

DANIEL DE SOUSA LEMOS

**GASEIFICADOR DOWNDRAFT PARA OPERAÇÃO DE
MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA DE PEQUENA
POTÊNCIA**

DISSERTAÇÃO

BRAGANÇA
2019

DANIEL DE SOUSA LEMOS

**GASEIFICADOR DOWNDRAFT PARA OPERAÇÃO DE
MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA DE PEQUENA
POTÊNCIA**

Dissertação apresentada ao Programa de Dupla
Diplomação entre a Universidade Tecnológica Fe-
deral do Paraná e o Instituto Politécnico de Bra-
gança, como requisito para a obtenção do título
de Mestre em Engenharia Mecânica.

Orientador: Luís Frólén Ribeiro

Co-orientador: Jhon Jairo Ramirez Behainne

BRAGANÇA

2019

Dedico este trabalho a minha família e a todos os meus amigos que me ajudaram em realizar este sonho.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a todas as pessoas que de alguma maneira me ajudou a concluir esta dissertação. Um agradecimento especial:

a Deus por me abençoar com esta oportunidade e guiar nos momentos difíceis;

a minha família que me apoiou desde minha partida do Brasil e nunca deixaram me faltar nada;

ao meu orientador Prof. Doutor Luis Frólén Ribeiro e co-orientador Prof. Doutor Jhon Jairo Ramirez Behainne, pela orientação e ensinamentos concedidos ao longo deste projeto;

aos meus amigos que me incentivaram e apoiaram nesta jornada, especialmente a Evelyn Rodrigues que me apoiou durante toda esta jornada e ao Licínio Fontes que trabalhou fortemente na construção deste projeto;

a Universidade Tecnológica Federal do Paraná - campus Ponta Grossa e ao Instituto Politécnico de Bragança pela oportunidade de participar do programa de Dupla Diplomação;

aos técnicos Jorge Paulo e Abílio do Laboratório de Tecnologia Mecânica do IPB pela ajuda e orientação na construção do protótipo;

a todos que nos ajudaram de alguma maneira com a campanha de *Crowdfunding*, que acreditaram nos benefícios deste projeto e tornaram possível sua construção.

”Seja você quem for, seja qual for a posição social que você tenha na vida, a mais alta ou a mais baixa, tenha sempre como meta muita força, muita determinação e sempre faça tudo com muito amor e com muita fé em Deus, que um dia você chega lá. De alguma maneira você chega lá.”

Ayrton Sena

RESUMO

LEMOS, Daniel de Sousa. GASEIFICADOR DOWNDRAFT PARA OPERAÇÃO DE MOTORES DE COMBUSTÃO INTERNA DE PEQUENA POTÊNCIA. 103 f. Dissertação – Programa de Dupla Diplomação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, 2019.

Esta dissertação consiste no projeto e construção de um sistema de gaseificação de baixo custo, robusto e funcional. O sistema é composto por um gaseificador *downdraft* de 19,2 kW_t , uma unidade de arrefecimento e outra de filtragem, que foram dimensionados para abastecer com syngas dois modelos de motores de combustão interna a 4 tempos: o motor RCX-210 de 6,5 CV da motobomba MRX-50 e o motor da motocicleta Honda CG-125 Titan de 12,5 CV. São apresentados dois modelos de permutadores, o de carcaça e tubos a ser utilizado no motor da motobomba, que utiliza a água bombeada para arrefecer o syngas e outro a ser utilizado no motor da motocicleta, que consiste num tubo alhetado que arrefece por convecção natural. O filtro é de geometria simples e utiliza serragem de madeira, material de baixo custo, como meio filtrante.

O gaseificador projetado utiliza biomassa (blocos ou pellets de madeira) como combustível para operar os motores, sendo um recurso de elevada disponibilidade e neutro em termos de CO_2 (em caso de exploração sustentável) e gases poluentes tais como óxido de enxofre (SO_x) e óxido de azoto (NO_x). O sistema é off-grid e poderá beneficiar pessoas que moram em comunidades remotas, zonas rurais ou profissionais que trabalham com madeira, pois utiliza um combustível de elevada disponibilidade e de baixo custo, possibilitando ser utilizado em regiões onde é de difícil acesso redes elétricas e combustíveis fósseis. O projeto teve como objetivo ser de simples construção, de modo que as pessoas consigam construí-lo sem grandes dificuldades. O modelo proposto compõe-se em maior parte por chapas e tubos de aço (comum e galvanizado), não contendo equipamentos sensíveis e materiais de baixa disponibilidade.

Fez-se uma campanha de financiamento coletivo (*Crowdfunding*) para a compra dos materiais necessários na construção do primeiro protótipo funcional demonstrativo do sistema. O site da campanha é: www.ppl.pt/biomassa. Recebeu-se 1.479,00 € em doações, atingindo 123 % do valor objetivo da campanha (1.200,00 €).

Um total de 43 desenhos técnicos compõe o projeto mecânico do sistema (gaseificador, permutador gás-água, permutador gás-ar e filtro). Todos os 3 sistemas foram construídos. O gaseificador foi testado no final do trabalho produzindo syngas conforme esperado.

Palavras-chave: Gaseificador *downdraft*, gás de síntese, pirólise da madeira, abastecimento de motores, *crowdfunding*.

ABSTRACT

LEMOS, Daniel de Sousa. DOWNDRAFT GASIFIER FOR OPERATING SMALL POWER INTERNAL COMBUSTION ENGINES. 103 f. Dissertação – Programa de Dupla Diplomação, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Instituto Politécnico de Bragança. Bragança, 2019.

This dissertation consists in the design and construction of a low cost, robust and functional gasification system. The system consists of a 19.2 kW_t downdraft gasifier, a cooling unit and a filtration unit, which have been sized to syngas the two models of 4-stroke internal combustion engines: the engine 6.5 CV RCX-210 from the MRX-50 motor pump and the 12.5 CV Honda CG-125 Titan motorcycle engine. Two models of exchangers are presented, the casing and tube to be used in the motor of the pump, which uses the pumped water to cool the syngas and another to be used in the motorcycle engine that consists of a finned tube that cools by natural convection. The filter is simple in geometry and uses wood sawdust, low cost material, as a filter medium.

The projected gasifier uses biomass (wood blocks or pellets) as fuel to operate the engines, being a high availability and term neutral resource of CO_2 (in case of sustainable exploitation) and polluting gases such as sulfur oxide (SO_x) and nitrogen oxide (NO_x). The system is off-grid and could benefit people living in remote communities, rural areas or woodworking professionals because it uses a highly available and inexpensive fuel and can be used in regions where fossil fuels and electricity are difficult to access. The project aimed to be simple to build, so that people can build it without major difficulties. The proposed model consists mostly of steel plates and tubes (common and galvanized), not containing sensitive equipment and low availability materials.

A crowdfunding campaign was undertaken to purchase the materials needed for the system's first demonstrative functional prototype construction. The campaign website is: www.ppl.pt/biomassa. 1,479.00 € in donations was received, reaching 123 % of the campaign's target value (1,200.00 €).

A total of 43 technical drawings make up the mechanical design of the system (gasifier, gas-water exchanger, gas-air exchanger and filter). All 3 systems were constructed. The gasifier was tested by the end of the project, producing syngas as expected.

Keywords: Downdraft gasifier, synthesis gas, wood pyrolysis, engine fuelling, crowdfunding.

ÍNDICE

LISTA DE TABELAS	
LISTA DE FIGURAS	
1 INTRODUÇÃO	1
1.1 OBJETIVOS	2
1.2 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO	2
2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ESTADO DA ARTE	4
2.1 O QUE SÃO OS GASEIFICADORES	5
2.2 TIPOS DE GASEIFICADORES	6
2.2.1 Gaseificadores de leito móvel	6
2.2.2 Gaseificadores de leito fluidizado	11
2.3 APLICAÇÕES	13
2.4 ZONAS DE REAÇÃO	14
2.5 DIMENSIONAMENTO DO GASEIFICADOR	16
3 MATERIAIS E MÉTODOS	18
3.1 MOTORES	19
3.2 PROPRIEDADES DOS FLUIDOS	20
3.3 DIMENSIONAMENTO	21
3.3.1 Gaseificador	21
3.3.1.1 Lareira	22
3.3.1.2 Reservatório	23
3.3.1.3 Geometria do gaseificador	26
3.3.2 Permutador	26
3.3.2.1 Permutador a água	26
3.3.2.2 Permutador a ar	29
3.3.3 Filtro	34
3.4 ANGARIAÇÃO DE FUNDOS	36
3.5 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	37
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	40
4.1 DIMENSIONAMENTO E DESENHOS	40
4.1.1 Gaseificador	42
4.1.2 Permutador	43
4.1.3 Filtro	45
4.1.4 Desenho das peças	46
4.2 ANGARIAÇÃO DE FUNDOS	94
4.3 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO	94
4.4 ENSAIO DE PRODUÇÃO DE SYNGAS	97
5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS	99
5.1 CONCLUSÕES	99
5.2 TRABALHOS FUTUROS	100
REFERÊNCIAS	101

LISTA DE TABELAS

TABELA 2.1–	Concentrações de particulados e alcatrão no syngas de acordo com o modelo de gaseificador	12
TABELA 2.2–	Parâmetros de qualidade do syngas para algumas aplicações (LORA et al., 2004)	14
TABELA 3.1–	Propriedades dos motores da motobomba Campeon MRX-50 e da motocicleta Honda CG-125 Titan.	20
TABELA 3.2–	Principais gases presentes no syngas	21
TABELA 3.3–	Propriedade termofísicas do syngas (\bar{x}) e da água	21
TABELA 3.4–	Matriz de decisão para escolha da geometria externa do gaseificador.	26
TABELA 3.5–	Parâmetros utilizados no dimensionamento do permutador a água	27
TABELA 3.6–	Parâmetros utilizados no dimensionamento do permutador de tubo aletado.	31
TABELA 3.7–	Propriedade da serragem de madeira e dimensões do filtro	35
TABELA 3.8–	Orçamento dos itens restantes a serem comprados para a construção do primeiro protótipo do sistema de bombeamento d'água abastecido a biomassa.	37
TABELA 3.9–	Recompensas oferecidas aos doadores na campanha de <i>Crowdfunding</i>	37
TABELA 4.1–	Resultados do dimensionamento da lareira do gaseificador para o motor da motobomba e da motocicleta.	42
TABELA 4.2–	Resultados das dimensões do reservatório do gaseificador para os motores da motobomba e da motocicleta	42
TABELA 4.3–	Propriedades do permutador a água dimensionado.	44
TABELA 4.4–	Propriedades do permutador a ar dimensionado.	45

