu reduzir os valores de oxigénio na fase final do ensaio o que melhorou a performance do equipamento e verificou-se que os valores medidos tenderam a ser próximos de ensaio para ensaio, traduzindo um processo de combustão mais estável. Conseguiu-se atingir uma eficiência energética 0,5% superior, em termos médios, aos ensaios realizados na quinta série de ensaios. A potência térmica aumentou 0,4kW. Relativamente à emissão de poluentes, os valores de CO não sofreram variação significativa assim como os valores de COG. O consumo de combustível por hora subiu ligeiramente de 2,32 para 2,42kg/h, sem prejudicar a performance do recuperador.

Com estes resultados o equipamento encontra-se dentro dos valores exigidos pelas normas que regem os requisitos de Ecodesign, com exceção da quantidade de partículas emitidas, que não foi possível avaliar no laboratório devido a avaria do equipamento de medição.

8 Conclusões

A configuração inicial do recuperador não era viável visto que o processo de combustão tinha tendência a ser muito instável e algo imprevisível originando por vezes explosões no interior da câmara de combustão. O fornecimento de ar era fortemente restringido em algumas zonas de passagem do recuperador afetando negativamente a performance do mesmo. Após o alargamento das secções de passagem de ar, verificaram-se melhorias significativas no comportamento do equipamento, atingindo-se uma melhor mistura de gases no interior da câmara e por sua vez uma combustão mais estável e completa.

A carga de combustível, utilizando apenas dois toros não é viável, visto que a chama na superfície do combustível fica longe das entradas de ar secundário das costas da câmara de combustão, e cria uma zona de temperatura mais reduzida, promovendo uma fraca mistura entre gases e ar novo.

A utilização de três toros, com o terceiro toro sobreposto sobre os outros dois, revelou ser a configuração ideal durante a utilização do equipamento. A chama fica mais próxima das entradas de ar e estabiliza o processo de combustão, verificando-se o mesmo efeito que se obtêm com a técnica de ignição *Top-Down*. Nesta técnica, a chama encontra-se por cima do combustível induzindo uma ignição mais progressiva levando a uma libertação de gases da pirólise progressiva, reduzindo significativamente os picos de emissões atingidos durante o funcionamento do recuperador, [14] e [15].

O recuperador de calor desenvolvido no âmbito deste trabalho atingiu os objetivos propostos inicialmente. Os requisitos de Ecodesign exigidos pela norma pr EN16510-1 são cumpridos e com uma boa margem relativamente aos limites máximos exigidos o que permite algumas variações durante a utilização do recuperador principalmente quanto à massa da carga de combustível e ao tempo de abertura do ar primário. Os valores das emissões de CO, COG e NO_x ficaram cerca de 52%, 59% e 40% abaixo do limite legal, respetivamente.

A potência térmica média útil, em termos médios, ficou nos 8,2kW na última série de ensaios, sendo uma diferença de apenas 0,5kW comparativamente à potência térmica útil esperada de 8,7kW.

A eficiência energética média atingida foi 78,2%, na última série de ensaios. Este valor ficou acima do objetivo pretendido sendo este atingir uma eficiência energética mínima de 75%.

Comparando com os recuperadores concorrentes analisados durante o estudo de benchmarking, o controlo das entradas de ar é manual, no entanto a regulação da entrada de ar primário, da entrada de ar secundário e do fornecimento de ar para varrimento do vidro é feita com recurso a um único manípulo, algo que não é possível de realizar em grande parte dos equipamentos analisados. Outro ponto diferenciador é o facto de o ar fornecido para varrimento do vidro ser pré-aquecido antes de entrar na câmara de combustão. As dimensões internas da câmara de combustão são bastantes semelhantes à maioria dos equipamentos concorrentes.

As emissões de CO do recuperador desenvolvido são inferiores a todos os equipamentos com exceção do recuperador Lacunza Atlantic 603. As emissões de COG encontram-se entre o valor máximo e o valor mínimo anunciados para os recuperadores concorrentes analisados. Os valores de emissões de NO_x são ligeiramente superiores aos valores de emissão dos recuperadores analisados, que disponibilizavam essa informação.

9 Referências

- [1] A. Cincinelli, C. Guerranti, T. Martellini, and R. Scodellini, "Residential wood combustion and its impact on urban air quality in Europe," *Curr. Opin. Environ. Sci. Heal.*, vol. 8, pp. 10–14, 2019, doi: 10.1016/j.coesh.2018.12.007.
- [2] M. A. C. Duarte, "Emissões de compostos carbonosos pela queima doméstica de biomassa," 2011.
- [3] B. Jenkins M., L. Bexter L., T. Miles R. Jr., and T. Miles R., "Combustion Properties of Biomass Flash," *Fuel Process. Technol.*, vol. 54, no. 1–3, pp. 17–46, 1998.
- [4] J. Tissari, *Fine Particle Emissions from Residential Wood Combustion*, vol. 24, no. October. 2008.
- [5] A. I. Calvo, L. A. C. Tarelho, C. A. Alves, M. Duarte, and T. Nunes, "Characterization of operating conditions of two residential wood combustion appliances," *Fuel Process. Technol.*, vol. 126, pp. 222–232, 2014, doi: 10.1016/j.fuproc.2014.05.001.
- [6] S. van Loo and J. Koppejan, *The Handbook of Biomass Combustion & CO-firing*. 2008.
- [7] J. Baptista, "Caracterização da combustão de madeira num fogão doméstico," *Univ. Aveiro*, p. 137, 2011, [Online]. Available: <http://ria.ua.pt/bitstream/10773/8605/1/248380.pdf>.
- [8] J. Sun *et al.*, "Impact of primary and secondary air supply intensity in stove on emissions of size-segregated particulate matter and carbonaceous aerosols from apple tree wood burning," *Atmos. Res.*, vol. 202, no. October 2017, pp. 33–39, 2018, doi: 10.1016/j.atmosres.2017.11.010.
- [9] H. Wiinikka and R. Gebart, "The influence of air distribution rate on particle emissions in fixed bed combustion of biomass," *Combust. Sci. Technol.*, vol. 177, no. 9, pp. 1747–1766, 2005, doi: 10.1080/00102200590959468.
- [10] H. W. Emmons and A. Atreya, "The science of wood combustion Howard W Emmons and Arvind Atreya heat ' heat transfer fuel mass transfer," vol. 5, no. December, pp. 259–268, 1982.
- [11] R. Ue and D. A. Comissão, "REGULAMENTO (UE) 2015/ 1185 DA COMISSÃO - de 24 de abril de 2015 - que dá execução à Diretiva 2009/ 125/ CE do Parlamento Europeu e do Conselho no que respeita aos requisitos de conceção ecológica para os aquecedores ," no. 2, pp. 1–19, 2015, [Online]. Available: <https://eur-lex.europa.eu/legal->

content/PT/TXT/PDF/?uri=CELEX:32015R1185&from=EN.

- [12] M. P. Groover, *Fundamentals of Modern Manufacturing Material, Processes, and Systems, 5th Edition*, 5th ed. John Wiley & Sons, Inc., 2013.
- [13] R. V. Branco, "Projeto e Implementação de uma Célula de Soldadura Robotizada – Estágio na Motofil Robotics S . A . Doutor Frederico Miguel do Céu Marques dos Santos," 2017.
- [14] B. Brandelet, C. Rose, C. Rogaume, and Y. Rogaume, "Impact of ignition technique on total emissions of a firewood stove," *Biomass and Bioenergy*, vol. 108, no. November 2017, pp. 15–24, 2018, doi: 10.1016/j.biombioe.2017.10.047.
- [15] C. Schmidl *et al.*, "Particulate and gaseous emissions from manually and automatically fired small scale combustion systems," *Atmos. Environ.*, vol. 45, no. 39, pp. 7443–7454, 2011, doi: 10.1016/j.atmosenv.2011.05.006.
- [16] E. D. Vicente *et al.*, "Particulate and gaseous emissions from the combustion of different biofuels in a pellet stove," *Atmos. Environ.*, vol. 120, pp. 15–27, 2015, doi: 10.1016/j.atmosenv.2015.08.067.
- [17] F. Klauser *et al.*, "Emission characterization of modern wood stoves under real-life oriented operating conditions," *Atmos. Environ.*, vol. 192, no. April 2018, pp. 257–266, 2018, doi: 10.1016/j.atmosenv.2018.08.024.
- [18] K. Nuutinen *et al.*, "Effect of air staging on fine particle, dust and gaseous emissions from masonry heaters," *Biomass and Bioenergy*, vol. 67, pp. 167–178, 2014, doi: 10.1016/j.biombioe.2014.04.033.
- [19] K. Szramowiat-sala *et al.*, "The properties of particulate matter generated during wood combustion in in-use stoves," vol. 253, no. May, pp. 792–801, 2019, doi: 10.1016/j.fuel.2019.05.026.
- [20] B. Jenkins M., L. Bexter L., T. Miles R. Jr., and T. Miles R., "Combustion Properties of Biomass Flash," *Fuel Process. Technol.*, vol. 54, no. 1–3, pp. 17–46, 1998.
- [21] Norma europeia prEN 16510-1:2013 (E)
- [22] Norma europeia prEN 16510-2-1:2013 (E)
- [23] Ramos, A. M., Relvas, C. M., Simões, J. A., & Mota, L. M. (2017). *Engenharia + Design: da ideia ao produto*, 1ª Edição, Publindústira. Engebook - Coteúdos de Engenharia e Gestão.
- [24] Pereira, António Manuel de Bastos, *Tecnologias dos processos de ligação*, Universidade de Aveiro, 2018.
- [25] J. Tryner, J. W. Tillotson, M. E. Baumgardner, T. Mohr, M. W. Defoort, and A. J.

- Marchese, "The Effects of Air Flow Rates, Secondary Air Inlet Geometry, Fuel Type, and Operating Mode on the Performance of Gasifier Cookstoves," 2016, doi: 10.1021/acs.est.6b00440.
- [26] T. Kirch et al., "The role of primary and secondary air on wood combustion in cookstoves," *Int. J. Sustain. Energy*, vol. 37, no. 3, pp. 268–277, 2018, doi: 10.1080/14786451.2016.1166110.
- [27] T. Kirch, C. H. Birzer, P. J. Van Eyk, and P. R. Medwell, "Influence of Primary and Secondary Air Supply on Gaseous Emissions from a Small-Scale Staged Solid Biomass Fuel Combustor," 2018, doi: 10.1021/acs.energyfuels.7b03152.
- [28] A. Jaworek, A. T. Sobczyk, A. Marchewicz, A. Krupa, and T. Czech, "Particulate matter emission control from small residential boilers after biomass combustion. A review," *Renew. Sustain. Energy Rev.*, vol. 137, no. October 2020, p. 110446, 2020, doi: 10.1016/j.rser.2020.110446.

10 Anexos

Anexo I – Instruções de Quinagem

Planificado da peça

Atenção! A peça tem posição de quinagem!

Vista Isométrica
Medidas em milímetros

Quinadora	Programa
1	
2	
3	
4	
5	
6	
7	
8	

--- Quinagem para cima				
--- Quinagem para baixo				
Número da Matriz	V 25			
Número do Puncão	1010			
It-07.09	Dimensão da aba (mm)			
	>6 até 30	>30 até 120	>120 até 400	>400
Espessura (mm)	± 0,4	± 0,8	± 1	± 1
> 0,3 até 3,0	± 0,6	± 1	± 1	± 1
> 3,0 até 5,0	± 0,8	± 1	± 1	± 2
> 5,0 até 8,0				
Rugosidade:	Arestas:			Desvio angular: ± 1
Data:	Nome:	Material:	Código da peça:	Descrição da peça:
Desenhado: 21/04/2021	Bruno Marques	Steel S235JR	P0294-001 - v4	Crt Lat Esq
Verificado: 21/04/2021	Bruno Marques	Acabamento superficial	Código X3:	Erro: No reference
		Sem acabamento	Código EAN:	Erro: No reference
Mod. 316-D			Designação X3:	Erro: No reference
DIN A4			Processo:	Quinagem
	Nº Alterações:	Des:	Data:	Aprov:
				Escala: 1:10

NOTA:
Colocar a peça na palete nesta posição.