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2.1– Veículos abastecidos com gaseificador: a) Carro, b) Trator, c) Camião (MARTÍNEZ, 2009).	5
FIGURA 2.2– Potência térmica dos principais modelos de gaseificadores.	7
FIGURA 2.3– Esquema de um gaseificador <i>updraft</i>	8
FIGURA 2.4– Esquema de um gaseificador <i>downdraft</i>	9
FIGURA 2.5– Esquema de um gaseificador <i>crossdraft</i>	10
FIGURA 2.6– Esquema dos fluxos de biomassa, ar e syngas num gaseificador de leito fluidizado circulante.	12
FIGURA 2.7– Fluxograma de algumas das aplicações da gaseificação de biomassa de acordo com o poder calorífico do syngas.	13
FIGURA 2.8– Fluxograma das etapas necessárias para o dimensionamento do gaseificador <i>downdraft</i>	17
FIGURA 3.1– Sistema de bombeamento de água abastecido com biomassa.	19
FIGURA 3.2– Sistema abastecido por biomassa para obter trabalho mecânico. . .	19
FIGURA 3.3– Equipamentos a serem abastecidos pelo gaseificador: a) Motobomba Campeon MRX-50, b) Motor de uma CG-125 Titan.	20
FIGURA 3.4– Principais dimensões do gaseificador <i>downdraft</i>	22
FIGURA 3.5– Relação entre a área de entrada de ar na lareira, A_n e a área da garganta, A_t , em função do diâmetro da garganta, D_t	24
FIGURA 3.6– Relação entre diâmetro da lareira, D_r , em função do diâmetro da garganta, D_t	24
FIGURA 3.7– Relação entre diâmetro do anel de entrada de ar, D_{nt} , em função do diâmetro da garganta, D_t	25
FIGURA 3.8– Relação da distância entre o anel de entrada de ar e a garganta, H_{nt} , em função do diâmetro da garganta, D_t	25
FIGURA 3.9– Representação do permutador de casco e tubos com os fluxos de entrada do syngas e da água.	27
FIGURA 3.10– Representação das principais dimensões do permutador de tubo alhetado, arrefecido por convecção natural com o ar ambiente	30
FIGURA 3.11– Fluxograma do método utilizado para o dimensionamento do permutador de tubo alhetado.	31
FIGURA 3.12– Eficiência de aletas anulares de perfil retangular (BERGMAN et al., 2011).	33
FIGURA 3.13– Esquema do permutador de tubo alhetado em serpentina com o fluxo de entrada do syngas.	34
FIGURA 3.14– Esquema do filtro de serragem de madeira com os fluxos de entrada e saída do syngas.	35
FIGURA 3.15– Máquinas utilizadas na construção do protótipo: a) Máquina de solda Mig, b) Furadora de bancada, c) Serrote de fita, d) Quinadora, e) Guilhotina.	39
FIGURA 4.1– Desenho 3D do sistema de gaseificação proposto para abastecer o motor da motobomba Campeon MRX-50.	41

FIGURA 4.2–	Desenho 3D do sistema de gaseificação proposto para abastecer o motor da motocicleta CG-125 Titan.	41
FIGURA 4.3–	Desenho em corte do gaseificador com as dimensões calculadas para o motor da motocicleta CG-125 Titan com zoom no sistema de vedação utilizado.	43
FIGURA 4.4–	Desenho 3D em corte do permutador a água.	44
FIGURA 4.5–	Desenho 3D em corte do permutador a ar.	45
FIGURA 4.6–	Desenho em corte do filtro com zoom no sistema de vedação proposto.	46
FIGURA 4.7–	Protótipo do sistema de gaseificação para abastecer com syngas o motor da motobomba Campeon MRX-50: a) gaseificador; b) permutador a água; c) filtro.	95
FIGURA 4.8–	Fotografias retiradas durante a construção do protótipo: a) Montagem da lareira do gaseificador, b) Montagem das paredes do gaseificador, c) Junção do reservatório com a lareira, d) Montagem da tampa do filtro, e) Colagem dos vedantes de silicone térmico no gaseificador, f) Permutador a água, gaseificador e filtro.	96
FIGURA 4.9–	Teste com injeção de ar do gaseificador.	97
FIGURA 4.10	Queima do syngas produzido no gaseificador.	98

Lista de Símbolos

Símbolo Gregos	Descrição	Unidade
α	Ângulo de inclinação da parede do reservatório	[°]
ε	Porosidade	[-]
η	Eficiência	[%]
κ	Condutividade térmica	[W/(m · K)]
μ	Viscosidade	[N · s/m ²]
ϕ	Esfericidade	[-]
ρ	Massa volúmica	[kg/m ³]
Símbolos Latinos	Descrição	Unidade
A	Área	[m ²]
B_t	Razão entre o caudal máximo de syngas e a área da garganta	[m ³ /(m ² · s)]
c	Cilindrada	[m ³]
c_p	Calor específico a pressão constante	[J/(kg · K)]
D	Diâmetro	[m]
f	Eficiência volumétrica do motor	[%]
F	Fator de correção	[-]
h	Altura da parede inclinada do reservatório; condutividade térmica	[m; W/(m ² · K)]
H	Altura	[m]
L	Largura	[m]
L_c	Comprimento equivalente da alheta	[m]
L_P	Comprimento do permutador	[m]
\dot{m}	Caudal mássico	[Kg/s]
N	Quantidade de tubos internos; quantidade de alhetas	[-]
Nu	Número de <i>Nusselt</i>	[-]

P	Perímetro; pressão	[m; Pa]
P_g	Potência térmica do gaseificador	[W]
PC	Poder calorífico	[J/m ³]
Pr	Número de <i>Prandtl</i>	[-]
\dot{q}	Fluxo de calor por unidade de comprimento	[W/m]
\dot{Q}	Fluxo de calor	[W]
r	Raio	[m]
R	Rotação; resistência térmica	[rpm; K/W]
Re	Número de <i>Reynolds</i>	[-]
S	Distância entre as alhetas	[m]
t	Tempo; espessura	[s; m]
T	Temperatura	[K]
U	Coefficiente global de transferência de calor	[W/(m · K)]
v	Velocidade	[m/s]
V	Volume	[m ³]
\dot{V}	Caudal volumétrico	[m ³ /s]

Subscritos

Descrição

a	Alheta
ar	Ar ambiente
c	Carcaça do permutador
e	Entrada
eq	Equivalente
ext	Externo
g	Gaseificador; global
h	Hidráulico
i	Tubo interno
$inox$	Aço inoxidável

<i>int</i>	Interno
<i>m</i>	Madeira; média
<i>ml</i>	Média logarítmica
<i>n</i>	Orifícios de entrada de ar na lareira
<i>nt</i>	Anel de entrada de ar
<i>P</i>	Permutador
<i>t</i>	Garganta; térmico; tubo; total
<i>r</i>	Lareira
<i>R</i>	Reservatório
<i>s</i>	Saída; partícula de serragem de madeira

1 INTRODUÇÃO

Projeteu-se e construiu-se um protótipo funcional demonstrativo de um sistema de gaseificação de blocos de madeira. Este sistema foi dimensionado para abastecer dois modelos de motores de combustão interna a 4 tempos: o motor RCX-210 da motobomba MRX-50 e o motor de uma motocicleta Honda CG-125 Titan.

O equipamento é composto por uma unidade de gaseificação (gaseificador *down-draft*), uma unidade de arrefecimento (são apresentados dois modelos de permutadores, um para arrefecer o syngas com água e outro com ar ambiente) e outra de filtragem do syngas.

O gaseificador projetado utiliza biomassa (blocos de madeira) como combustível para operar equipamentos, sendo um recurso de elevada disponibilidade e neutro em termos de emissão de CO_2 (em caso de exploração sustentável) e gases poluentes tais como óxido de enxofre (SO_x) e óxido de azoto (NO_x). Este é um combustível barato, logo este sistema poderá beneficiar principalmente às pessoas que moram em comunidades remotas, zonas rurais ou profissionais que trabalham com madeira.

O sistema é isolado (off-grid), podendo ser utilizado em regiões remotas onde são de difícil acesso combustíveis fósseis e/ou eletricidade (não dependendo da instalação de rede elétrica). Além dos dois modelos de motor apresentados, o sistema proposto também pode ser utilizado em outros sistemas que utilizam motores semelhantes, como geradores de eletricidade, compressores, betoneiras, motores em desuso como tomada de força em máquinas como moinhos, serras de corte, esteiras transportadoras, misturadores, etc. Isto possibilita utilizar equipamentos com motor a 4 tempos a gasolina em regiões como matas, florestas, fazendas, sertões, regiões inundadas com água, etc.

Projeteu-se o gaseificador apresentado neste trabalho com o intuito de que as próprias pessoas consigam construí-lo, ou seja, de construção simples. O modelo proposto é composto na sua maior parte, por chapas e tubos de aço (comum e galvanizado), não possuindo equipamentos eletrônicos sensíveis e materiais de baixa disponibilidade. Sugere-

se que ao construir o sistema se reciclem materiais como tambores e tubos de aço, seguindo as dimensões e geometria apresentadas neste trabalho. Isto gerará uma economia circular, evitando gastos como mão de obra e compra de materiais, que tornarão a construção do equipamento mais acessível.

1.1 OBJETIVOS

O objetivo geral deste trabalho foi projetar e construir um gaseificador robusto, de construção simples e off-grid, que produza syngas através de blocos de madeira em condições suficientes para abastecer os dois modelos de motor: Campeon RCX-210 e o motor da motocicleta CG-125 Titan. Os objetivos específicos desse trabalho foram:

- Elaborar a revisão da literatura dos principais modelos de gaseificadores;
- Projetar um gaseificador para abastecer os motores: RCX-210 e o motor da motocicleta CG-125 Titan;
- Projetar dois modelos de permutadores (um arrefecido com água e outro por convecção natural com ar ambiente) capazes de arrefecer o syngas a temperaturas suficientes para operar os motores;
- Projetar um filtro que utilize como meio filtrante um material de alta disponibilidade e barato;
- Angariar fundos para a compra dos materiais necessários para construção de um protótipo funcional demonstrativo;
- Construir um protótipo funcional demonstrativo do sistema de gaseificação de blocos de madeira projetado.

1.2 ORGANIZAÇÃO DO TEXTO

Esta dissertação está dividida em 5 capítulos.

O primeiro capítulo contém uma breve introdução ao presente trabalho, seu enquadramento, justificativa e objetivos.

O segundo capítulo consiste na fundamentação teórica, estado da arte, a contextualização da tecnologia dos gaseificadores, os principais modelos, as zonas de reações, suas aplicações e a sequência do dimensionamento do modelo *downdraft*.

O terceiro capítulo apresenta os materiais e métodos utilizados para projetar e construir o sistema de gaseificação.

O quarto capítulo contém os resultados e discussões do dimensionamento do sistema de gaseificação juntamente com o desenho técnico de suas peças e os sistemas de vedação utilizados para obter a estanqueidade das unidades. Também apresenta os dados obtidos através da campanha de angariação de fundos e fotografias do protótipo funcional demonstrativo.

Por fim, o quinto capítulo contém a conclusão desta dissertação, juntamente com algumas propostas de trabalho futuros.

2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA E ESTADO DA ARTE

Os gaseificadores desempenharam um papel importante no passado na substituição de combustíveis à base de petróleo em motores de combustão interna. Durante a Segunda Guerra Mundial, por exemplo, mais de um milhão de veículos, autocarros, camiões, automóveis, barcos e comboios eram abastecidos por gaseificadores movidos a carvão, madeira ou turfa (FAO, 1986; MARTÍNEZ, 2009).

Segundo Quaak et al. (1999), o primeiro gaseificador comercial foi instalado no ano de 1839. O gaseificador era do modelo *updraft* e utilizava o ar como agente oxidante na gaseificação contínua de combustíveis sólidos.

O primeiro motor a funcionar a gás produzido por um gaseificador foi em 1881. O gás produzido no gaseificador era sugado pelo motor, sendo geralmente chamado na época de “gás de sucção” (SWEDEN, 1979).

Na década de 70 do século passado houve um maior interesse nas tecnologias de gaseificação devido ao elevado preço do petróleo. Os gaseificadores foram vistos como uma alternativa relativamente barata para a produção industrial de energia e de uso em pequena escala em países em desenvolvimento. Na década seguinte, mais de 10 fabricantes europeus ofereciam centrais termoelétricas de pequena escala (até 250 kW_e) abastecidas a carvão e madeira, e países em desenvolvimento tais como Filipinas, Brasil, Indonésia e Índia iniciaram a implementação de gaseificadores baseados em tecnologias desenvolvidas localmente (QUAAK et al., 1999).