Nota: Todos os ângulos não cotados são de 90°

Cotas Importantes (Controlar)

Propriedades do Socalzima, proibida a divulgação ou reprodução de qualquer parte do desenho sem o prévio conhecimento e permissão do Socalzima

Figura 46 - Instrução de quinagem. Componente P0294-001 - v4

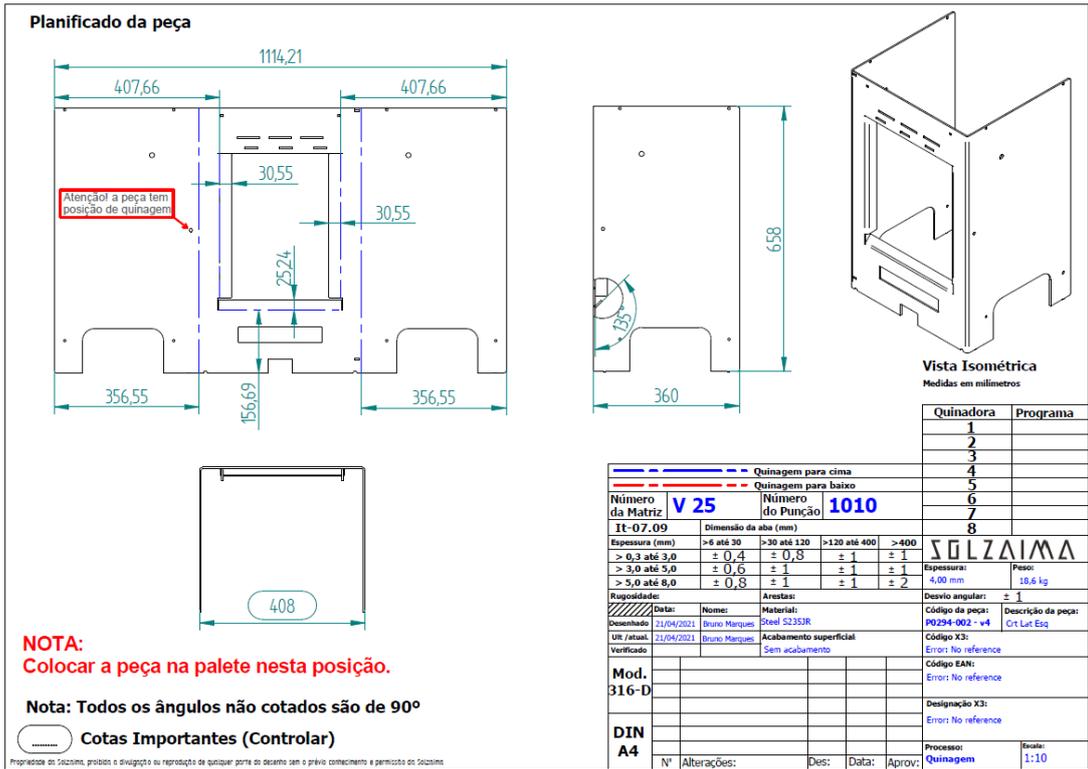


Figura 47 - Instrução de quinagem. Componente P0294-002 - v4

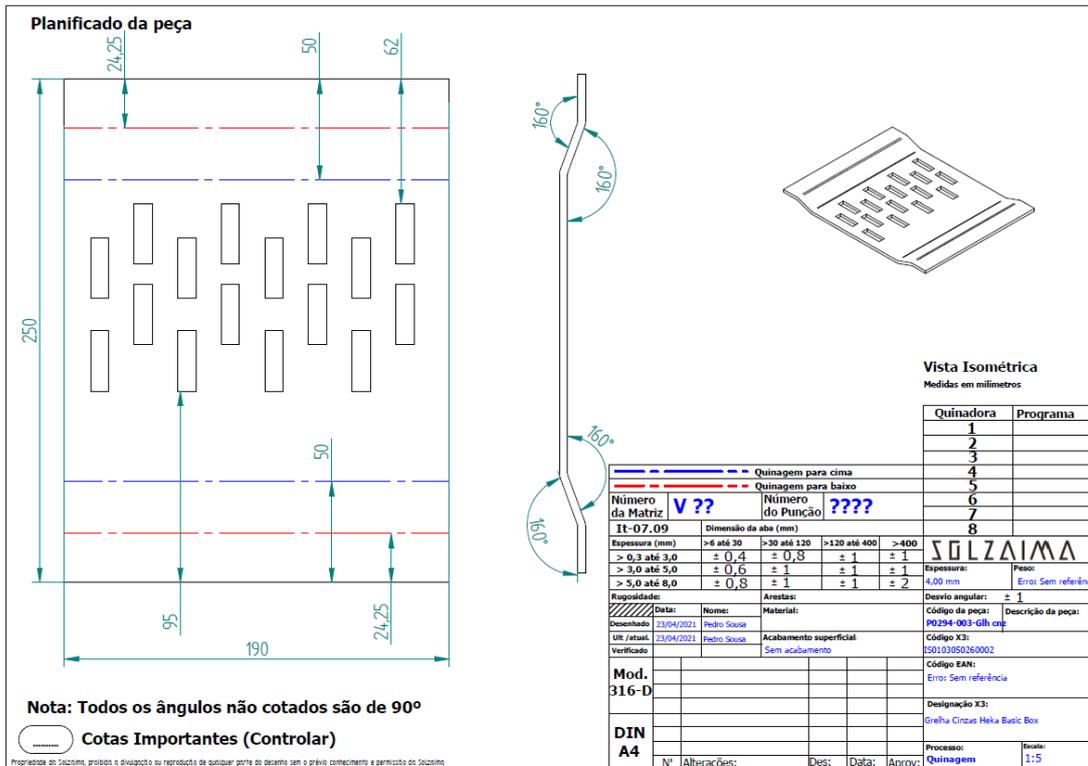


Figura 48 - Instrução de quinagem. Componente P0294-003 - Glh cnz

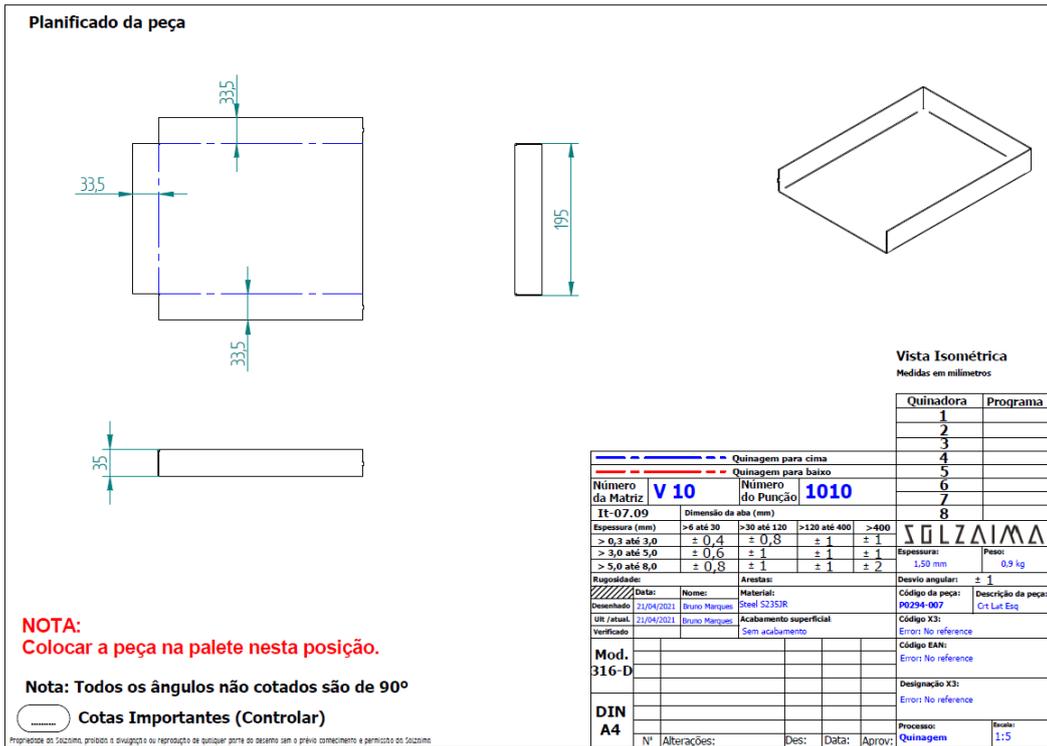


Figura 49 - Instrução de quinagem. Componente P0294-007

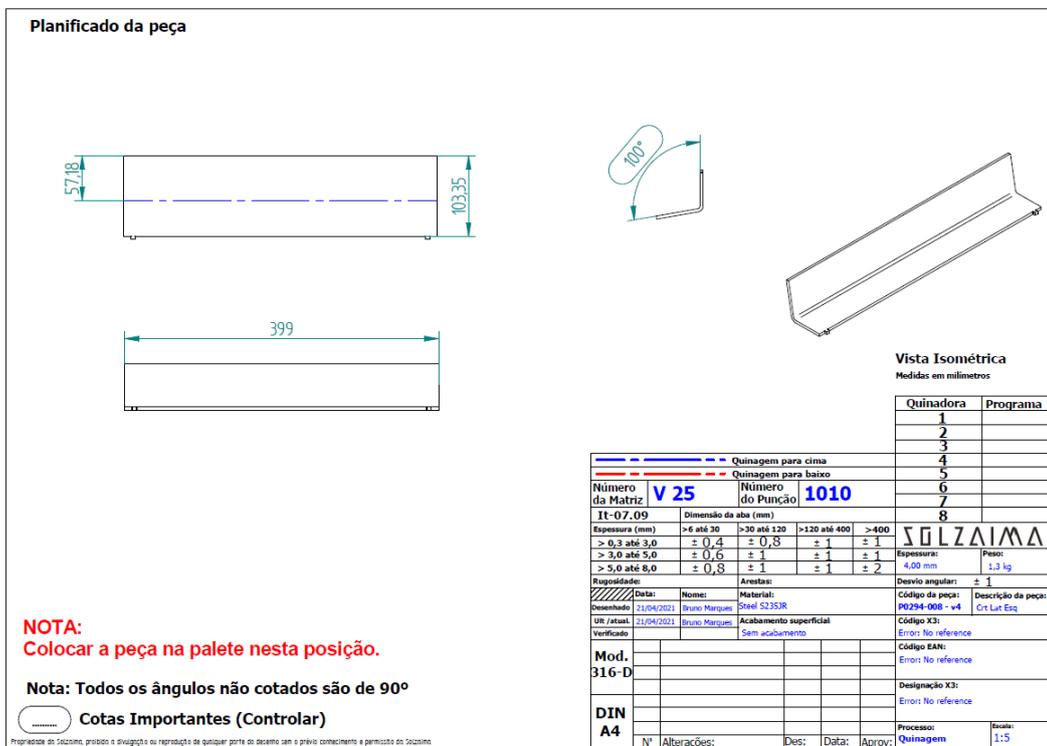


Figura 50 - Instrução de quinagem. Componente P0294-008 - v4

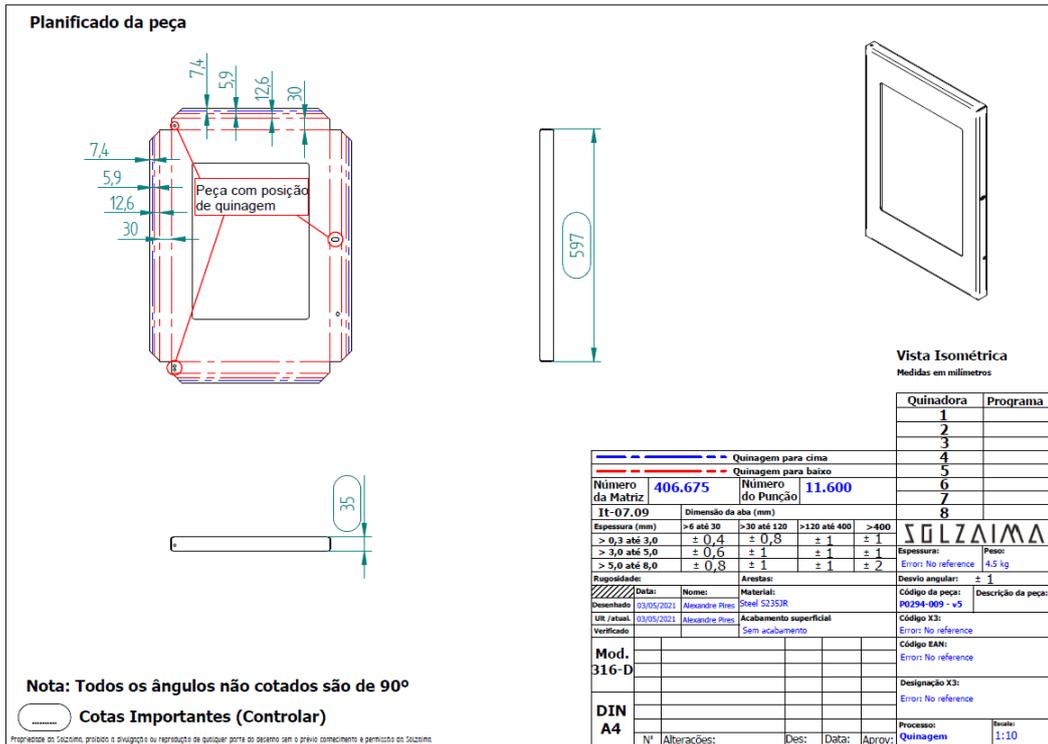


Figura 51 - Instrução de quinagem. Componente P0294-009 - v5

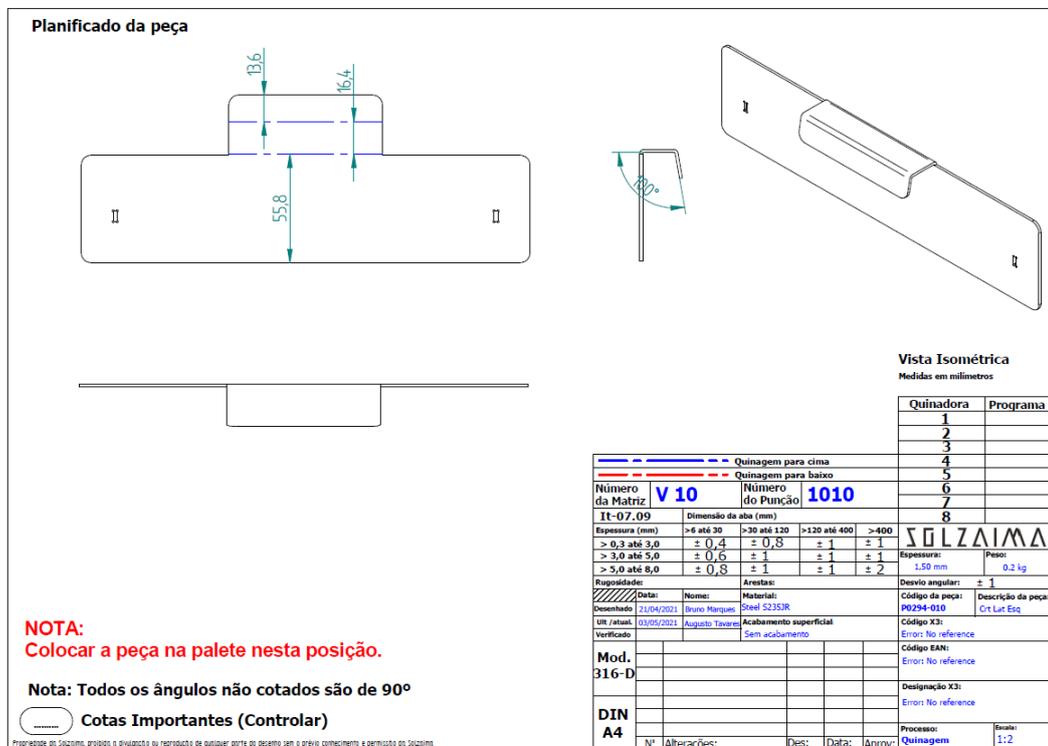


Figura 52 - Instrução de quinagem. Componente P0294-010

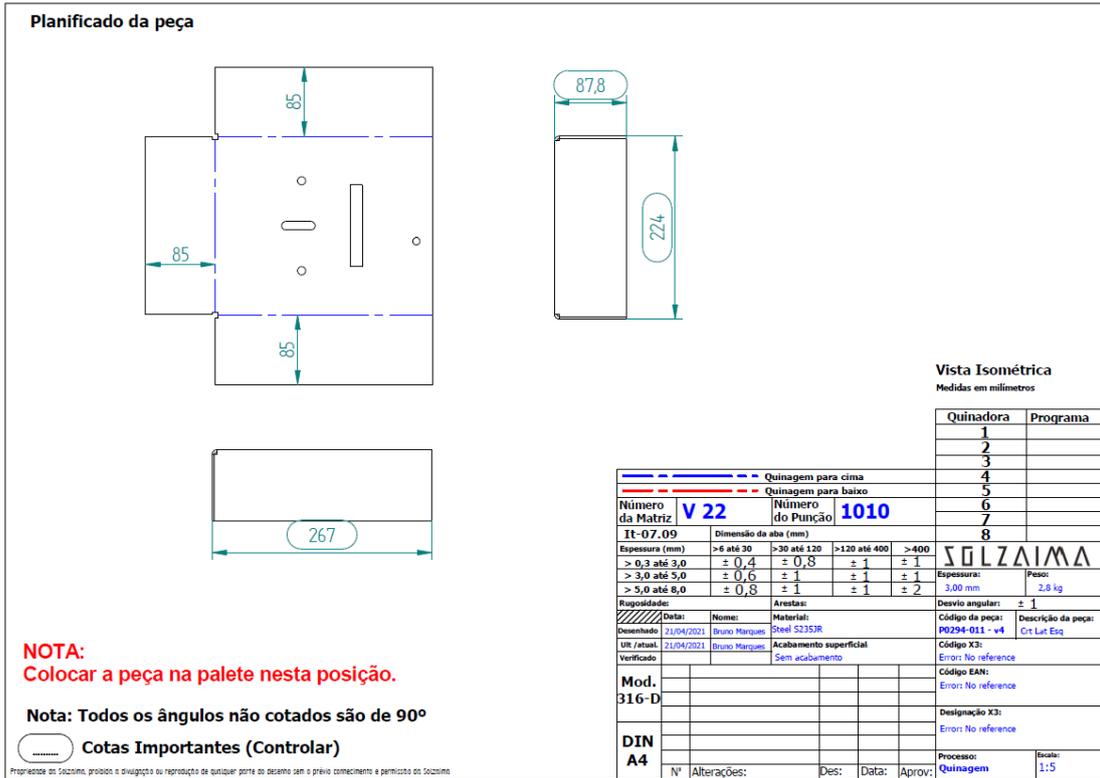


Figura 53 - Instrução de quinagem. Componente P0294-011 - v4

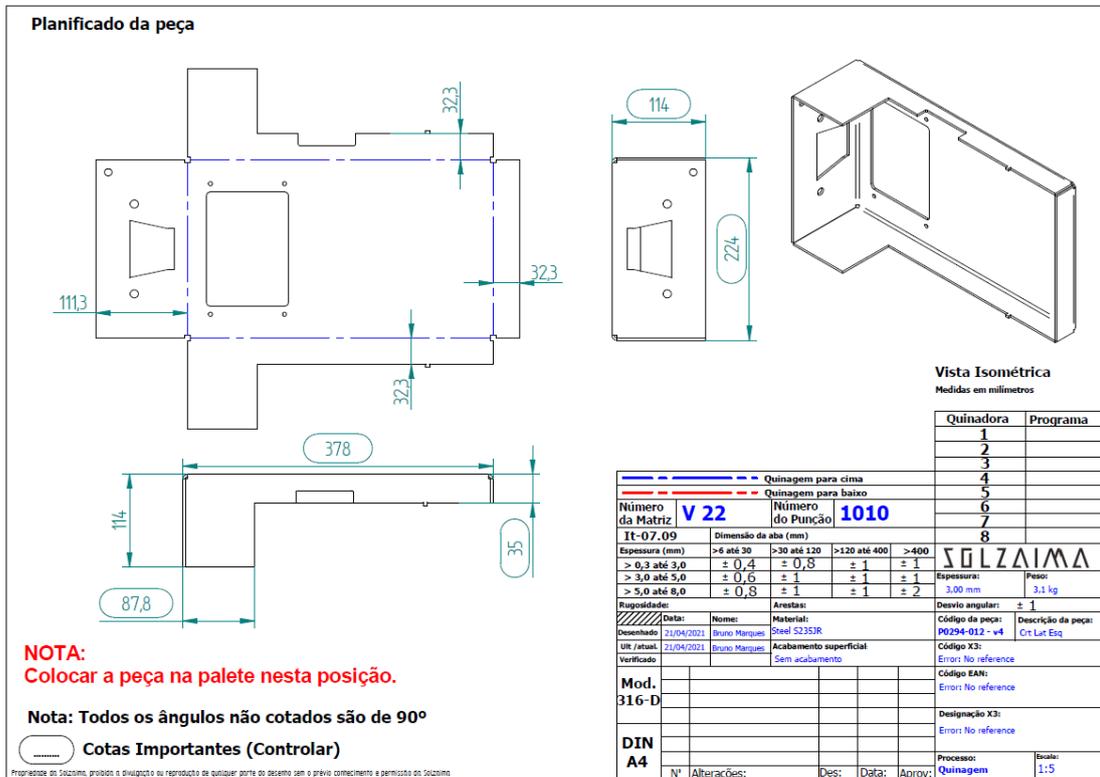


Figura 54 - Instrução de quinagem. Componente P0294-012 - v4

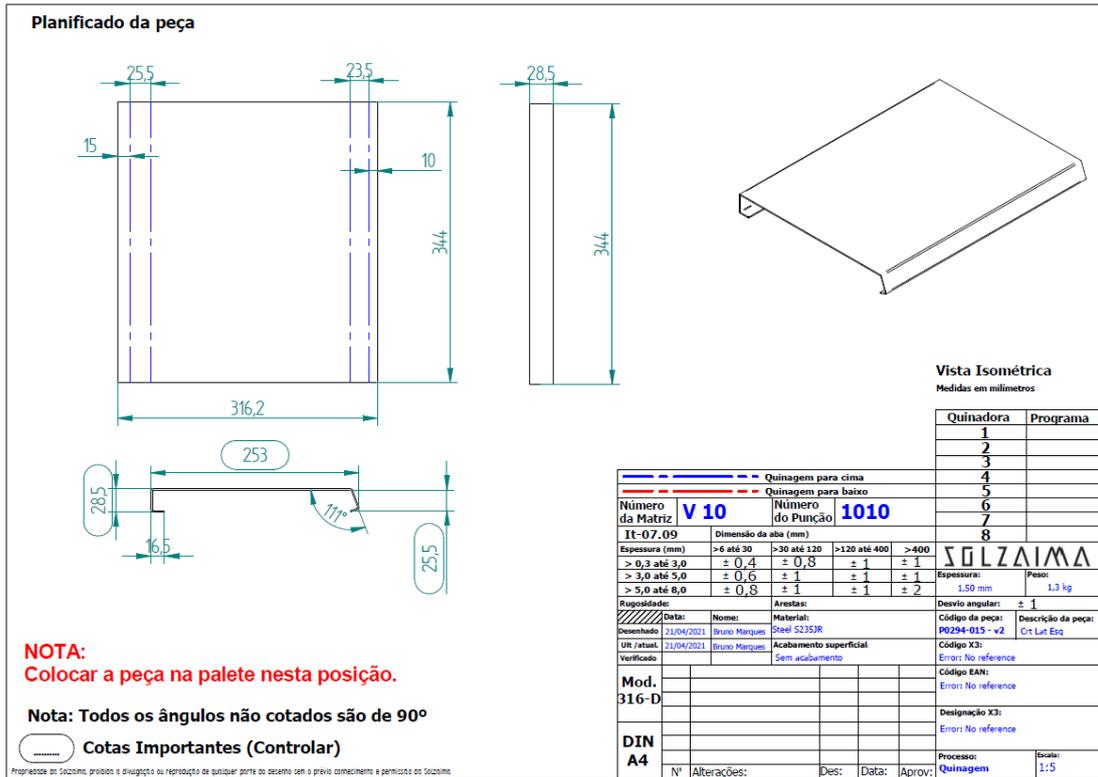


Figura 55 - Instrução de quinagem. Componente P0294-015 - v12

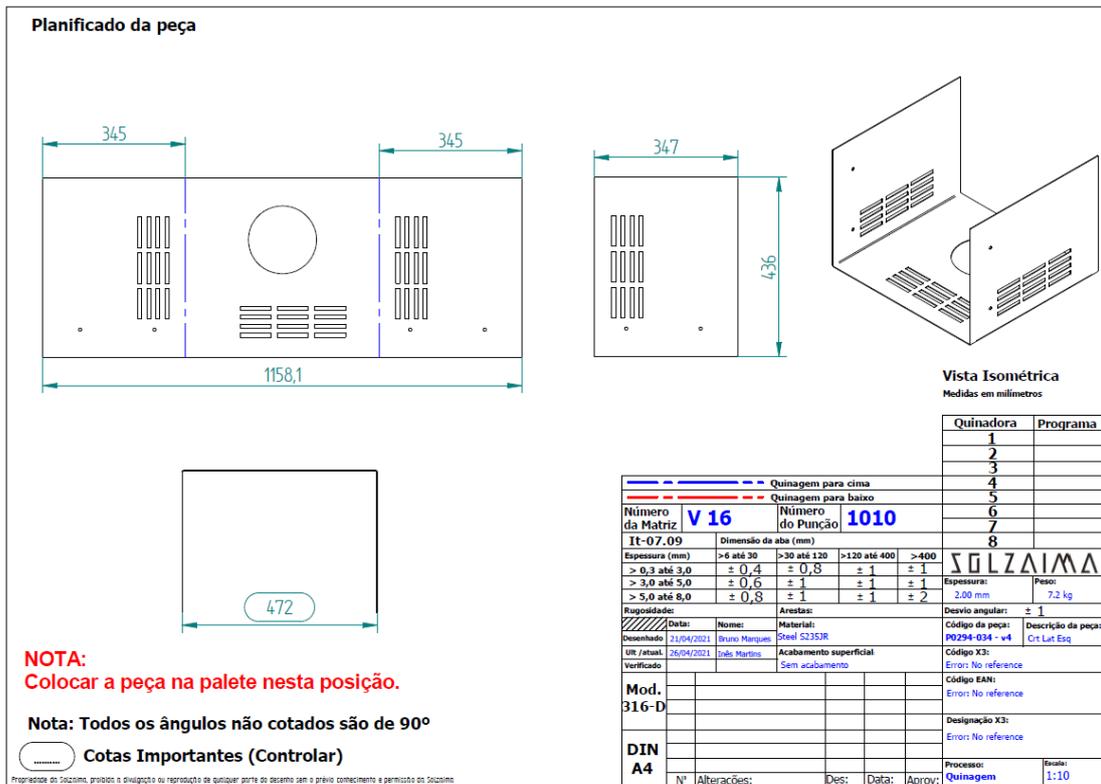