Com a ascensão do petróleo após a segunda guerra mundial, os gaseificadores foram cada vez menos utilizados, sendo paulatinamente esquecidos. Isto deveu-se à baixa eficiência do gás produzido quando comparado ao petróleo e por necessitar de operações regulares de manutenção dos filtros e dos dispositivos de arrefecimento do *syn-gas* (MARTÍNEZ, 2009).



(a)



(b)



(c)

Figura 2.1: Veículos abastecidos com gaseificador: a) Carro, b) Trator, c) Camião (MARTÍNEZ, 2009).

2.1 O QUE SÃO OS GASEIFICADORES

Os gaseificadores são basicamente incineradores que realizam a combustão parcial de combustíveis carbonáceos e hidrocarbonetos para gerar um gás rico em CO e H_2 . O calor para sustentar o processo é derivado de reações exotérmicas, enquanto os componentes combustíveis do gás de baixa energia são gerados principalmente por reações endotérmicas (PERRY; GREEN, 2007).

O gás produzido nos gaseificadores é conhecido como gás energético, gás de síntese (syngas), gás pobre ou producer gas (STEVENS, 2001). Os principais componentes deste gás são CO , H_2 , CH_4 , CO_2 , H_2O e N_2 , variando suas concentrações de acordo com o modelo do gaseificador, o combustível e o agente oxidante utilizados (BARMAN et al., 2012; VONK et al., 2019; UPADHYAY et al., 2019). As principais reações químicas que acontecem na produção do syngas estão apresentadas na Secção (2.4).

A seleção do modelo de gaseificador depende de qual a aplicação do syngas produ-

zido e do tipo de biomassa que será utilizada (MARTÍNEZ et al., 2008; REED; DAS, 1988). A seguir são apresentados os principais modelos de gaseificador e suas características.

2.2 TIPOS DE GASEIFICADORES

Os gaseificadores poderão ser classificados de acordo com as características do syngas produzido, o meio oxidante utilizado, a pressão interna de trabalho ou pela potência térmica, como apresentados a seguir:

Segundo o poder calorífico do syngas: o poder calorífico inferior (PCI) define as possíveis aplicações do syngas e está diretamente relacionado ao modelo do reator, a biomassa e o meio oxidante utilizado. É considerado de baixo PCI o syngas com até $5 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$, médio PCI entre 5 e $10 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$ e alto entre 10 e $40 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$ (CORONADO RODRÍGUEZ, 2007).

Segundo o tipo de meio oxidante: o meio oxidante interfere diretamente nas reações químicas que ocorrem no gaseificador, resultando em diferentes concentrações dos gases do syngas. Pode ser utilizado ar, oxigênio ou vapor de água ou uma mistura destes (ALVES, 2010).

Segundo a pressão de trabalho: os gaseificadores podem ser projetados para funcionarem pressurizados ou a pressão atmosférica, interferindo diretamente no desempenho do gaseificador e em sua construção (ALVES, 2010).

Segundo a potência térmica: são diversas as aplicações dos gaseificadores e sua potência é um dos parâmetro que mede a escala de aplicação, podendo ser utilizados pequenos gaseificadores de 10 kW_t em pequenos motores ou grandes gaseificadores de mais de 100 MW_t para abastecer centrais termoelétricas. A Fig. (2.2) ilustra a escala de potência térmica dos principais modelos de gaseificadores.

A maneira mais comum de caracterizar os gaseificadores é de acordo com disposição da biomassa no interior do reator, sendo classificados como leito móvel e leito fluidizado.

2.2.1 GASEIFICADORES DE LEITO MÓVEL

Os gaseificadores de leito móvel compõem os modelos que operam com seu leito preenchido por partículas de combustível sólido geralmente suportadas por uma grade. O

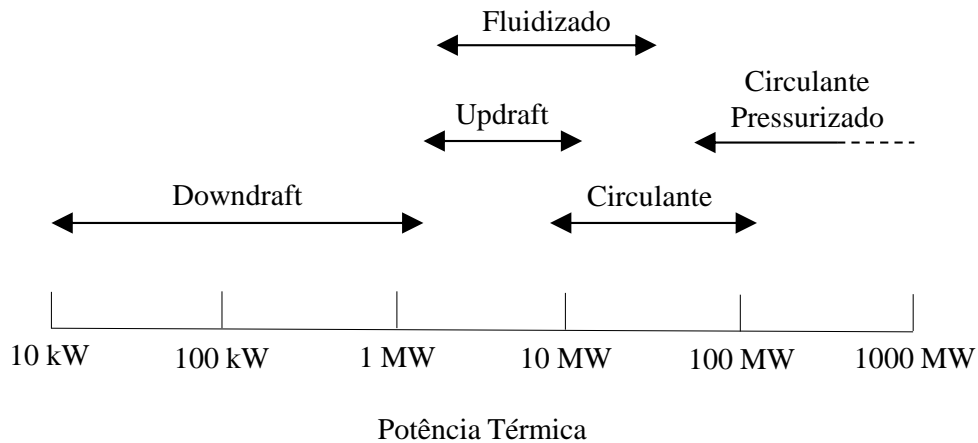


Figura 2.2: Potência térmica dos principais modelos de gaseificadores.

Fonte: Adaptado de Lora et al. (2012)

meio oxidante utilizado e o syngas produzido encontram-se subindo (*updraft*), descendo (*downdraft*) ou fluindo na horizontal através do reator (*crossdraft*). Nesses modelos o meio oxidante pode ser ar, vapor, oxigênio ou uma mistura deles (BRANDIN et al., 2011; SAFARIAN et al., 2019).

As principais vantagens prática dos gaseificadores de leito móvel consiste em serem de fabricação barata para produção em pequena escala e o syngas produzido ser mais limpo, com baixo teor de poeira e alcatrão se comparado aos de leito fluidizado. Suas principais desvantagens residem na dificuldade de obter uma homogeneidade de temperatura interna, o que por sua vez pode dificultar as reações químicas em certas regiões e são inviáveis para plantas de maior porte. Outro fator é que o combustível utilizado requer especificações mais rigorosas: nível de humidade abaixo de 20 %; tamanho uniforme das partículas sólidas (STEVENS, 2001; CORONADO RODRÍGUEZ, 2007; SAFARIAN et al., 2019).

Gaseificador *Updraft*

O gaseificador *updraft* é abastecido com biomassa na sua parte superior, sendo sustentada em seu interior por uma grelha. Esta grelha tem a finalidade de separar por gravidade a biomassa das cinzas resultantes da gaseificação. O fluxo dos gases produzido das reações químicas no interior do reator ocorre no sentido ascendente (oxidação, redução pirólise e secagem), sendo retirado o syngas na parte lateral superior do gaseificador. A alimentação de ar é feita na parte inferior, logo abaixo da grelha.

A Fig.(2.3) ilustra um esquema dum gaseificador *updraft* com as zonas de reações que acontecem no interior do reator e os fluxos de ar, gás de síntese e biomassa.

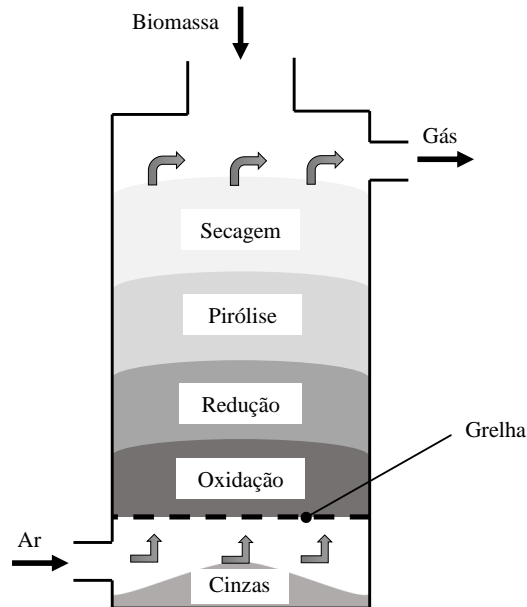


Figura 2.3: Esquema de um gaseificador *updraft*.

Este é o modelo de mais simples construção, permite boa troca de calor interna, possui elevada eficiência e possibilita operar com diversos tipos de biomassa. O syngas ao sair do reator possui baixa temperatura quando comparado aos outros modelos e contém um alto teor de alcatrão ($20 - 100 \text{ g/Nm}^3$) e material particulado ($0,1 - 1 \text{ g/Nm}^3$) (SILVEIRA, 2007). O gaseificador *updraft* é mais indicado para a queima direta do syngas em queimadores, não sendo indicado para aplicação em motores de combustão interna devido a necessidade de um sistema capaz de retirar o alcatrão, por este ser prejudicial ao funcionamento dos motores (STASSEN, 1995).

Gaseificador *Downdraft*

No gaseificador *downdraft* a alimentação de biomassa é feita na parte superior e a entrada de ar é feita na lateral acima da grelha. O syngas produzido sai na parte inferior da grelha sendo retirado pela lateral do gaseificador. (CONCHA LAZARINOS, 2007).

A grelha, assim como no modelo *updraft*, tem a finalidade de sustentar a biomassa dentro do reator e separar por gravidade as cinzas resultantes das reações. A principal diferença deste modelo consiste na construção de um lareira reduzida com uma "garganta". O ar penetra na lareira através de pequenos orifícios localizados na sua parte superior onde ocorrem as reações de oxidação (combustão) gerando todo o calor para o sistema.

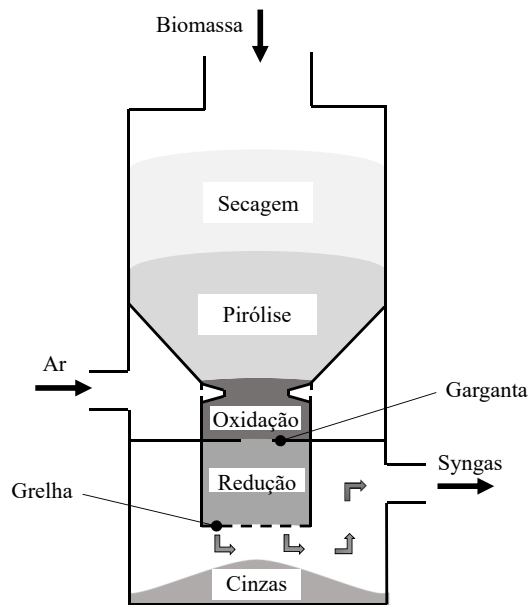


Figura 2.4: Esquema de um gaseificador *downdraft*.

São quatro zonas de reações químicas no gaseificador *downdraft*: secagem, pirólise, oxidação (combustão) e redução. Na secagem acontece a evaporação da humidade presente na biomassa através do calor resultantes das zonas inferiores. Na zona de pirólise ocorre a degradação térmica da biomassa seca produzindo voláteis, alcatrão (hidrocarbonetos) e carvão vegetal (*charcoal*). Já na lareira, as reações de oxidação (combustão) dos voláteis produzidos na zona de pirólise são muito rápidas e o oxigénio é consumido antes que possa difundir-se na superfície do *charcoal*. Por último, na zona da redução boa parte dos gases quentes resultantes principalmente da zona de oxidação reagem com o *charcoal* produzindo CO e H_2 (FAO, 1986; QUAAK et al., 1999; CONCHA LAZARINOS, 2007).