Figura 56 - Instrução de quinagem. Componente P0294-034 - v4

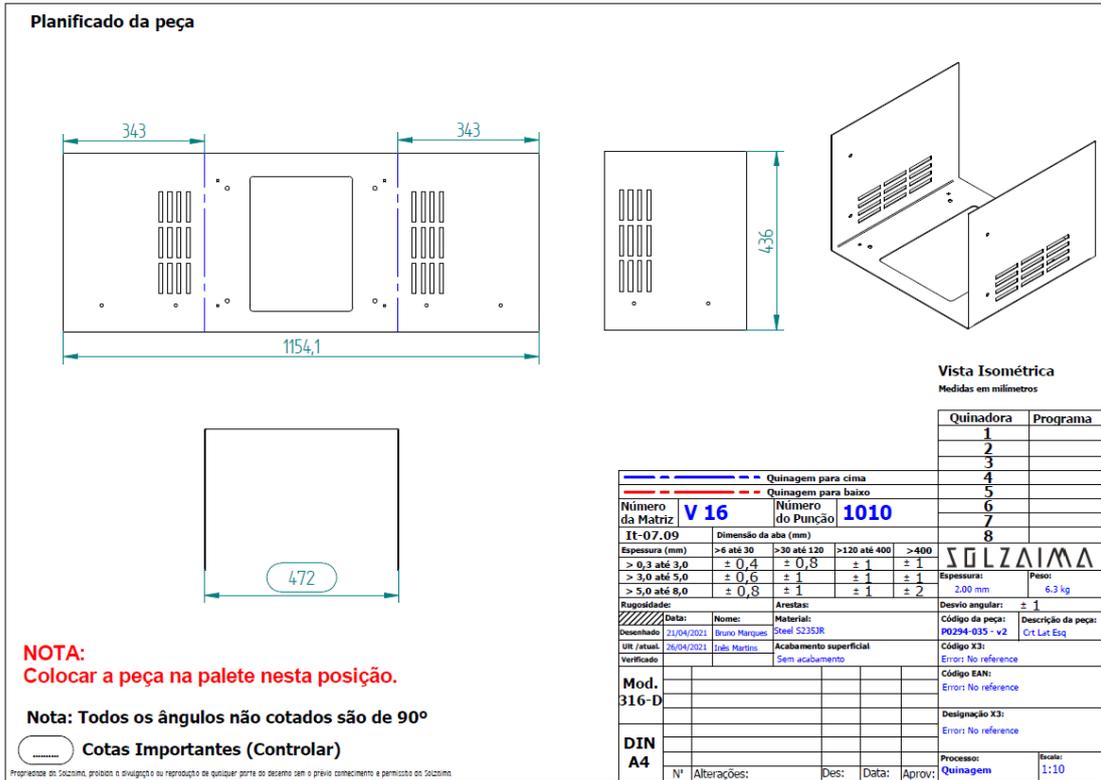


Figura 57 - Instrução de quinagem. Componente P0294-035 - v2

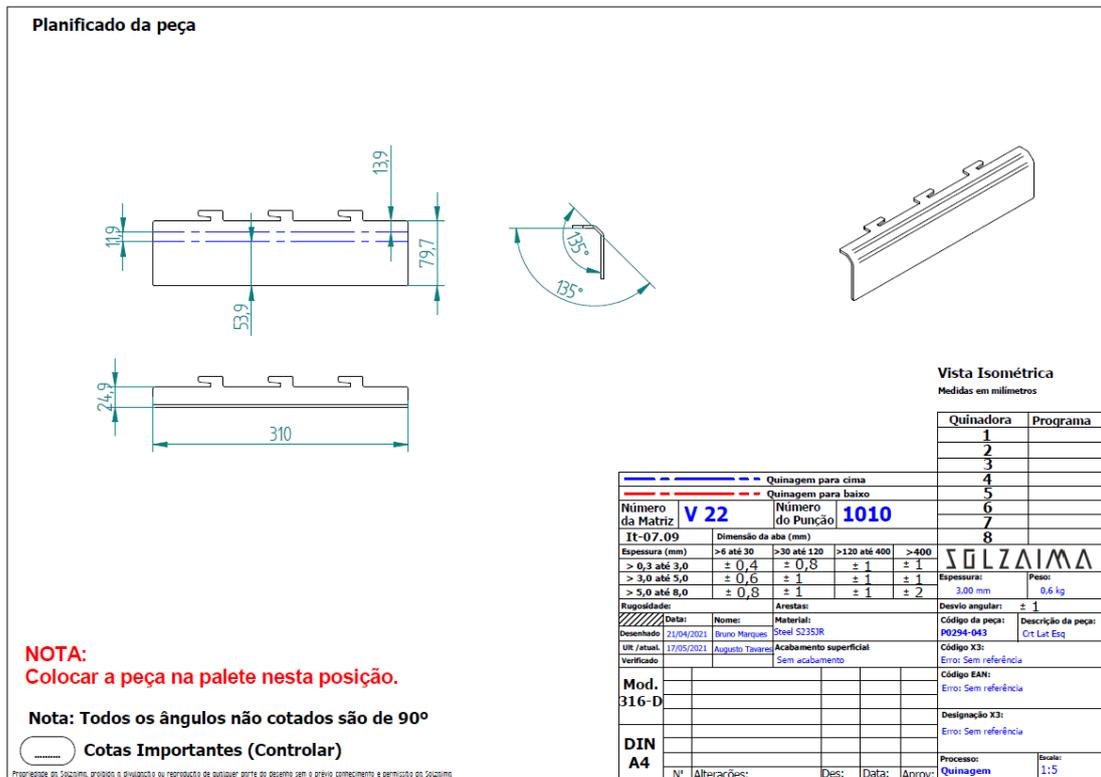


Figura 58 - Instrução de quinagem. Componente P0294-043

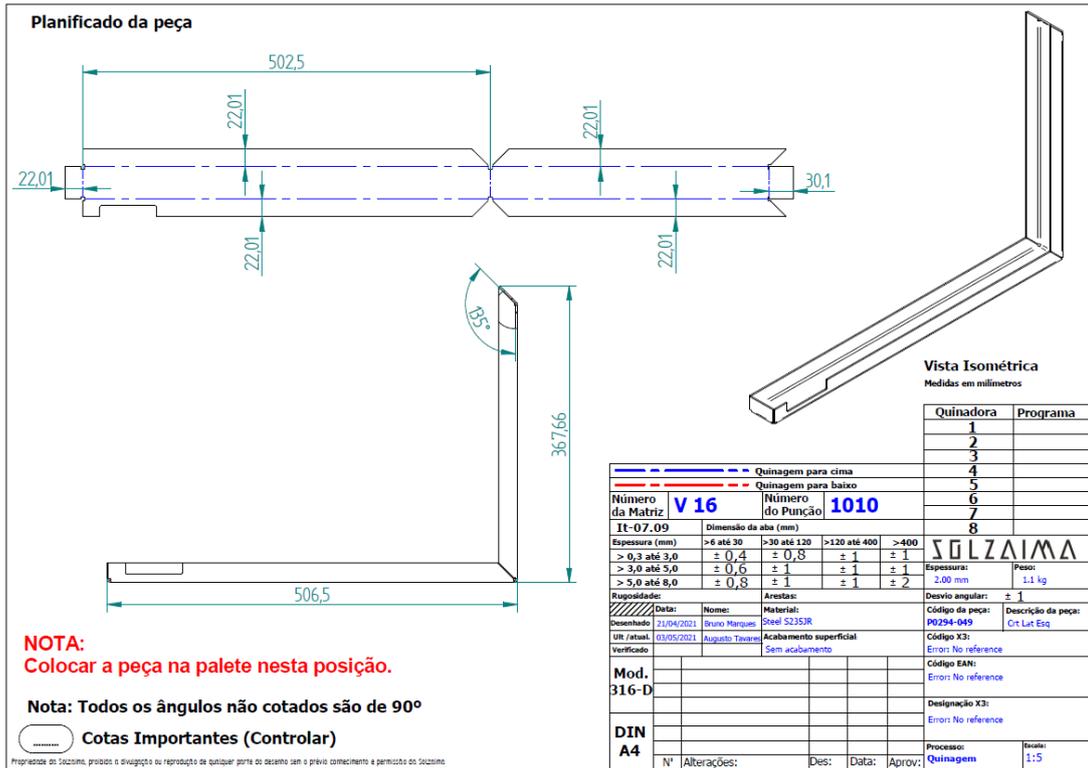


Figura 61 - Instrução de quinagem. Componente P0294-049

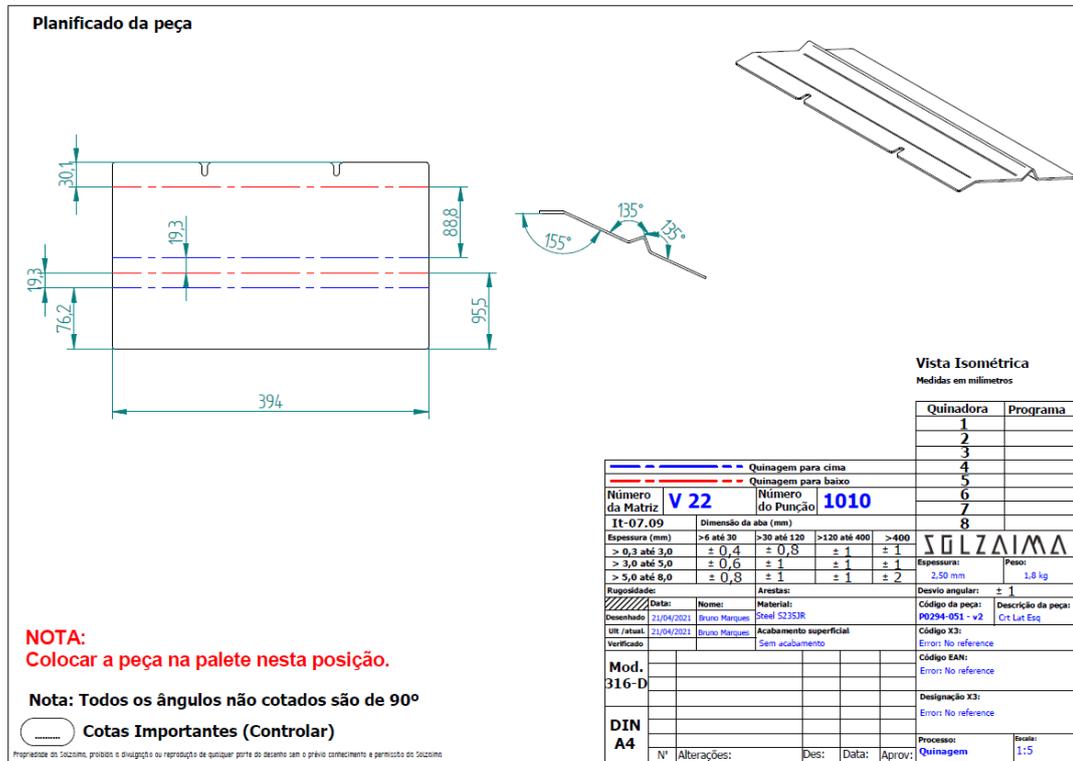


Figura 62 - Instrução de quinagem. Componente P0294-051 - v2

Anexo II – Instruções de corte

Propriedade da Solzaima, proibida a reprodução ou reprodução de qualquer parte do desenho sem o prévio conhecimento e permissão da Solzaima.

Planificado da peça

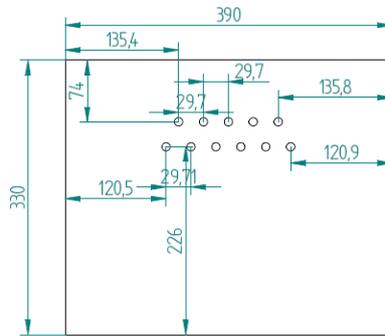
Cotas Importantes (Controlar)

Colocar a peça na palete nesta posição

IT-07.06		Dimensão do corte (mm)				SOLZAIMA
Espessura (mm)	>4 até 30	>30 até 120	>120 até 1000	>120 até 1000	>2000	
> 0,3 até 3,0	± 0,2	± 0,3	± 1	± 1	± 1	Espessura: Peso: Erro: Sem referência, 3 kg
> 3,0 até 5,0	± 0,3	± 0,4	± 1	± 1	± 2	
> 5,0 até 8,0	± 0,5	± 0,6	± 1	± 2	± 2	
Data:	Nome:	Material:			Descrição da peça:	
Desenhado: 06/05/2021	Pedro Sousa	vermiculite 700 kg/m ³			Código da peça:	
UI / atual:	06/05/2021	Acabamento superficial:			R02394-03E-v2 Vrm defletora	