A redução da secção transversal na lareira (“garganta”) tem o propósito de concentrar parte do calor resultado da oxidação da biomassa para fracionar (*cracking*) o alcatrão produzido na zona de pirólise (hidrocarboneto prejudicial no funcionamento de motores de combustão interna) formando hidrocarbonetos mais simples que são aproveitados pelo sistema como gás combustível ou CO_2 , que será convertido em CO na zona de redução (REED T. B., 2001; CORONADO RODRÍGUEZ, 2007; ANDRADE, 2007).

A principal vantagem do gaseificador *downdraft* consiste na baixa concentração de alcatrão no syngas produzido, sendo o modelo mais adequado para aplicação em motores de combustão interna. Como restrição, este modelo requer maior homogeneidade geométrica da biomassa e não se recomenda utilizar materiais de baixa densidade para evitar problemas de circulação dos gases dentro do reator e quedas de pressão no seu

interior. Também é necessário para este modelo de gaseificador utilizar uma biomassa com baixo teor de humidade (menos que 25%) e de cinzas para diminuir a formação de escórias (FAO, 1986; QUAACK et al., 1999; ARDILA, 2015).

Gaseificador *Crossdraft*

Os gaseificadores *crossdraft* também são alimentados com biomassa na sua parte superior e possuem uma grelha na parte inferior que sustenta a biomassa, separando as cinzas resultantes do processo de gaseificação por gravidade. Caracterizam-se pela entrada de ar na sua lateral e com a saída do syngas na lateral oposta. O fluxo dos gases das reações é forçado a percorrer o interior do reator na direção horizontal. A Fig. (2.5) apresenta o esquema do gaseificador *crossdraft* com os fluxos de biomassa, ar e syngas, e também as zonas onde ocorrem as etapas da gaseificação da biomassa.

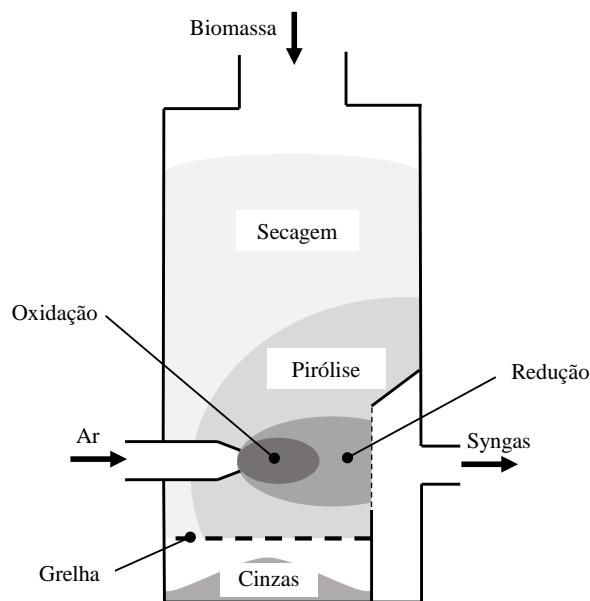


Figura 2.5: Esquema de um gaseificador *crossdraft*.

As zonas de oxidação e redução encontram-se mais centralizadas no interior do gaseificador, fazendo com que a biomassa se encontre à volta funcione como isolante térmico. Com isso, a gaseificação ocorre a altas temperaturas (maiores que 1500 °C), sendo que o syngas sai do gaseificador com temperatura na faixa de 800 e 900 °C (FAO, 1986).

As principais vantagens deste sistema são sua simples geometria, facilitando sua construção e poder trabalhar em pequenas escalas (em motores com potência de eixo inferiores a 10 kW) (CORONADO RODRÍGUEZ, 2007). Sua desvantagem é que possui uma

baixa capacidade de fracionar (*cracking*) o alcatrão, sendo necessário conseqüentemente o uso de carvão de alta qualidade (QUAAK et al., 1999).

2.2.2 GASEIFICADORES DE LEITO FLUIDIZADO

Os gaseificadores de leito fluidizado caracterizam-se pelo meio oxidante ser injetado a uma elevada velocidade em seu interior, suficiente para deixar as partículas sólidas suspensas (*bubbling bed*) ou circulando no sistema (*circulating bed*) podendo ser pressurizados ou atmosféricos (CORONADO RODRÍGUEZ, 2007; ALVES, 2010; BRANDIN et al., 2011; ARDILA, 2015).

Desenvolveu-se este modelo de gaseificador para superar os problemas operacionais de gaseificação dos de leito móvel, como queda de pressão e melhor controle da temperatura interna. (QUAAK et al., 1999).

A fluidização da biomassa otimiza a área de reação das partículas sólidas no reator, promovendo o aumento da velocidade das reações químicas que regem o sistema além de apresentar uma melhor distribuição de temperatura. Isto possibilita sua aplicação em sistemas de maior potência, permite utilizar uma maior gama de biomassa e melhora a eficiência de gaseificação quando comparado aos modelos de leito móvel (QUAAK et al., 1999; PERRY; GREEN, 2007).

A Fig. (2.6) representa um esquema de um gaseificador de leito fluidizado circulante (*circulating bed*), onde a biomassa geralmente é inserida por um alimentador pela lateral do sistema (podendo também ser pelo topo). O meio oxidante, que no esquema é ar, é inserido na parte inferior a uma elevada velocidade para que ocorra o transporte pneumático das partículas de biomassa. As partículas sólidas de biomassa que saem do reator juntamente com o syngas produzido são separadas num ciclone que faz com que voltem para o gaseificador para serem aproveitadas na gaseificação. A saída do syngas é feita no topo do ciclone.

O gaseificador de leito borbulhante (*bubbling bed*) é similar ao de leito circulante, podendo ser utilizado o mesmo modelo de reator. A principal diferença consiste na aplicação de velocidades mais baixas do meio oxidante para que as partículas sólidas fiquem apenas suspensas no reator “borbulhando”. Com isto, o syngas deixa o reator com menor concentração de partículas sólidas de biomassa não necessitando de um ciclone para retorna-las ao sistema.

Os reatores de leito fluidizado operam usualmente em temperaturas na faixa de

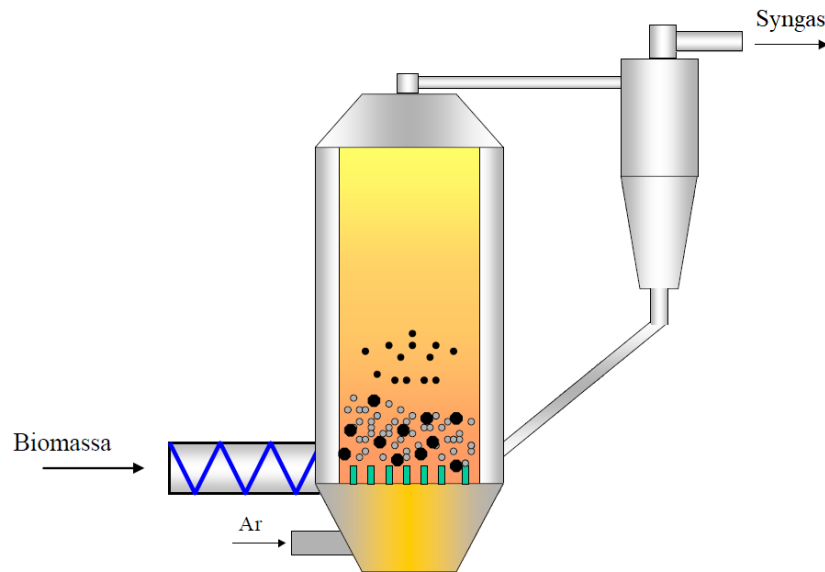


Figura 2.6: Esquema dos fluxos de biomassa, ar e syngas num gaseificador de leito fluidizado circulante.

Fonte: Adaptado de ANDRADE (2007).

700 a 900 °C para que ao inserir a biomassa ocorra a reação de pirólise, obtendo um produto com uma quantidade elevada de material gasoso (CONCHA LAZARINOS, 2007). Na fase gasosa ainda ocorrem mais reações para formação do syngas, sendo uma delas o fracionamento do alcatrão (CORONADO RODRÍGUEZ, 2007).

A Tabela (2.1) apresenta as faixas de concentração no syngas produzido (g/Nm^3) de materiais particulados e alcatrão dos cinco modelos de gaseificador apresentados anteriormente. Nota-se que o modelo *downdraft* é o que apresenta menores concentrações, tanto de particulados como de alcatrão.

Na Secção (2.3) são apresentadas algumas aplicações dos gaseificadores e a qualidade do syngas é um dos principais parâmetros a ser analisado.

Tabela 2.1: Concentrações de particulados e alcatrão no syngas de acordo com o modelo de gaseificador

Tipo de Gaseificador		Particulados (g/Nm^3)			Alcatrão (g/Nm^3)		
		Mín.	Máx.	Faixa Representativa	Mín.	Máx.	Faixa Representativa
Leito Móvel	Updraft	0,1	3	0,1 - 1,0	1	150	20 - 100
	Downdraft	0,01	10	0,1 - 0,2	0,04	6	0,1 - 1,2
	Crossdraft			0,1 - 9			0,09 - 6
Leito Fluidizado	Bubbling	1	100	2 - 20	<0,1	23	1 - 15
	Circulating	8	100	10 - 35	<1	30	1 - 15

Fonte: Adaptado de LORA et al. (2004), Lora et al. (2012)

2.3 APLICAÇÕES

As propriedades do syngas produzido são diretamente relacionadas ao modelo de gaseificador utilizado, o meio oxidante, a biomassa utilizada, dentre outros fatores. Isto interfere na sua composição, temperatura de saída do gaseificador e principalmente no seu poder calorífico (sendo o meio oxidante o que mais interfere no poder calorífico).

São diversas as aplicações possíveis com o syngas, estando relacionadas com seu poder calorífico. O fluxograma apresentado na Fig. (2.7) ilustra algumas das possíveis aplicações do syngas produzido nos gaseificadores sendo considerado de baixo poder calorífico o syngas com menos de $5 \text{ MJ}/\text{Nm}^3$.

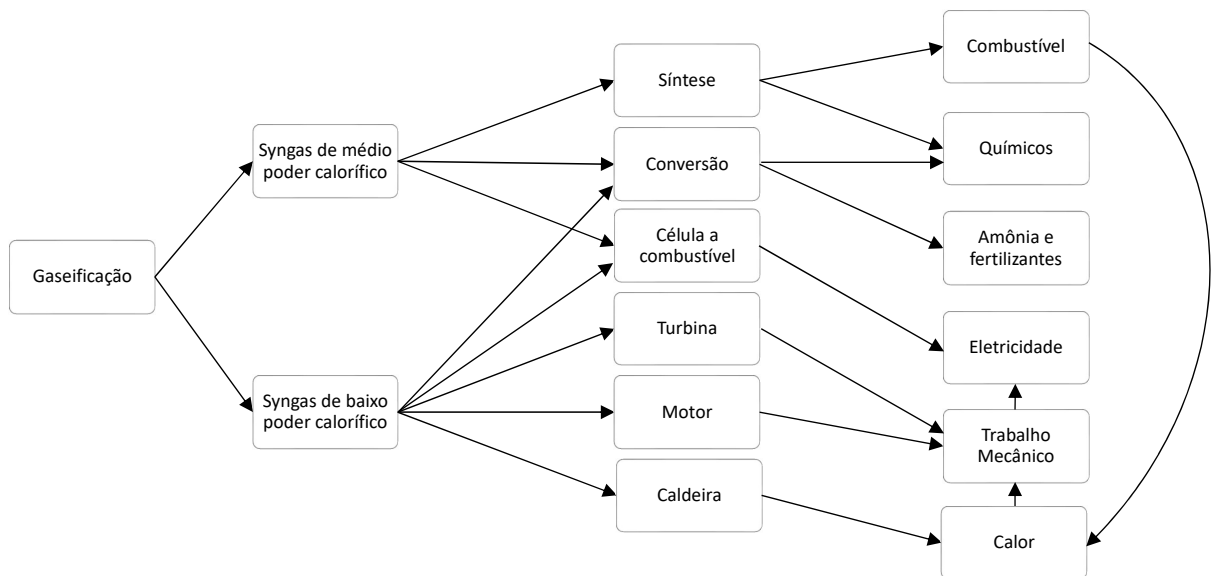


Figura 2.7: Fluxograma de algumas das aplicações da gaseificação de biomassa de acordo com o poder calorífico do syngas.

Fonte: Adaptado de LORA et al. (2004).

O syngas produzido com ar (meio oxidante) possui um teor considerável de azoto (N_2), que deve ser removido quando se visa a produção de compostos químicos. O syngas possui um forte potencial para síntese de combustíveis, tendo também aplicações em processos industriais de produção de hidrogênio para células combustíveis, metanol e vários produtos químicos, além da vantagem de não conter gases poluentes como óxido de enxofre (SO_x) e óxido de azoto (NO_x) (LORA et al., 2012).

Existem diversos equipamentos que utilizam motores a 4 tempos a gasolina que podem ser adaptados para serem abastecidos por um gaseificador. Alguns exemplos são

motocicletas, geradores de eletricidade, compressores, bombas d'água, betoneiras, etc. Também é possível utilizar o gaseificador em motores que estão em desuso (recuperação de motores antigos), utilizando-os como tomada de força em máquinas como moinhos, serras de corte, esteiras transportadoras, misturadores, etc.

A produção de syngas para posteriormente ser usado em diversos equipamentos requer a garantia de parâmetros mínimos de compostos como apresentados na Tabela (2.2).

Tabela 2.2: Parâmetros de qualidade do syngas para algumas aplicações (LORA et al., 2004)

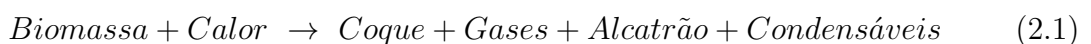
Teor e características dos compostos e controlados	Unidade	Motor de combustão interna	Turbina a gás	Síntese de metanol	Células a combustível
Teor de particulados	mg/Nm^3	<50	<30	<0,02	
Dimensões das partículas	μm	<3	<5		
Teor de alcatrão	mg/Nm^3	<100		<0,1	<1
Teor de álcalis (K, Na)	mg/Nm^3		<0,25		
Teor de NH_3	mg/Nm^3	<55		<0,1	<0,1
Teor de H_2S	mg/Nm^3	<1.150		<1	<1

2.4 ZONAS DE REAÇÃO

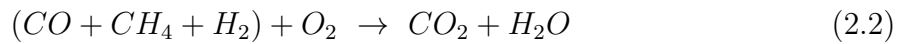
No gaseificador *downdraft* existem 4 zonas de reação: secagem, pirólise, oxidação e redução. A Fig. (2.4) ilustra as diferentes regiões que compreendem as zonas de reação. Estas regiões não são tão bem definidas na prática como transparece na figura, podendo ocorrer algumas reações características de uma zona em outra.

A região de secagem localiza-se no topo do gaseificador, onde o calor resultante das zonas inferiores deixa esta região com uma faixa de temperatura de 70 – 200 °C (REED T. B., 2001). Esta condição causa a remoção por evaporação da humidade presente nos blocos de madeira.

Na zona de pirólise, o calor provindo da zona de oxidação causa a decomposição térmica dos blocos de madeira em atmosfera inerte. Isto causa a ruptura das longas cadeias de hidrocarbonetos da madeira em cadeias menores (geralmente gasosas), tendo como produtos um resíduo carbonoso (Coque), gases condensáveis (hidrocarbonetos) e não condensáveis (CH_4 , vapor d'água, CO , H_2 e CO_2). A temperatura nesta zona fica na ordem dos 350 – 600 °C (REED T. B., 2001). Eq. (2.1) apresenta a reação de pirólise no gaseificador.



A zona de oxidação consiste na região da entrada de ar na lareira até a garganta do gaseificador. Nesta parte, por ter a presença em pouca quantidade do agente oxidante, ocorre a oxidação parcial dos produtos da pirólise, Eq. (2.2), e a oxidação parcial e completa do carbono presente no coque, respectivamente Eq. (2.3) e (2.4), gerando calor para suprir as outras zonas do gaseificador. A temperatura nesta zona é aproximadamente de $1.000\text{ }^{\circ}\text{C}$ (REED T. B., 2001).



A secção transversal de menor área do gaseificador (garganta) situa-se logo abaixo da zona de oxidação. O objetivo dessa redução de área é a concentração de calor na região, obtendo temperaturas elevadas para que ocorra o fracionamento térmico do alcatrão gerado na pirólise. Como produto dessa reação, Eq. (2.5), obtém-se hidrocarbonetos mais simples que são aproveitados pelo sistema como gás combustível e CO_2 , que será convertido em CO tal como indicado na Eq. (2.7) (CORONADO RODRÍGUEZ, 2007).



A zona de redução contém coque e gases resultantes das zonas superiores. Quando atinge temperaturas maiores que $700\text{ }^{\circ}\text{C}$ se dá início as reações de gaseificação heterogêneas (gás – sólido) e homogêneas (gás – gás) (CORONADO RODRÍGUEZ, 2007). O coque reage com O_2 , Eq. (2.3) e (2.4), vapor de água, CO_2 , H_2 e os gases reagem entre si produzindo o gás de síntese que sai do gaseificador após ter passado pela grelha (SWEDEN, 1979). As Equações (2.6) a (2.10) correspondem às principais reações na zona de redução do gaseificador.





No presente trabalho o agente oxidante utilizado no sistema é o ar que é rico em azoto (N_2). Com isso, o gás de síntese ao sair do gaseificador tem como principais constituintes CO , H_2 , N_2 , CO_2 (SWEDEN, 1979).

Por conter gases como N_2 e CO_2 o syngas é considerado um gás “pobre”, possuindo um poder calorífico inferior de $4 - 6 \text{ MJ}/m^3$, sendo mais adequado a sistemas em que a biomassa sólida não pode ser utilizada diretamente (CORONADO RODRÍGUEZ, 2007).

2.5 DIMENSIONAMENTO DO GASEIFICADOR

O motor é o responsável pela circulação do syngas pelo sistema, desde o gaseificador até sua câmara de combustão, sendo este efeito gerado pelo vácuo criado a partir do movimento dos pistões.

Do consumo do motor determina-se a carga de syngas que deve ser produzida para abastecer o motor à sua potência máxima. A Fig. (2.8) apresenta um fluxograma das etapas necessárias para o dimensionamento do gaseificador *downdraft* (lareira e reservatório), partindo dos parâmetros do motor para o cálculo do consumo de combustível do motor. Posteriormente é obtido a carga da lareira necessária para abastecer o motor com syngas. Com a carga lareira, dimensiona-se então a própria lareira e o reservatório do gaseificador. O dimensionamento do reservatório também considera o tempo de suprimento de biomassa que se deseja sem necessitar de reabastecimento.

Por ser o motor quem succiona o syngas e dita sua produção no gaseificador, é possível a utilização de um gaseificador de maior potência em um motor que consome menos combustível.

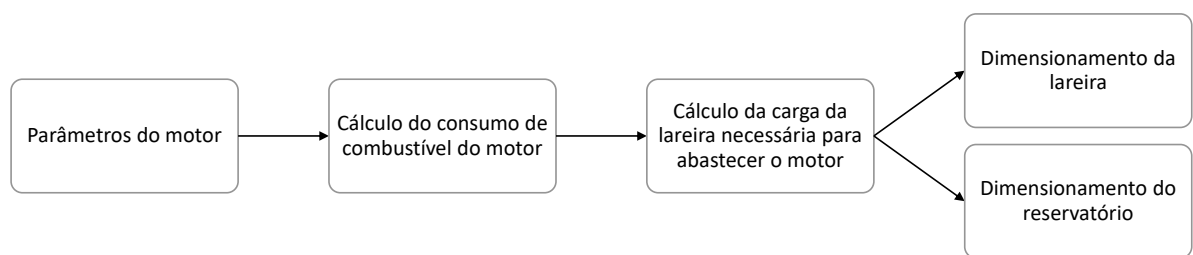


Figura 2.8: Fluxograma das etapas necessárias para o dimensionamento do gaseificador *down-draft*.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

O gaseificador é um sistema relativamente simples, onde o gás gerado já é diretamente consumido, sem a presença de um reservatório, sendo necessário um projeto de engenharia específico para cada modelo de motor.

O syngas necessita estar em temperaturas mais baixas, aumentando sua massa volúmica para que a quantidade de gás combustível na câmara de combustão seja suficiente para o funcionamento do motor. Também deve estar limpo para que não forme borras internas no motor não o danificando. Para isto, dimensionou-se 3 partes do sistema: o gaseificador (*downdraft*), a unidade de arrefecimento e a unidade de filtragem do syngas.

Os sistemas propostos neste trabalho foram dimensionados para abastecer os dois modelos de motores que são seguidamente apresentados na Secção (3.1). Para o motor da motobomba é proposto o sistema da Fig. (3.1), e para o motor da motocicleta é proposto o sistema da Fig. (3.2). Ambos possuem além dos motores um gaseificador, um permutador de calor e um filtro, tendo como principal diferença o modelo do permutador de calor utilizado. Para o sistema da motobomba utiliza-se um permutador que arrefece o syngas aproveitando a água bombeada. Já no sistema do motor da motocicleta, utiliza-se um permutador que arrefece o syngas por convecção natural com o ar ambiente.

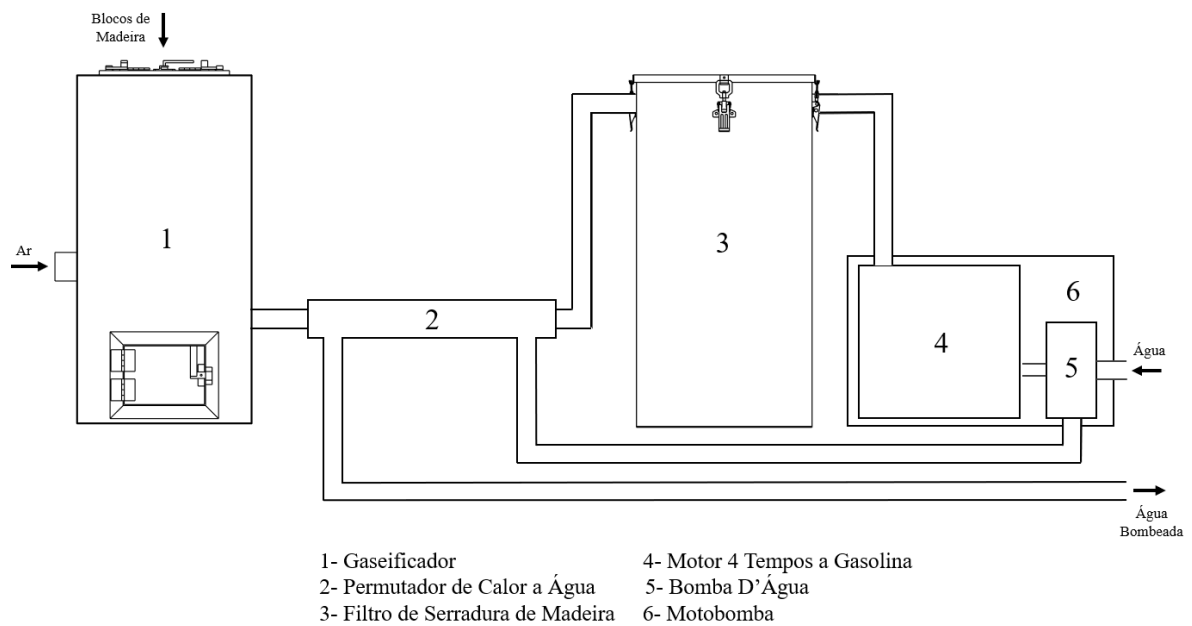


Figura 3.1: Sistema de bombeamento de água abastecido com biomassa.