Verificado:		Sem acabamento			Código X3:	
Mod. 175-E					Erro: Sem referência	
DIN A4					Código EAN:	
					Erro: Sem referência	
					Designação X3:	
					Erro: Sem referência	
Nº Alterações:	Des:	Data:	Aprov:	Processo:	Escala:	
				Corte Chapa	1:5	

Figura 63 - Instrução de corte da placa de vermiculite da defletora.

Planificado da peça

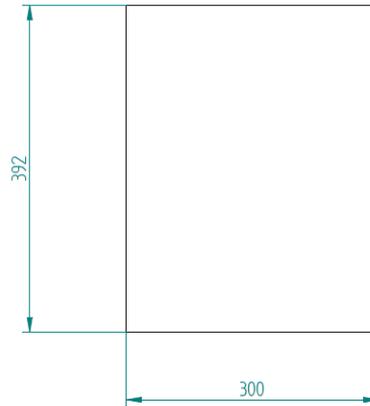


 **Cotas Importantes (Controlar)**

IT-07.06				Dimensão do corte (mm)				SOLZAIMA
Espessura (mm)		>4 até 20	>20 até 120	>120 até 1000	>1000 até 10000	>2000		
> 0,3 até 3,0		± 0,2	± 0,3	± 1	± 1	± 1		
> 3,0 até 5,0		± 0,3	± 0,4	± 1	± 1	± 2	Espeçura: Peso:	
> 5,0 até 8,0		± 0,5	± 0,6	± 1	± 2	± 2	Erro: Sem referência, 2 kg	
Data:		Nome:		Material:		Descrição da peça:		
Desenhado: 06/05/2021		Pedro Sousa		vermiculite 700 kg/m ³				
UR / atual:		Pedro Sousa		Acabamento superficial:		Código da peça:		
Verificado:				Sem acabamento		00294-017 97m traseira - v2		
Mod. 175-E						Código X3:		
DIN A4						Erro: Sem referência		
						Código EAN:		
						Erro: Sem referência		
						Designação X3:		
						Erro: Sem referência		
Nº Alterações:		Des:		Data:		Aprov:		
						Corte Chapa		
						Escala: 1:5		

Figura 64 - Instrução de corte da placa de vermiculite das costas da câmara de combustão.