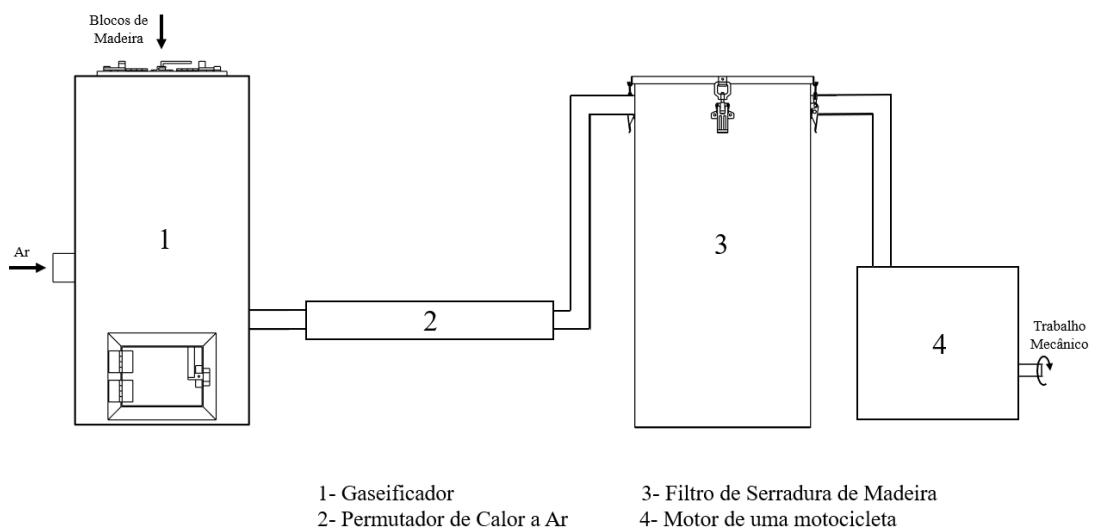


Figura 3.2: Sistema abastecido por biomassa para obter trabalho mecânico.

3.1 MOTORES

O gaseificador construído neste trabalho foi dimensionado para abastecer com syngas os dois modelos de motores: RCX-210 da motobomba Campeon MRX-50 e o motor de uma motocicleta Honda CG-125 Titan. Os dois motores, Fig. 3.3 (a) e (b), são de combustão interna a 4 tempos a gasolina, que serão adaptados para funcionarem a syngas. Suas propriedades mecânicas estão presentes na Tab. (3.1).

Comprou-se a motobomba em loja agrícola na cidade de Bragança, sendo o mo-



Figura 3.3: Equipamentos a serem abastecidos pelo gaseificador: a) Motobomba Campeon MRX-50, b) Motor de uma CG-125 Titan.

Fonte: www.campeongroup.es

Tabela 3.1: Propriedades dos motores da motobomba Campeon MRX-50 e da motocicleta Honda CG-125 Titan.

Propriedade	Motobomba Campeon MRX-50	Motocicleta CG-125 Titan
Modelo do motor	RCX-210	-
Cilindrada [cc]	212	124,1
Rotação máxima [rpm]	1.800	9.000
Potência máxima [CV]	6,5	12,5

delo de menor preço para a potência de 6,5 CV. Já o motor da motocicleta CG-125 Titan foi adquirido através da doação de um membro da equipe de pesquisa, que também participou na construção do protótipo do gaseificador.

3.2 PROPRIEDADES DOS FLUIDOS

Para dimensionar o permutador de calor e o filtro do syngas é fundamental conhecer as propriedades dos fluidos que escoam pelo sistema. A temperatura do syngas ao sair do gaseificador fica na faixa de 300 °C a 400 °C, sendo a temperatura de 40°C a ideal para alimentar o motor (SWEDEN, 1979).

A proporção dos principais gases que compõem o syngas ao sair da lareira é apresentada na Tab. (3.2) (SWEDEN, 1979).

A partir da composição do syngas, com o auxílio de uma tabela de propriedades termofísicas obteve-se suas propriedades (\bar{x}) apresentadas na Tab. (3.3) (BERGMAN et

Tabela 3.2: Principais gases presentes no syngas

Gás	% Mássica
CO_2	20%
CO	21%
H_2	2%
N_2	57%

al., 2011). Calculou-se estas propriedades através da média ponderada das propriedades termofísicas de cada gás (x) com base na percentagem em massa (w). Considerou-se apenas os principais gases que compõem o syngas neste cálculo, totalizando 99,2 % da composição do syngas, logo dividiu-se o resultado da soma anterior pela soma da percentagem em massa desses gases, como apresentado na Eq. (3.1).

$$\bar{x} = \frac{\sum_{n=1}^4 x_i \times w_i}{\sum_{n=1}^4 w_i} \quad (3.1)$$

Consultou-se as propriedades de cada gás na temperatura de 220 °C, que consiste na temperatura média entre a entrada (400°C) e saída do syngas (40°C) no permutador, e as propriedades da água foram consultadas para temperatura de 15°C.

Tabela 3.3: Propriedade termofísicas do syngas (\bar{x}) e da água

Propriedade	Unidade	Syngas (220°C)	Água (15°C)
ρ	kg/m^3	0,751	999,40
c_p	$kJ/(kg \cdot K)$	1,257	4,186
$\mu \times 10^7$	$(N \cdot s)/m^2$	247,07	11.380,0
$\kappa \times 10^3$	$W/(m \cdot K)$	40,48	594,8
P_r	—	0,707	8,060

3.3 DIMENSIONAMENTO

A partir das características dos motores, dimensionou-se o sistema de gaseificação para produzir o syngas em condições suficientes para abastecer os motores. A seguir são apresentados os métodos utilizados para dimensionar o gaseificador, o permutador e o filtro do syngas.

3.3.1 GASEIFICADOR

O gaseificador foi dimensionado em duas partes: lareira e reservatório. A lareira é composta pelas dimensões: diâmetro da garganta (D_t), diâmetro do anel de entrada de

ar (D_{nt}), diâmetro da lareira D_r , altura do anel de entrada de ar (H_{nt}) e altura da zona de redução (H_r). Já o reservatório é composto pelas dimensões: ângulo de inclinação da parede do reservatório (α), diâmetro do reservatório (D_R) e altura da parede lateral do reservatório (H_R). Todas estas dimensões estão ilustradas na Fig. (3.4).

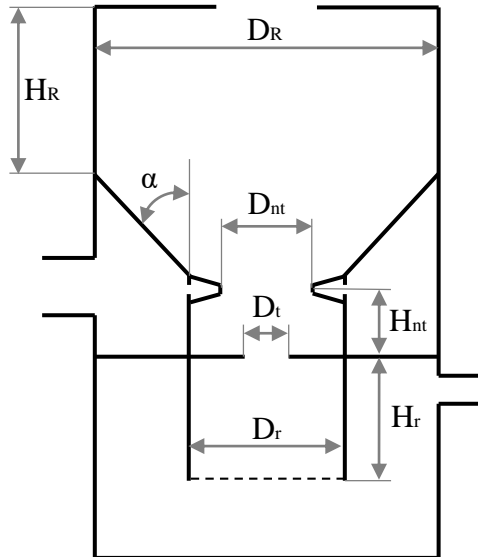


Figura 3.4: Principais dimensões do gaseificador *downdraft*.

3.3.1.1 LAREIRA

O dimensionamento da lareira do gaseificador seguiu as recomendações da FAO (1986). Calculou-se a quantidade de gás que o gaseificador deve produzir a partir do consumo da mistura ar/syngas do motor à máxima potência. O caudal volumétrico da mistura ($\dot{V}_{\frac{ar}{syngas}}$) pode ser obtido através da rotação (R) e a cilindrada (c) do motor, como ilustrado na Eq. (3.2).

$$\dot{V}_{\frac{ar}{syngas}} = \frac{1}{2} \times R \times c \quad (3.2)$$

Obteve-se a quantidade máxima de combustível que deve ser gerada pelo gaseificador (\dot{V}_{syngas}) em m^3/s pela Eq. (3.3). Para isso foi considerado uma razão estequiométrica ar/gás de 1.1:1.0 respectivamente, e uma eficiência volumétrica (f) do motor de 90%.

$$\dot{V}_{syngas} = \frac{1.0}{2.1} \times \dot{V}_{\frac{ar}{syngas}} \times f \quad (3.3)$$

A quantidade máxima que o gaseificador produz de gás (B_t) é $0.9 \text{ m}^3/(\text{cm}^2 \cdot \text{h})$, onde a unidade cm^2 está relacionada à área da garganta do gaseificador (A_t). Com essa hipótese, obteve-se o diâmetro da garganta do gaseificador (D_t) pela Eq. (3.4).

$$D_t = \sqrt{\frac{4 \times \dot{V}_{syngas}}{\pi \times B_t}} \quad (3.4)$$

Este gaseificador é de baixa potência, o que impossibilita o uso direto das relações empíricas apresentadas por FAO (1986). Assim, necessitou-se proceder a uma extrapolação polinomial dessas curvas para determinar a área total dos orifícios de entrada de ar na lareira (A_n), o diâmetro da lareira (D_r), o diâmetro da secção de entrada de ar (D_{nt}) e a distância da secção de entrada de ar na lareira até a garganta (H_{nt}). As curvas de extrapolação, juntamente com os pontos obtidos para dimensionar a lareira do gaseificador para abastecer os dois modelos de motor estão ilustrados nas Fig.s (3.5) a (3.8).

A Fig. (3.5) permite obter a área total para a entrada de ar na lareira a partir do diâmetro da garganta (D_t). Para obter o diâmetro dos orifícios de entrada de ar estipulou-se um total de 8 orifícios distribuídos para uniformizar a entrada de ar na lareira. Com isso, calculou-se o diâmetro de cada orifício de entrada de ar pela Eq. (3.5).

$$D_n = \sqrt{\frac{A_n}{A_t} \times \frac{D_t^2}{8}} \quad (3.5)$$

3.3.1.2 RESERVATÓRIO

Dimensionou-se o reservatório considerando o corpo do gaseificador com a geometria quadrada, pelo argumento apresentado no próximo tópico (Secção 3.3.1.3).

Obteve-se a potência do gaseificador (P_g) pela Eq. (3.6), considerando o poder calorífico do syngas (PC_{syngas}) de $4.800 \text{ kJ}/\text{m}^3$ (FAO, 1986).

$$P_g = \dot{V}_{syngas} \times PC_{syngas} \quad (3.6)$$

A Eq. (3.7) indica o cálculo do consumo de madeira (\dot{m}_m) que o gaseificador necessita para suprir a máxima potência do motor. Onde considerou-se a eficiência do gaseificador (η_g) de 70% e o poder calorífico da madeira (PC_m) de $1.700 \text{ kJ} \cdot \text{kg}^{-1}$ (com 14% de humidade).

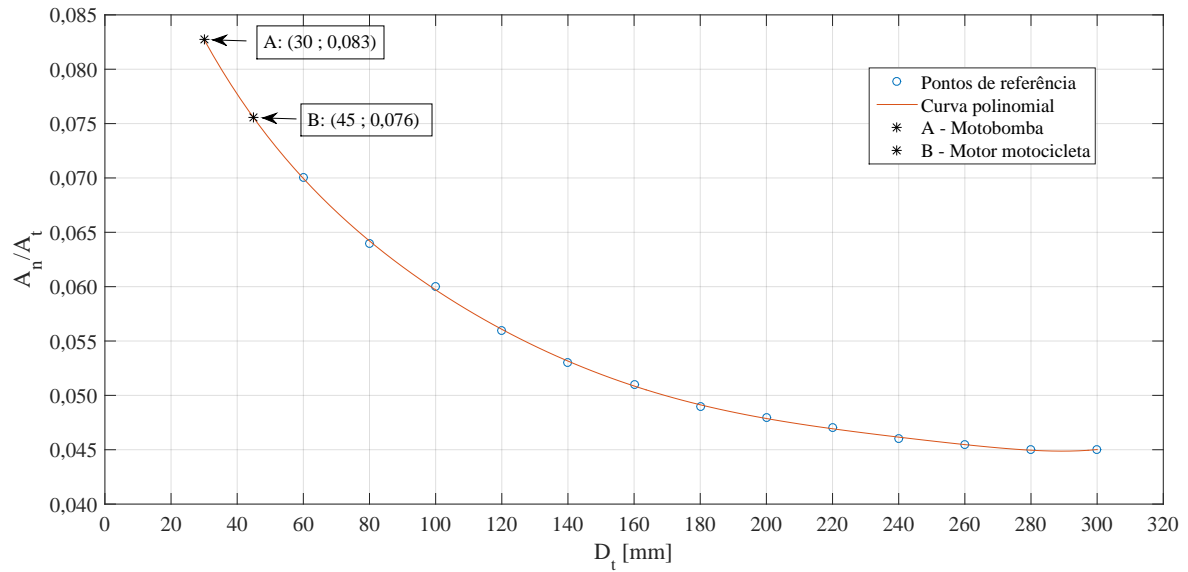


Figura 3.5: Relação entre a área de entrada de ar na lareira, A_n e a área da garganta, A_t , em função do diâmetro da garganta, D_t .

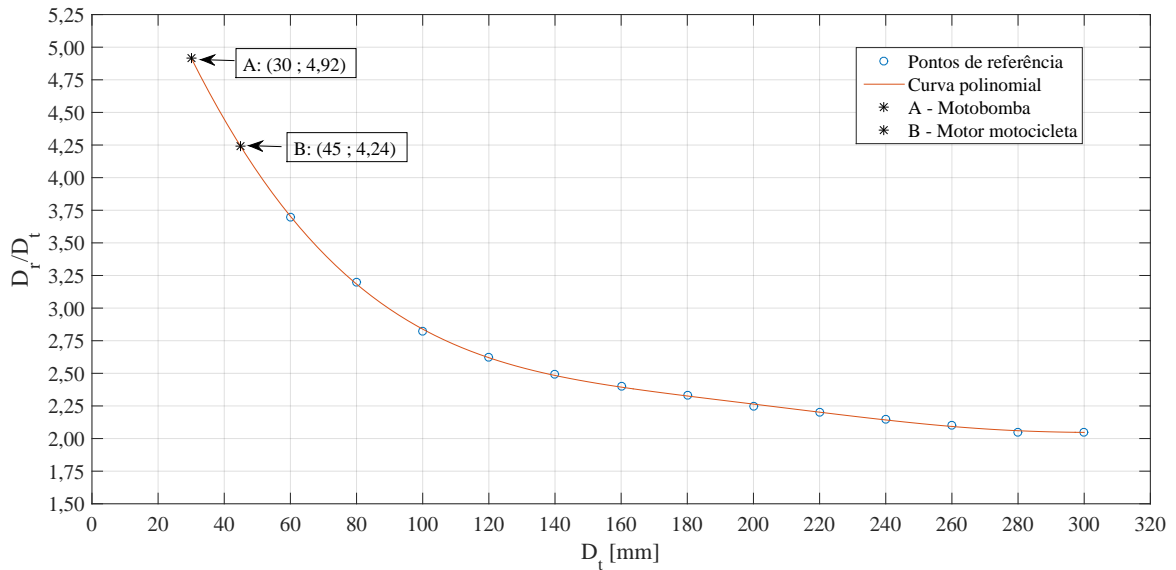


Figura 3.6: Relação entre diâmetro da lareira, D_r , em função do diâmetro da garganta, D_t .

$$\dot{m}_m = \frac{P_g}{\eta_g \times PC_m} \quad (3.7)$$

Estimou-se o tempo de suprimento de madeira pelo reservatório (t_m) de 4 horas. A massa volúmica dos blocos de madeira (ρ_m) é de $250 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$. Calculou-se o volume do reservatório de madeira (V_m) pela Eq. (3.8).

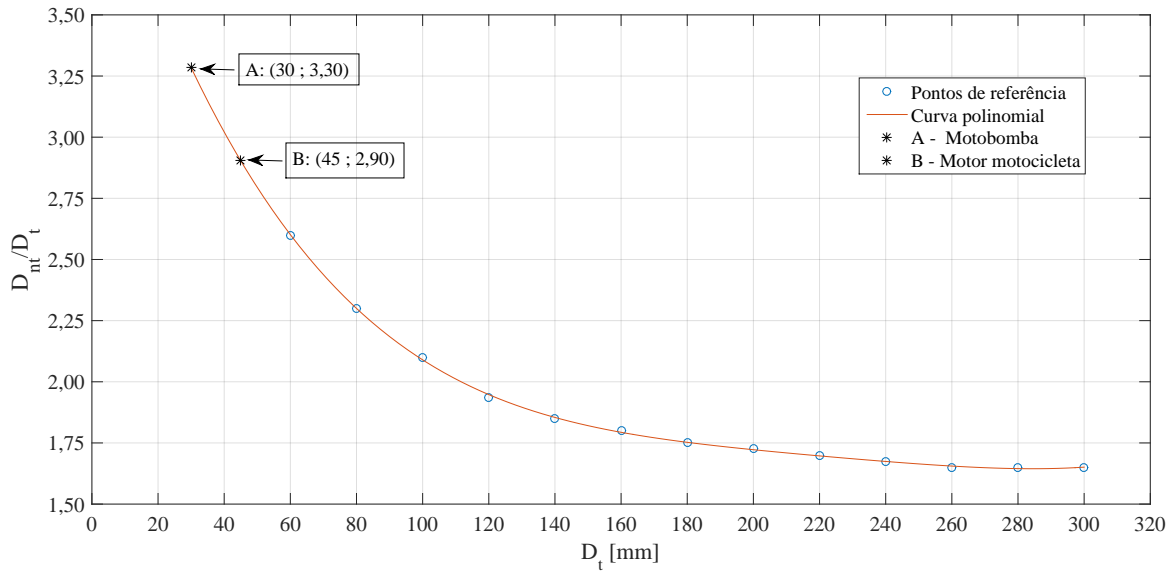


Figura 3.7: Relação entre diâmetro do anel de entrada de ar, D_{nt} , em função do diâmetro da garganta, D_t .

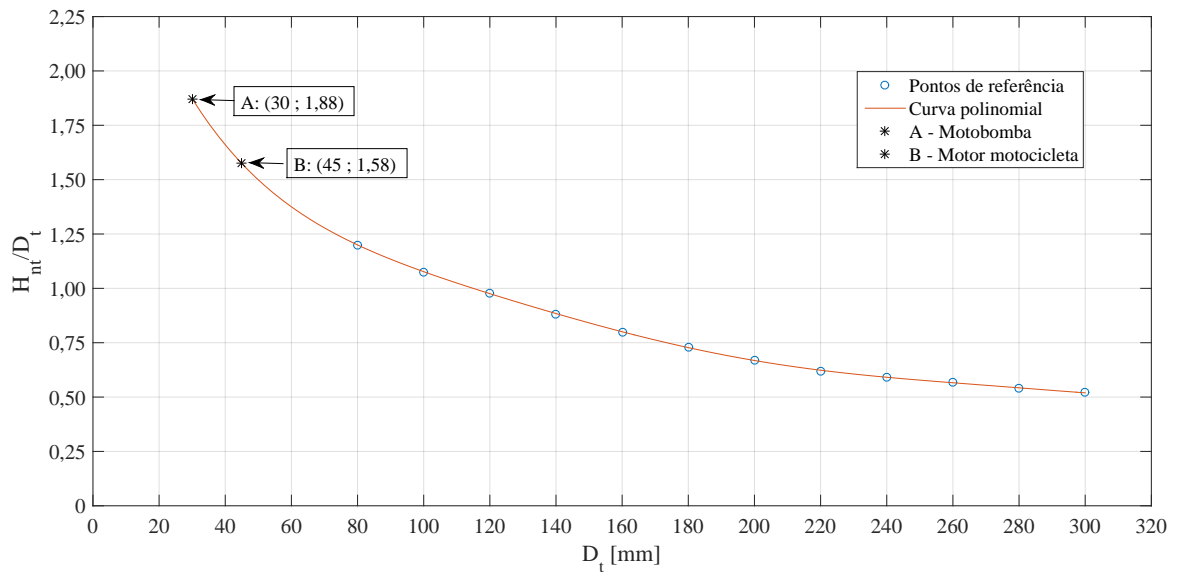


Figura 3.8: Relação da distância entre o anel de entrada de ar e a garganta, H_{nt} , em função do diâmetro da garganta, D_t .

$$V_m = \frac{\dot{m}_m \times t_m}{\rho_m} \quad (3.8)$$

A partir do volume, calculou-se a altura da lateral do reservatório (H_R):

$$H_R = \frac{V_m}{L_R^2} - \frac{h \times (L_R^2 + L_R \times L_r + L_r^2)}{3 \times L_R^2} \quad (3.9)$$

onde L_R , L_r e h são a largura do reservatório, largura da lareira e altura do cone do reservatório respectivamente.

3.3.1.3 GEOMETRIA DO GASEIFICADOR

Realizou-se uma simples avaliação da melhor geometria para fabricar o gaseificador, aplicando a matriz de decisão apresentada na Tab. (3.4). Foram apenas consideradas duas geometrias básicas (de secção redonda e quadrada) e critérios que impactam somente a construção do gaseificador *downdraft*.

Tabela 3.4: Matriz de decisão para escolha da geometria externa do gaseificador.

Critérios	Importância	Geometria	
		Redonda	Quadrada
Estética	1	8	7
Facilidade de Construção	10	6	8
Disponibilidade de peças semi-prontas	8	8	7
Soma (Nota × Importância)		132	143

Para os 3 critérios ponderados na Tab. (3.4) obteve-se maior relevância o desenvolvimento do gaseificador com secção quadrada, com uma pontuação de 143 contra 132. Logo, converteu-se os diâmetros obtidos anteriormente (D) para largura (L) pela Eq. (3.10). Converteu-se a geometria do gaseificador pela relação das áreas por se tratar de zonas de reação química. Apenas a garganta e os orifícios de entrada de ar na lareira que permaneceram com geometria circular.

$$L = \sqrt{\frac{\pi \times D^2}{4}} \quad (3.10)$$

3.3.2 PERMUTADOR

Dimensionou-se dois modelos de permutador para arrefecer o syngas produzido. Um modelo foi projetado para perder calor para a água bombeada da motobomba e o outro para perder calor por convecção natural com o ar ambiente para a configuração com o motor da motocicleta.