Planificado da peça



2 Peças

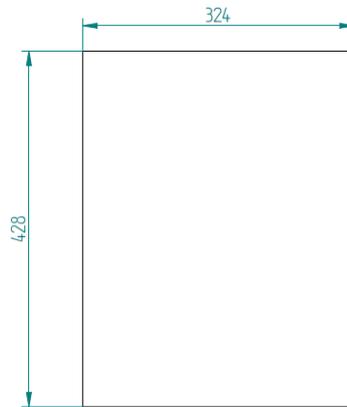
Vermiculite densidade 600

Cotas Importantes (Controlar)

Colocar a peça na palete nesta posição							
IT-07_06		Dimensão do corte (mm)				SOLZAIMA	
Espessura (mm)	<= 0,3	> 0,3 até 1,20	> 1,20 até 1,80	> 1,80 até 1,800	> 2000		Espessura: _____ Peso: _____ Erro: Sem referência, 1 kg
> 0,3 até 3,0	± 0,2	± 0,3	± 1	± 1	± 1		
> 3,0 até 5,0	± 0,3	± 0,4	± 1	± 1	± 2		
> 5,0 até 8,0	± 0,5	± 0,6	± 1	± 2	± 2		
Data:	Nome:	Material:			Descrição da peça:		
Desenhado	06/05/2021	Redo Sousa	vermiculite 700 kg/m3				
UR / atual.	06/05/2021	Redo Sousa	Acabamento superficial			Código da peça:	
Verificado			Sem acabamento			40794-018 Vrm lat - v2	
Mod.						Código X3:	
175-E						Erro: Sem referência	
						Código EAN:	
						Erro: Sem referência	
DIN						Designação X3:	
A4						Erro: Sem referência	
Nº Alterações:	Des:	Data:	Aprov:	Processo:	Escala:		
				Corte Chapa	1:5		

Figura 65 - Instrução de corte das placas de vermiculite das laterais da câmara de combustão.

Planificado da peça



Cotas Importantes (Controlar)

Colocar a peça na palete nesta posição

IT-07.06		Dimensão do corte (mm)					SOLZAIMA
Espeçura (mm)	<= 6 até 20	> 6 até 120	> 120 até 1000	> 120 até 1000	> 2000		
> 0,3 até 3,0	± 0,2	± 0,3	± 1	± 1	± 1	Espeçura: Peso: Erro: Sem referência 4 kg	
> 3,0 até 5,0	± 0,3	± 0,4	± 1	± 1	± 2		
> 5,0 até 8,0	± 0,5	± 0,6	± 1	± 2	± 2		
Data:	Nome:	Material:			Descrição da peça:		
Desenhado: 05/05/2021	Pedro Sousa	Vidrocerâmico Glass			Código da peça:		
UR / atual: 05/05/2021	Pedro Sousa	Acabamento superficial			Vidro Porta		
Verificado:		Sem acabamento			Código X3:		
Mod. 175-E					Erro: Sem referência		
DIN A4					Código EAN:		
					Erro: Sem referência		
					Designação X3:		
					Erro: Sem referência		
					Processo:		
Nº Alterações:	Des:	Data:	Aprov:	Corte Chapa	Escala: 1:5		

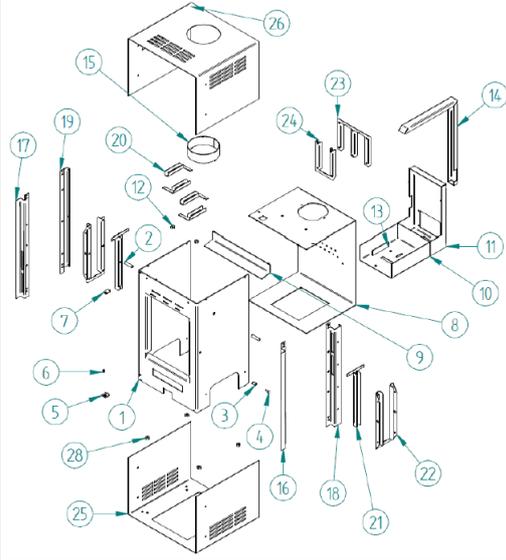
Figura 66 - Instrução de corte do vidro da porta.

Anexo III – Instrução de soldadura

Instrução de Soldadura – Salamandra Low Cost RP



SOLUÇÕES DE AQUECIMENTO A BIOMASSA



Item Nº	Designação	Quantidade	Espessura
1	PC294-002 - v4	1	4 mm
2	S81	2	
3	T97.LC	1	
4	T98.LC	1	
5	PC294-027	1	4 mm
6	T367-v1	1	
7	PC294-028	1	4 mm
8	PC294-001 - v4	1	4 mm
9	PC294-008 - v4	1	4 mm
10	PC294-011 - v4	1	3 mm
11	PC294-012 - v4	1	3 mm
12	T274-v2	6	
13	PC294-013 - v2	2	4 mm
14	PC294-049	1	2 mm
15	PC294-047 - v2	1	3 mm
16	PC294-044-v2-01	1	2 mm
17	PC294-044-v2-02	1	2 mm
18	PC294-045-v2-01	1	2 mm
19	PC294-045-v2-02	1	2 mm
20	PC294-032 - dissipador	4	2 mm
21	PC294-032 - dissipador	2	2 mm
22	PC294-033 - dissipador	2	2 mm
23	PC294-031 - dissipador	1	2 mm
24	PC294-033 - dissipador	1	2 mm
25	PC294-035 - v2	1	2 mm
26	PC294-034 - v4	1	2 mm
28			
29	T34	4	

Revisão: 0000 - 11
 Identificação: 00000000000000000000
 Versão: 001
 Data: 20 02 2014
 Page: 8 / 8

Listagem de componentes – Câmara de combustão

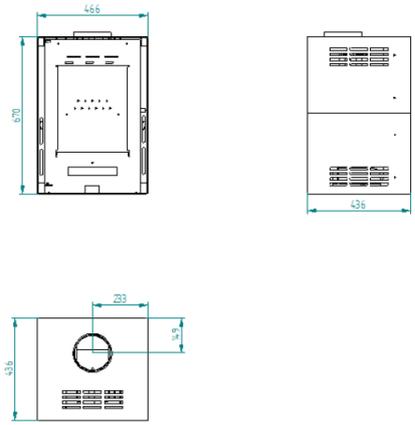
Figura 67 - Instrução de soldadura. Listagem dos componentes

Instrução de Soldadura – Salamandra Low Cost RP



SOLUÇÕES DE AQUECIMENTO A BIOMASSA

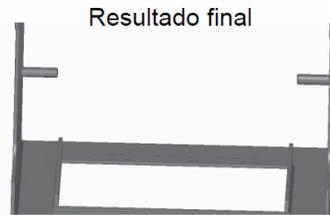
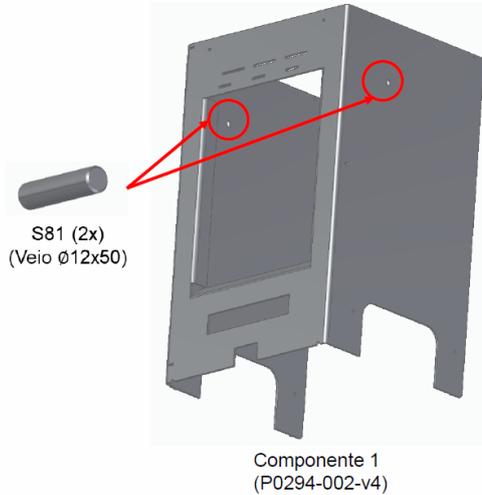
Dimensões Gerais



2

Figura 68 - Instrução de soldadura. Dimensões gerais da câmara de combustão.

1ª Etapa – Soldar acessórios antes de unir a câmara de combustão



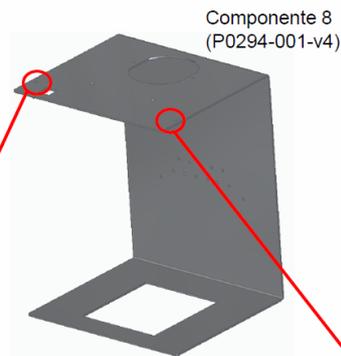
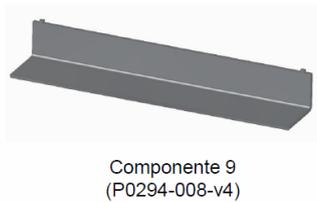
NOTA:

- Colocar ligeiramente para dentro para encher com solda na face exterior!
- Pingar por dentro!
- Não é necessário rebarbar após soldar!

3

Figura 69 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

1ª Etapa – Soldar acessórios antes de unir a câmara de combustão



Instruções a seguir:

- Acoplar os componentes através dos entalhes assinalados na peça P0294-001-v4.
- Pingar a peça na posição. Pingar na parte interior.

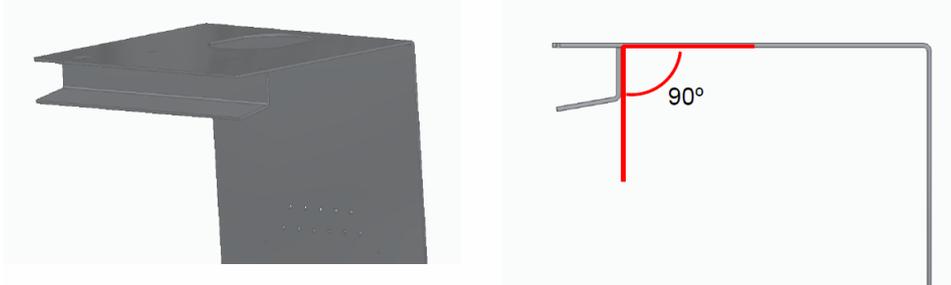


4

Figura 70 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

1ª Etapa – Soldar acessórios antes de unir a câmara de combustão

Resultado Final



NOTA:
Não necessita de rebarbagem
Verificar o ângulo assinalado

5

Figura 71 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

2ª Etapa – Soldar a câmara de combustão



Parte 1 – Câmara de Combustão

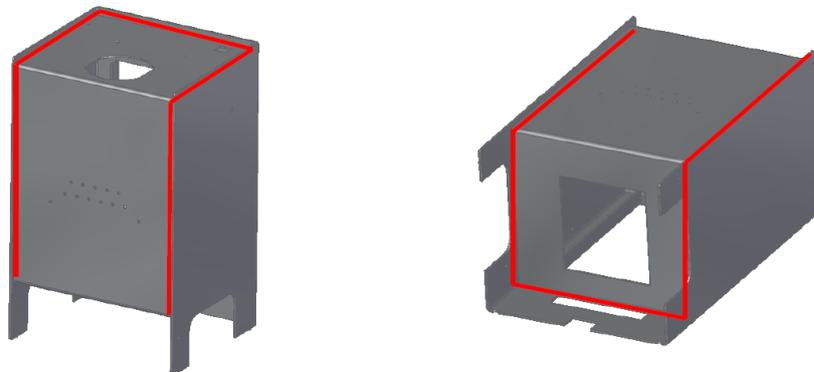


Parte 2 – Câmara de Combustão

6

Figura 72 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

2ª Etapa – Soldar a câmara de combustão



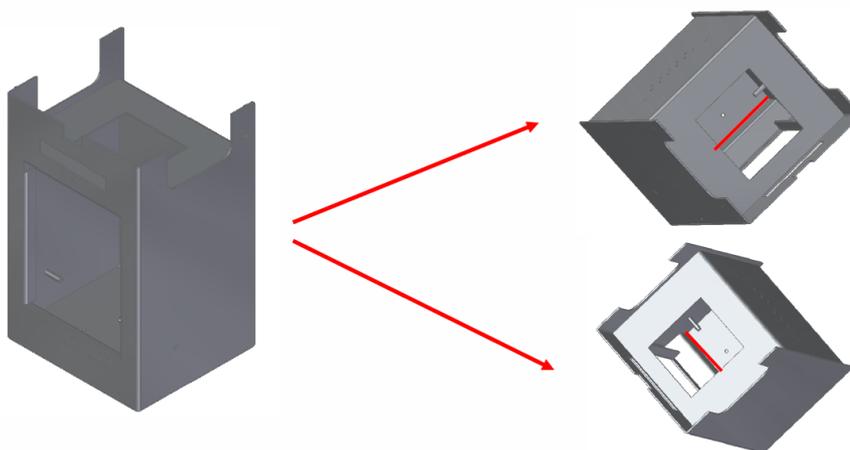
Apontar as peças utilizando a ligação por entalhes (2 entalhes na parte superior e 1 entalhe no fundo)

Soldar pela zona assinalada a vermelho. Evitar soldar tudo seguido para evitar empenos

7

Figura 73 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

2ª Etapa – Soldar a câmara de combustão

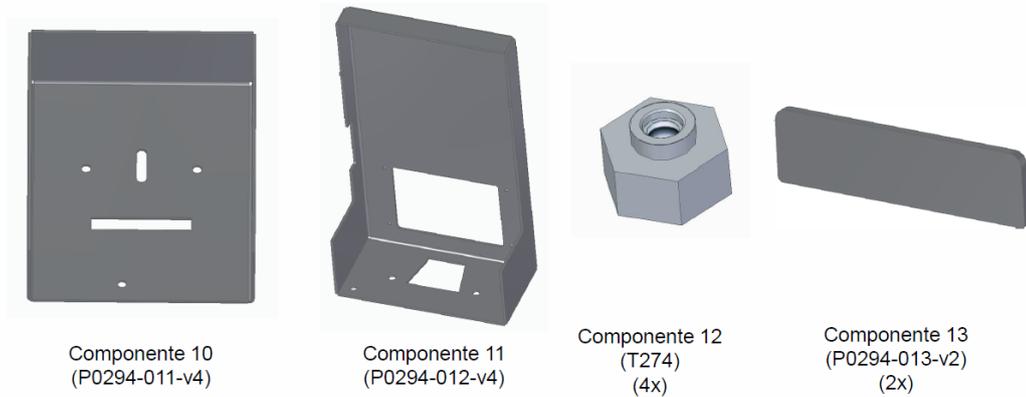


Com a câmara na posição indicada soldar pela zona assinalada a vermelho

8

Figura 74 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

3ª Etapa – Soldar acessórios exteriores na câmara de combustão



9

Figura 75 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

3ª Etapa – Soldar acessórios exteriores na câmara de combustão

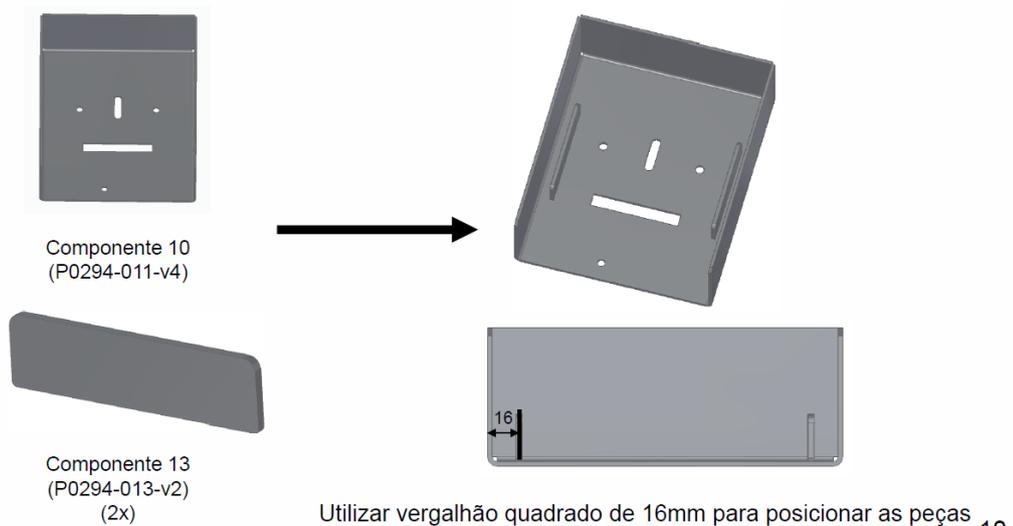
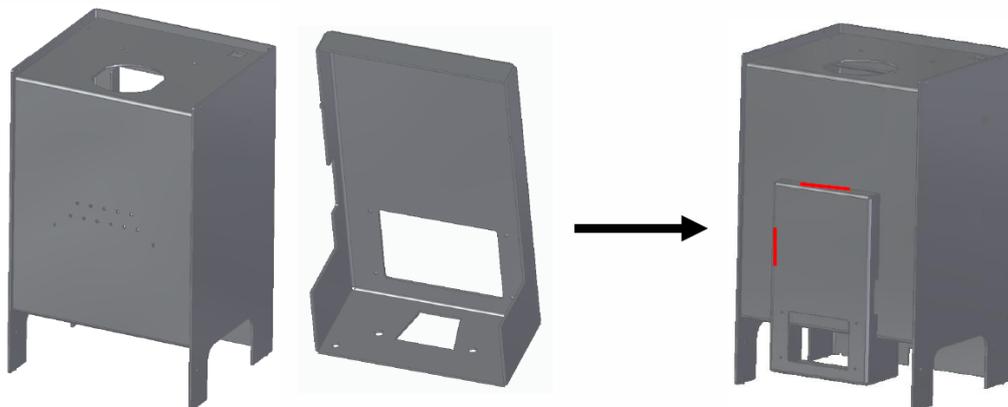


Figura 76 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

3ª Etapa – Soldar acessórios antes de unir a câmara de combustão



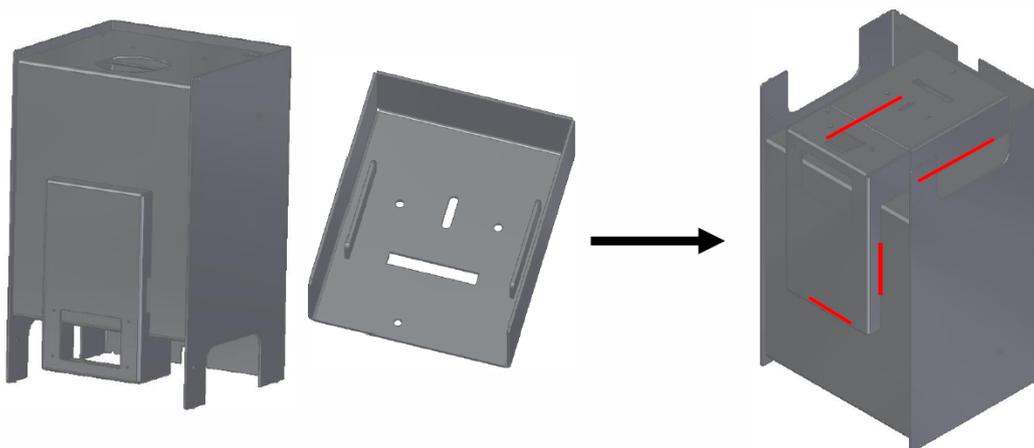
Instruções a seguir:

- Juntar as peças com auxílio dos entalhes nas costas da câmara de combustão.
- Pingar a peça nas zonas assinaladas a vermelho. Apenas para posicioná-la.

11

Figura 77 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

3ª Etapa – Soldar acessórios antes de unir a câmara de combustão



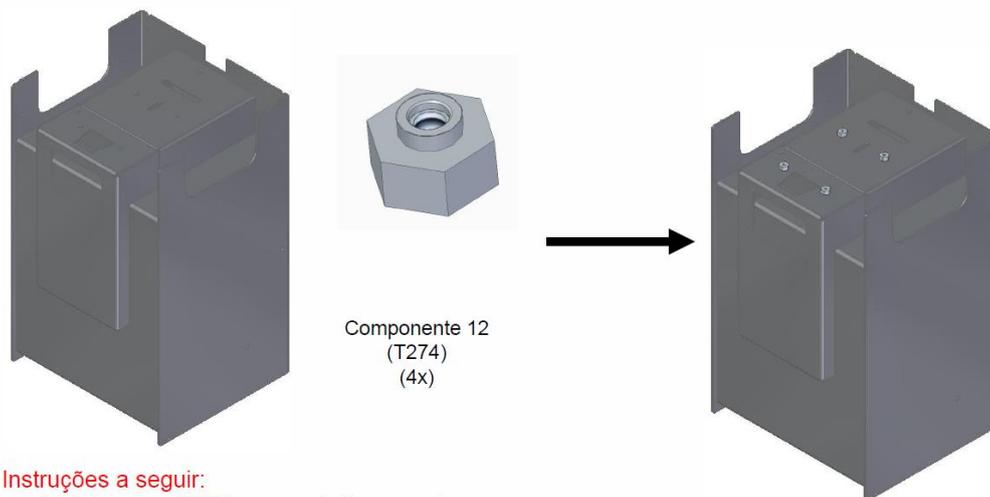
Instruções a seguir:

- Garantir que todas as faces estão bem alinhadas.
- Pingar nas zonas assinaladas.

12

Figura 78 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

3ª Etapa – Soldar acessórios antes de unir a câmara de combustão



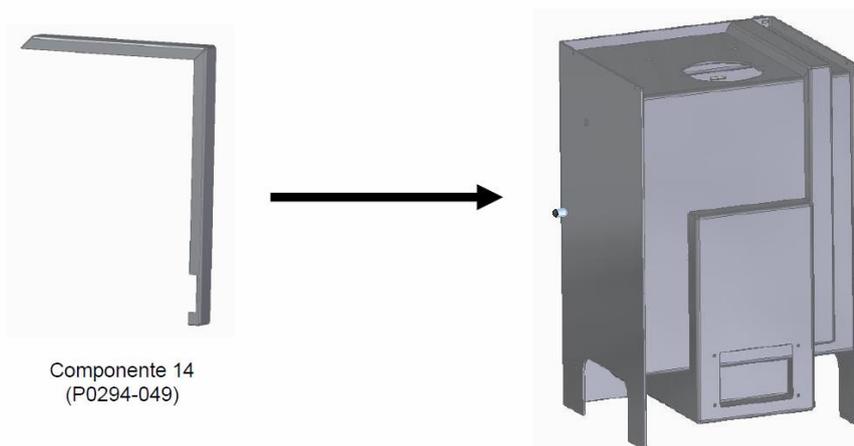
Instruções a seguir:

- Posicionar os T274 nas posições corretas.
- Soldar os componentes na posição.

13

Figura 79 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

3ª Etapa – Soldar acessórios exteriores da câmara de combustão



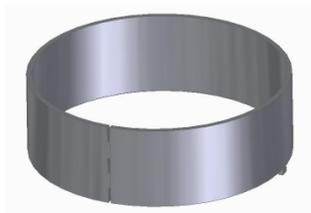
Instruções a seguir:

- Pingar a peça na posição final de acordo com a imagem.

14

Figura 80 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

3ª Etapa – Soldar acessórios exteriores da câmara de combustão



Componente 15
(P0294-047)



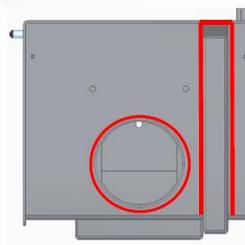
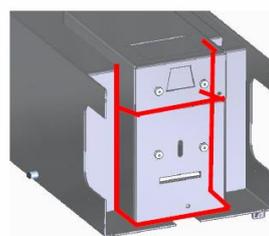
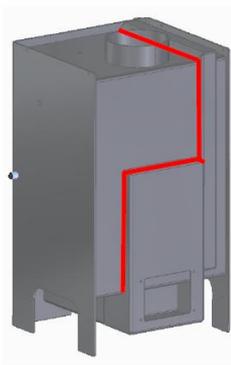
Instruções a seguir:

- Pingar a peça na posição final de acordo com a imagem

15

Figura 81 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

3ª Etapa – Soldar os acessórios exteriores da câmara de combustão



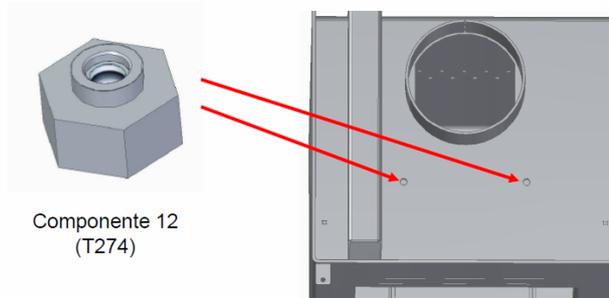
Instruções a seguir:

- Soldar pelas zonas assinaladas a vermelho. Não soldar tudo seguido para evitar que as peças sofram empenos. Fazer intervalos de tempo entre os cordões de solda.

16

Figura 82 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

3ª Etapa – Soldar acessórios exteriores da câmara de combustão



Componente 12
(T274)

Instruções a seguir:

- Posicionar 2 T274 nas posições assinaladas e com a mesma disposição da imagem.
- Pingar os componentes nas posições assinaladas



17

Figura 83 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

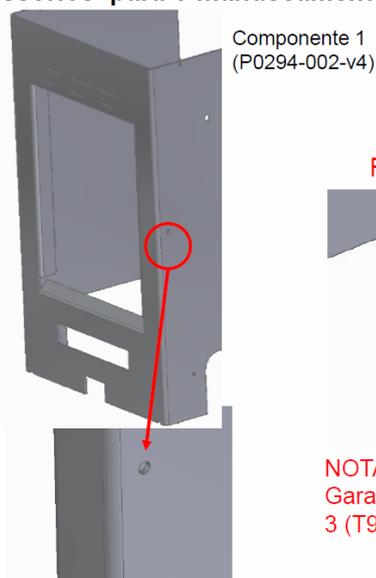
4ª Etapa – Soldar acessórios para o manuseamento da porta



Componente 3
(T97_B)



Componente 4
(T131_C)

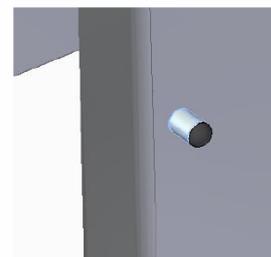


Componente 1
(P0294-002-v4)

Instruções a seguir:

- Acoplar os componentes T97_C e T131_C.
- Soldar o conjunto no entalhe assinalado na peça P0294-002-v4.

Resultado Final

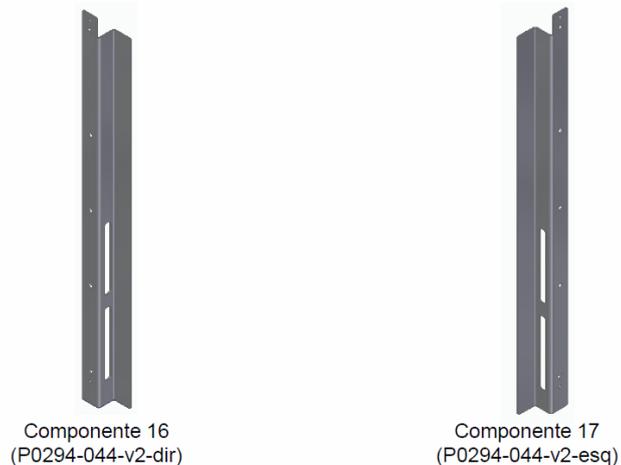


NOTA:
Garantir que o componente 3 (T97_B) consegue rodar

18

Figura 84 -Instrução de soldadura da câmara de combustão.

5ª Etapa – Soldar apoios da câmara de combustão



Componente 16
(P0294-044-v2-dir)

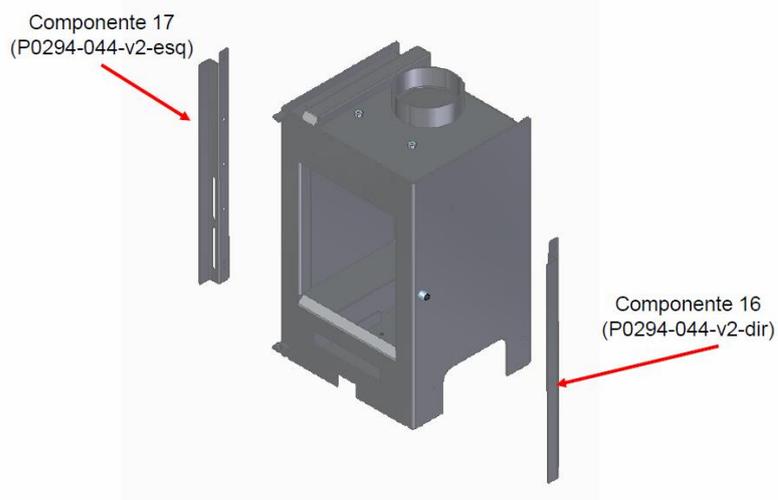
Componente 17
(P0294-044-v2-esq)

**Atenção! As peças são simétricas!
Verificar a posição antes de soldar!**

19

Figura 85 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

5ª Etapa – Soldar apoios da câmara de combustão



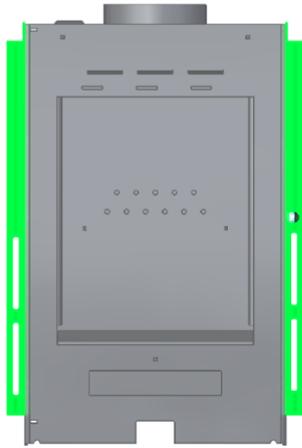
Componente 17
(P0294-044-v2-esq)

Componente 16
(P0294-044-v2-dir)

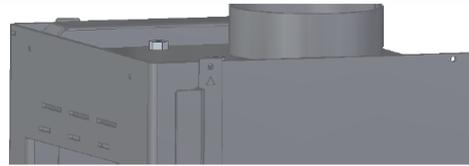
20

Figura 86 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

5ª Etapa – Soldar apoios da câmara de combustão



- As peças devem ser posicionadas com pinos de 6mm com auxílio dos furos assinalados com uma seta nas peças e os furos no topo da câmara



- A posição final das peças deve estar de acordo com a seguinte imagem



NOTA: Soldar pelos furos nos apoios

21

Figura 87 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

5ª Etapa – Soldar apoios da câmara de combustão



Componente 18
(P0294-045-v2-dir)



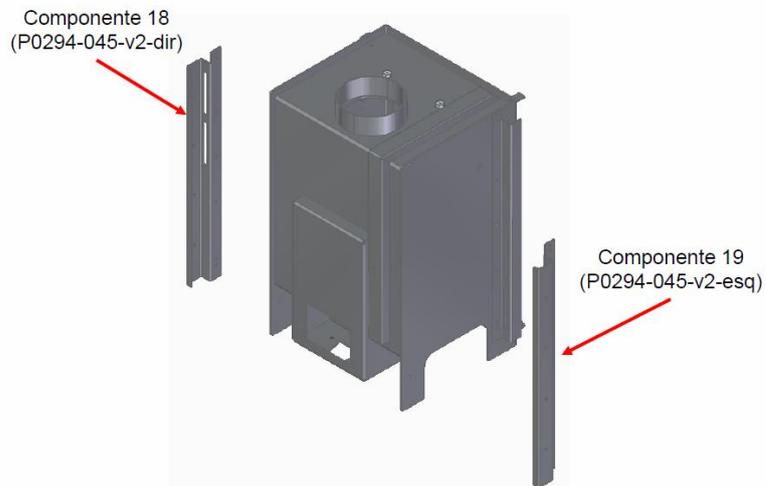
Componente 19
(P0294-045-v2-esq)

**Atenção! As peças são simétricas!
Verificar a posição antes de soldar!**

22

Figura 88 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

5ª Etapa – Soldar apoios da câmara de combustão



23

Figura 89 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

5ª Etapa – Soldar apoios da câmara de combustão



- As peças devem ser posicionadas com pinos de 6mm com auxílio dos furos assinalados com uma seta nas peças e os furos no topo da câmara



- A posição final das peças deve estar de acordo com a seguinte imagem

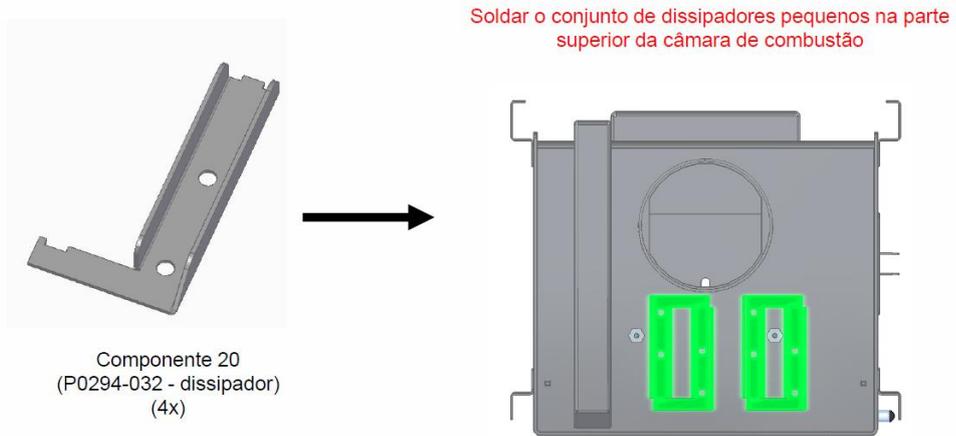


NOTA: Soldar pelos furos nos apoios

24

Figura 90 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

6ª Etapa – Soldar dissipadores na câmara de combustão



25

Figura 91 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

6ª Etapa – Soldar dissipadores na câmara de combustão



26

Figura 92 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

6ª Etapa – Soldar dissipadores na câmara de combustão

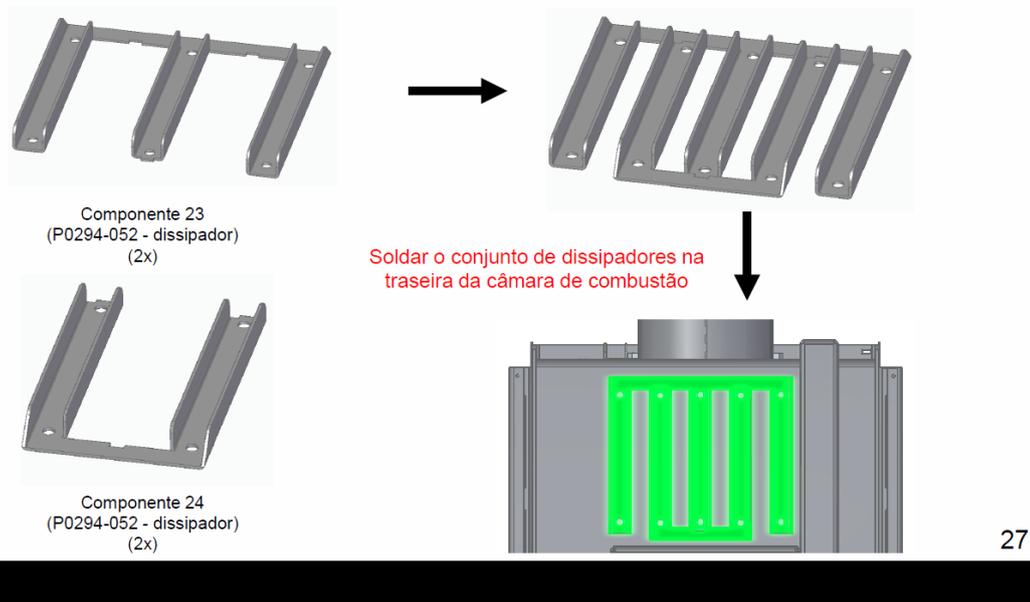


Figura 93 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

7ª Etapa – Soldar apoios da porta

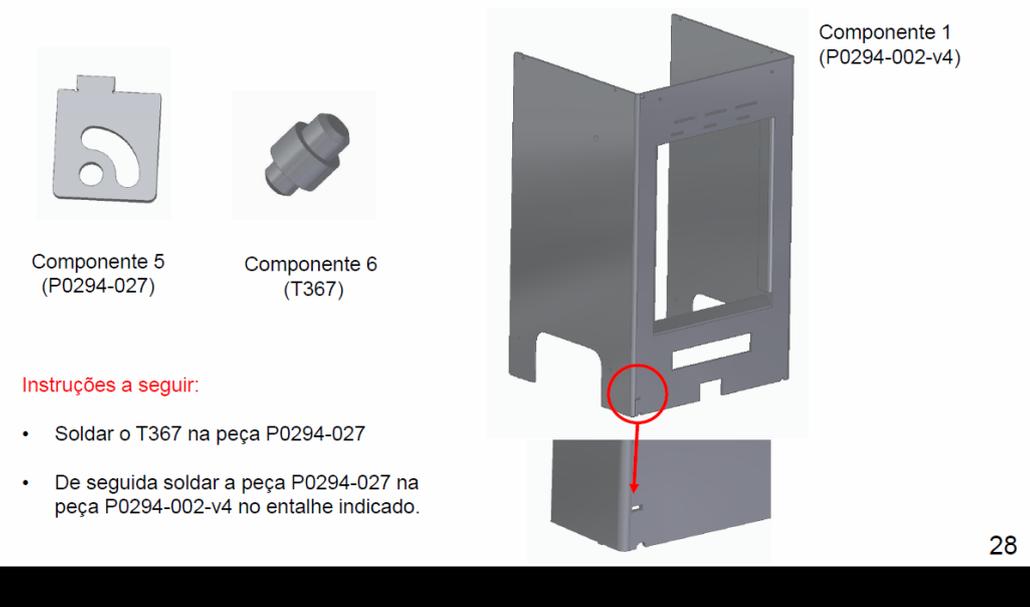
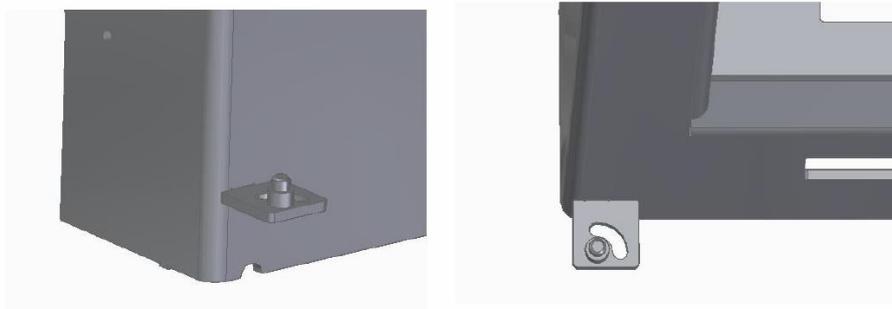


Figura 94 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

7ª Etapa – Soldar apoios da porta

Resultado Final



NOTA:
Atenção à posição da peça

29

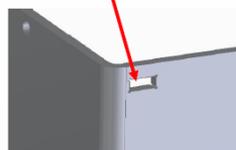
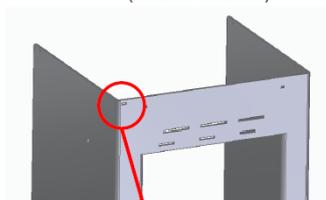
Figura 95 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

7ª Etapa – Soldar apoios da porta



Componente 5
(P0294-027)

Componente 1
(P0294-002-v4)



Resultado Final



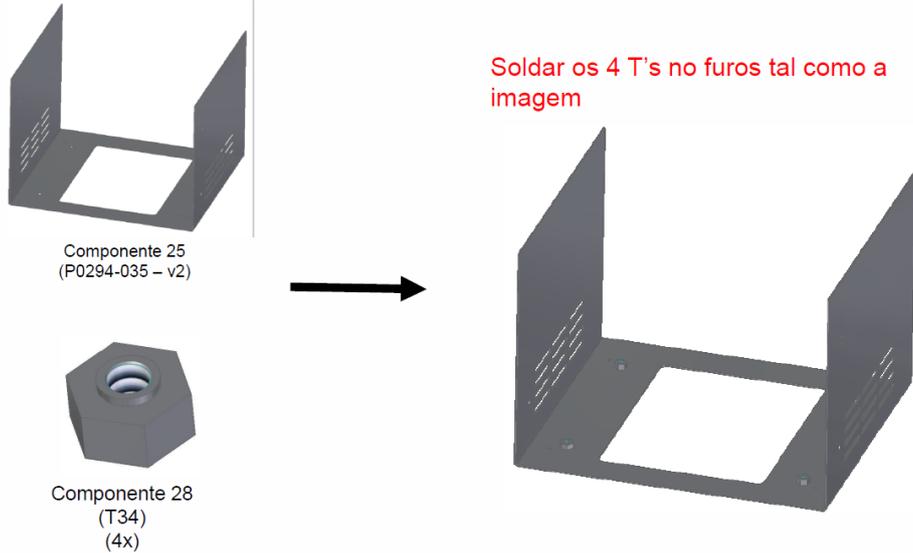
Instruções a seguir:

- Soldar a peça P0294-027 na peça P0294-002-v4 no entalhe indicado.

30

Figura 96 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

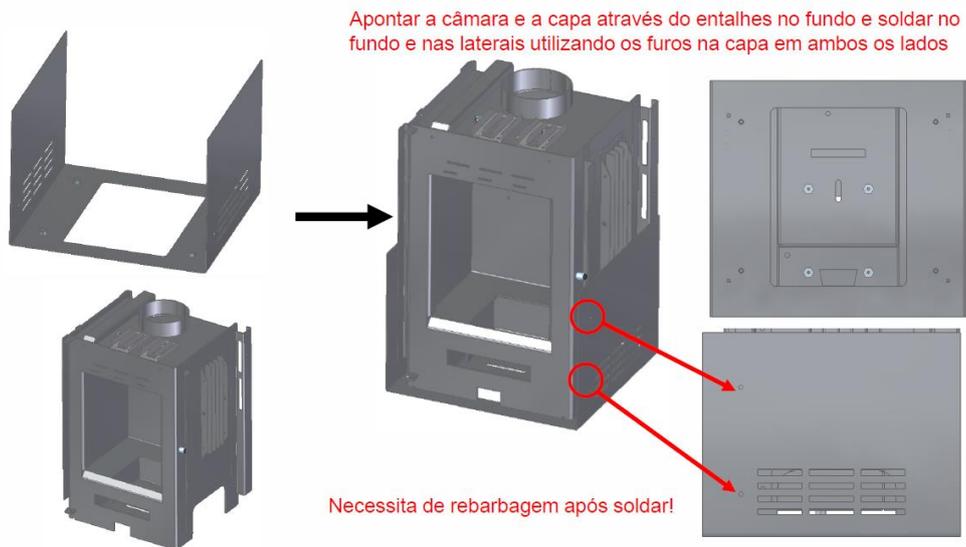
8ª Etapa – Soldar as capas na câmara de combustão



31

Figura 97 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

8ª Etapa – Soldar as capas na câmara de combustão

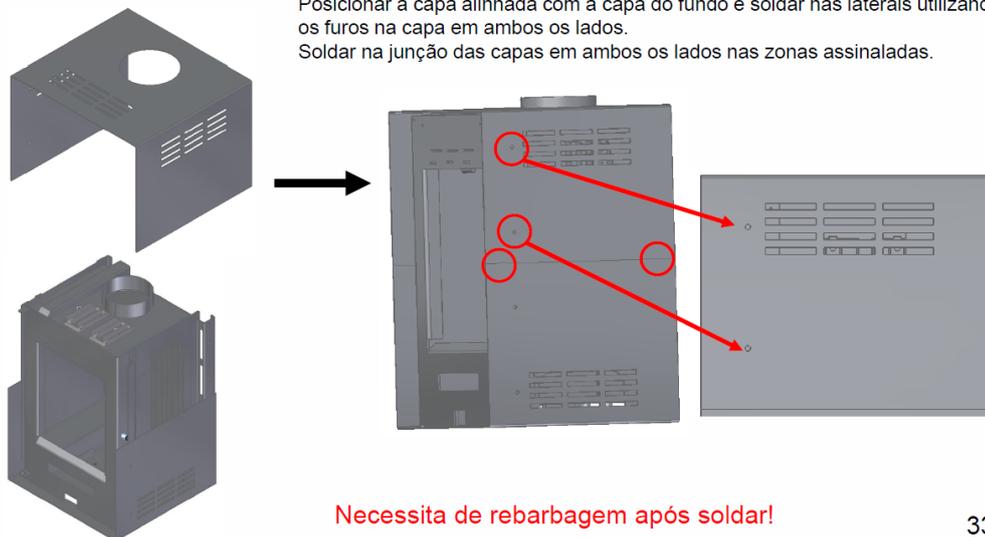


32

Figura 98 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

8ª Etapa – Soldar as capas na câmara de combustão

Posicionar a capa alinhada com a capa do fundo e soldar nas laterais utilizando os furos na capa em ambos os lados.
Soldar na junção das capas em ambos os lados nas zonas assinaladas.



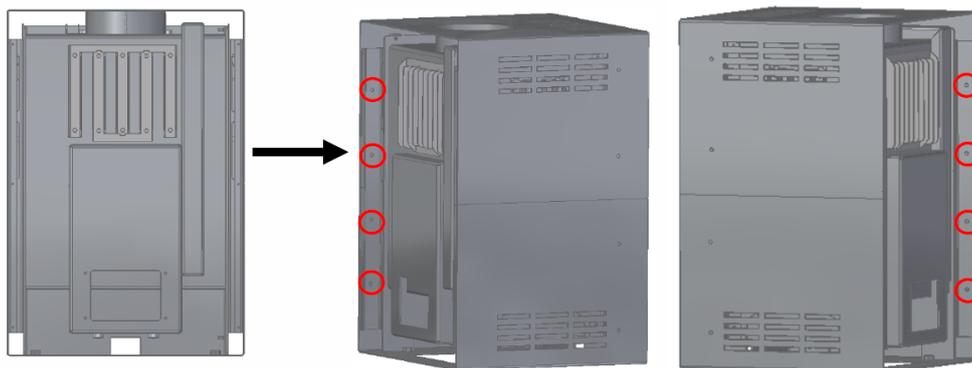
Necessita de rebarbagem após soldar!

33

Figura 99 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

8ª Etapa – Soldar as capas na câmara de combustão

Soldar as capas na parte traseira do equipamento utilizando os furos nos apoios assinalados



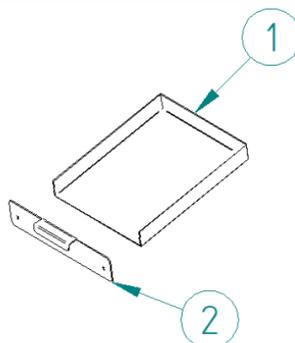
Não necessita de rebarbagem após soldar!

34

Figura 100 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

9ª Etapa – Soldar acessórios para a montagem

Gaveta de Cinzas



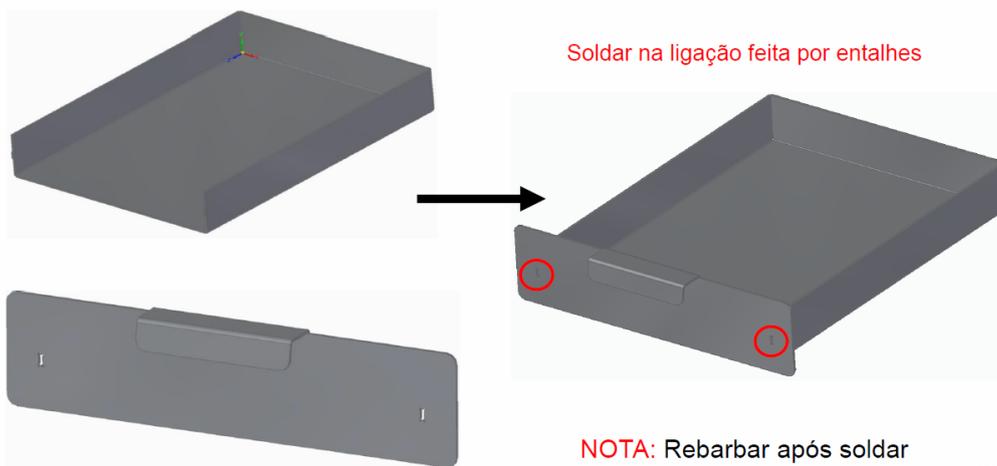
Item N°	Designação	Quantity
1	P0294-007	1
2	P0294-010	1

35

Figura 101 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

9ª Etapa – Soldar acessórios para a montagem

Gaveta de Cinzas



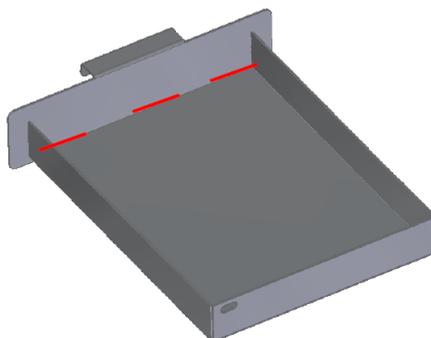
36

Figura 102 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

9ª Etapa – Soldar acessórios para a montagem

Gaveta de Cinzas

Pingar nas zonas assinaladas a vermelho

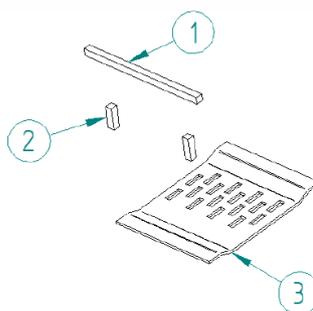


37

Figura 103 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

9ª Etapa – Soldar acessórios para a montagem

Grelha de Cinzas



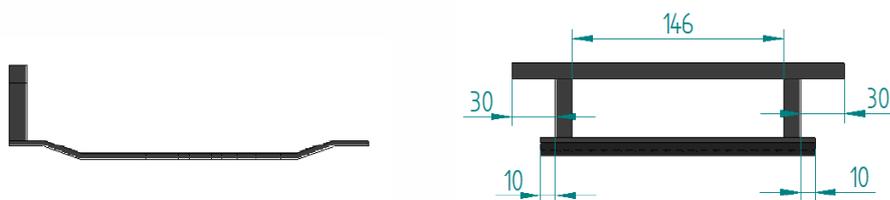
Item N°	Designação	Quantity
1	P0294 - S3-A	1
2	S3-B	2
3	P0294-003-6th cnz	1

38

Figura 104 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

9ª Etapa – Soldar acessórios para a montagem

Grelha de Cinzas



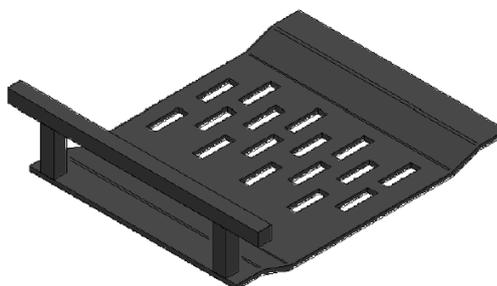
39

Figura 105 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

9ª Etapa – Soldar acessórios para a montagem

Grelha de Cinzas

Resultado Final

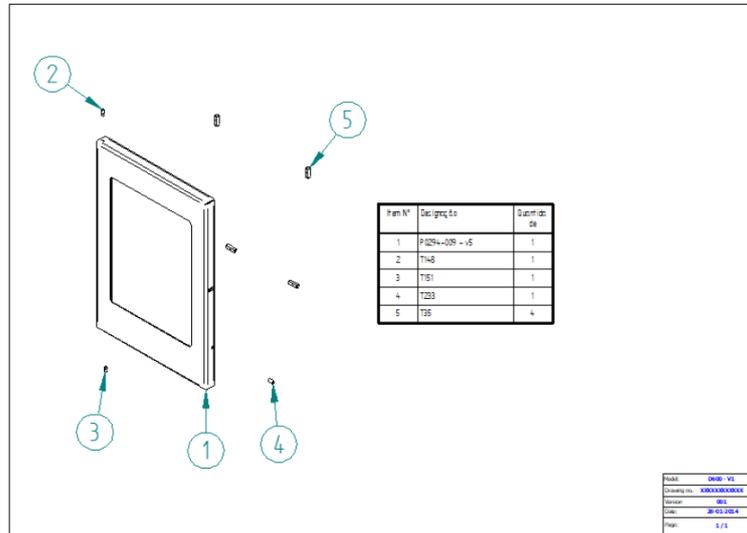


40

Figura 106 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

9ª Etapa – Soldar acessórios para a montagem

Porta



41

Figura 107 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

9ª Etapa – Soldar acessórios para a montagem

Porta

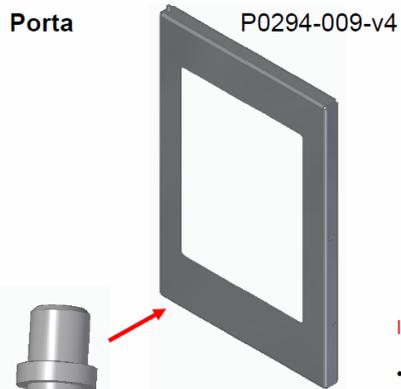


42

Figura 108 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

9ª Etapa – Soldar acessórios para a montagem

Porta



T151



Instruções a seguir:

- Soldar o T151 no componente P0294-009-v4 no lado que tem 2 furo. O T deve ser colocado com o lado mais comprido virado para o exterior. O posicionamento da imagem acima deve ser respeitado.
- Um dos furos fica livre conforme a imagem acima.

43

Figura 109 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

9ª Etapa – Soldar acessórios para a montagem

Porta



T35



Instruções a seguir:

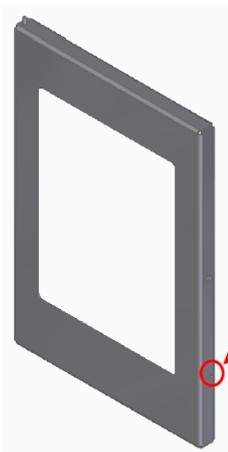
- Soldar os T35 de acordo a disposição da imagem.

44

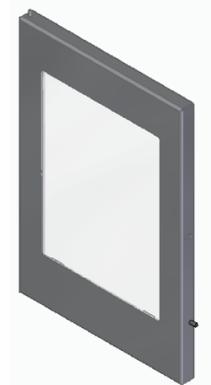
Figura 110 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

9ª Etapa – Soldar acessórios para a montagem

Porta



T233



Instruções a seguir:

- Colocar o T233 no furo assinalado. Ter atenção a posição da porta.
- O conjunto final deve estar de acordo com a imagem acima.

45

Figura 111 - Instrução de soldadura da câmara de combustão.

Anexo IV – Equipamento do laboratório interno da Solzaima



Figura 112 - Modelo 4900 Continuous emission analyser da Servomex.



Figura 113 - Modelo Servopro 4900 Continuous emissions da Servomex.



Figura 114 - modelo Thermo-FID ES da SK- Eletronics.



Figura 115 - Analisador de emissão de partículas Testo 300-2L e respetivo conjunto Testo 380.



Figura 116 - Sonda de sucção, termopar e linha de transporte de amostras de gases de combustão da JCT Analysentechnik GmbH.



Figura 117 - Medidor da humidade do combustível modelo HF550 da Wöhler.