3.3.2.1 PERMUTADOR A ÁGUA

Dimensionou-se este permutador para o sistema do gaseificador partindo do princípio da utilização da água bombeada pela motobomba como fluido de arrefecimento. Ou seja,

após ser bombeada, a água deve passar pelo permutador para em seguida deixar o sistema.

Utilizou-se o modelo de carcaça e tubos, onde a água passa pela carcaça exterior e o syngas passa em contracorrente nos tubos. A Fig. (3.9) ilustra as entradas dos fluidos e as principais dimensões do permutador.

Optou-se em escoar o syngas pelos tubos internos e a água pela carcaça exterior como uma medida de segurança. O contrário deixaria a superfície externa do permutador com elevadas temperaturas e possibilitaria queimaduras acidentais.

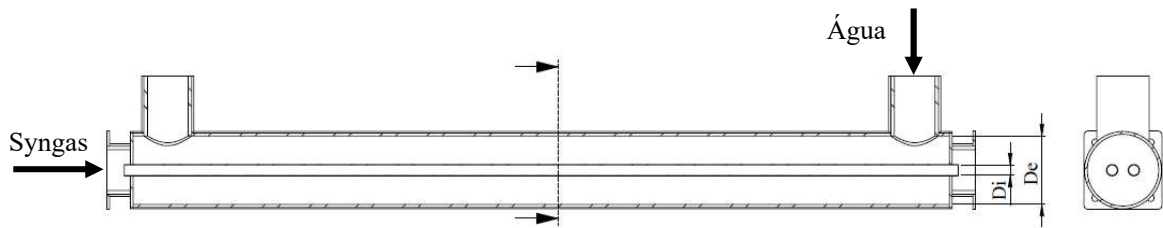


Figura 3.9: Representação do permutador de casco e tubos com os fluxos de entrada do syngas e da água.

A Tab. (3.5) apresenta os parâmetros dos fluidos utilizados no dimensionamento do permutador a água. Considerou-se a temperatura de entrada do syngas no permutador ($T_{e\ syngas}$) sendo a máxima temperatura de saída do syngas do gaseificador. Já a temperatura desejada do syngas na saída do permutador ($T_{s\ syngas}$) foi estimada como sendo a ideal para o abastecimento do motor segundo Sweden (1979). Os diâmetros da carcaça (D_c) e dos tubos internos (D_i) foram obtidos através da iteração dos cálculos apresentados a seguir, variando os dois valores com dimensões de tubos comerciais disponíveis na região de Bragança, isto para obter um permutador de menor comprimento.

Tabela 3.5: Parâmetros utilizados no dimensionamento do permutador a água

Parâmetro	Valor	Unidade
$T_{e\ syngas}$	400	$^{\circ}C$
$T_{s\ syngas}$	40	$^{\circ}C$
$T_{e\ \acute{a}gua}$	15	$^{\circ}C$
$\dot{V}_{\acute{a}gua}$	0,002	m^3/s
D_c	0,088	m
D_i	0,012	m
k_{inox}	18,1	$W/(m \cdot K)$

O dimensionamento do permutador partiu do cálculo da quantidade de calor (\dot{Q}) que deve ser retirado do syngas para atingir a temperatura de $40\ ^{\circ}C$.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{syngas} \times c_{p\ syngas} \times (T_{e\ syngas} - T_{s\ syngas}) \quad (3.11)$$

Os caudais mássico do syngas e da água foram obtidos multiplicando seus respectivos caudais volumétricos por suas massas volúmicas.

Com o valor da troca de calor necessária calculado, obteve-se então a temperatura de saída da água ($T_{s\ água}$).

$$T_{s\ água} = \frac{\dot{Q}}{\dot{m}_{água} \times c_{p\ água}} + T_{e\ água} \quad (3.12)$$

Para permutadores de calor de carcaça e tubos o valor de ΔT_{ml} é calculado considerando o escoamento cruzado e o fator de correção (F) para o presente caso é igual a 1.

$$\Delta T_{ml} = F \times \frac{(T_{e\ syngas} - T_{s\ água}) - (T_{s\ syngas} - T_{e\ água})}{\ln \frac{(T_{e\ syngas} - T_{s\ água})}{(T_{s\ syngas} - T_{e\ água})}} \quad (3.13)$$

Por conter uma secção transversal com dois tubos internos a um tubo de diâmetro maior, aplicou-se o diâmetro hidráulico no cálculo do número de *Reynolds* do escoamento da água na carcaça do permutador .

$$D_h = \frac{4 \times A}{P} = \frac{D_{ext}^2 - 2 \times D_{int}^2}{D_{ext} + 2 \times D_{int}} \quad (3.14)$$

Obteve-se pela Eq. (3.15) o número de *Reynolds*, podendo então classificar os escoamentos como laminar ou turbulento.

$$Re = \frac{4 \times \dot{m}}{\pi \times D \times \mu} \quad (3.15)$$

Os dois escoamentos resultaram turbulentos, com Reynolds superior a 10.000. Com isso, calculou-se o número de *Nusselt* para ambos escoamentos pelas Eq.s (3.16) e (3.17).

$$Nu_{syngas} = 0,023 \times Re_{syngas}^{\frac{4}{5}} \times Pr_{syngas}^{0,3} \quad (3.16)$$

$$Nu_{\acute{a}gua} = 0,023 \times Re_{\acute{a}gua}^{\frac{4}{5}} \times Pr_{\acute{a}gua}^{0,4} \quad (3.17)$$

O cálculo dos coeficientes de transferência de calor por convecção de ambos os fluidos foi pela Eq. (3.18), onde em k utiliza-se a condutividade térmica dos fluidos.

$$h = \frac{Nu \times \kappa}{D} \quad (3.18)$$

Para o escoamento externo, utilizou-se novamente o diâmetro hidráulico.

Com os coeficientes de transferência de calor por convecção calculados, calculou-se o coeficiente global de transferência de calor do permutador (U), onde r_1 e r_2 são os raios interno e externo respectivamente do tubo onde passa o syngas.

$$U = \frac{1}{\frac{1}{2 \times \pi \times r_1 \times h_{syngas}} + \frac{\ln(\frac{r_2}{r_1})}{2 \times \pi \times k_{inox}} + \frac{1}{2 \times \pi \times r_2 \times h_{\acute{a}gua}}} \quad (3.19)$$

O fluxo de calor do permutador por unidade de comprimento foi calculado pela Eq. (3.21), onde N é o número de tubos internos do permutador.

$$\dot{q} = N \times U \times \Delta T_{ml} \quad (3.20)$$

Com a quantidade de calor (\dot{Q}) necessária para arrefecer o gás de 400 a 40 °C, e o fluxo de calor na superfície dos tubos internos do permutador (\dot{q}), obteve-se então o comprimento necessário do permutador de calor (L_P) pela seguinte equação:

$$L_P = \frac{\dot{Q}}{\dot{q}} \quad (3.21)$$

3.3.2.2 PERMUTADOR A AR

Desenvolveu-se um permutador por convecção natural com o ar ambiente para ser utilizado no sistema do gaseificador que abastece o motor da motocicleta CG-125 Titan. Para isto, dimensionou-se o modelo de tubo externamente alhetado, onde o syngas percorre no seu interior perdendo calor através das paredes do tubo e das alhetas para o ar ambiente.

A escolha deste modelo deu-se por sua fácil construção e sua baixa perda de

pressão do fluido, se comparado a outros modelos de permutadores de convecção natural.

A Fig. (3.10) ilustra os principais parâmetros utilizados no dimensionamento de um permutador de tubo alhetado.

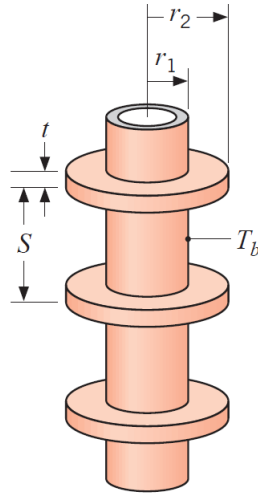


Figura 3.10: Representação das principais dimensões do permutador de tubo alhetado, arrefecido por convecção natural com o ar ambiente

Fonte: Adaptado de Bergman et al. (2011).

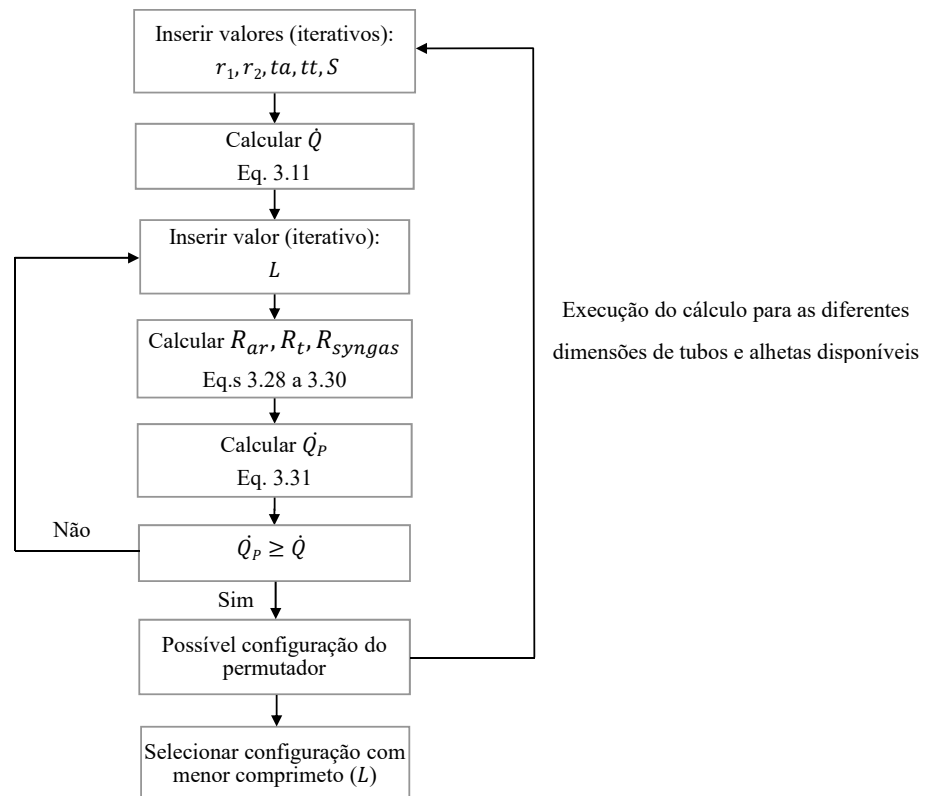
As propriedades de entrada do syngas são as mesmas do modelo dimensionado anteriormente, buscando arrefecer o syngas até a temperatura de $40\text{ }^{\circ}\text{C}$. O único fator diferente consiste no caudal mássico (\dot{m}_{syngas}) dado que este motor consome maior quantidade de combustível que o motor da motobomba, sendo necessário com que o gaseificador produza mais syngas.

A Tab. (3.6) apresenta os parâmetros utilizados no dimensionamento do permutador de tubo alhetado, onde T_{∞} é a temperatura do ar ambiente. A condutividade térmica do aço ($k_{\text{aço}}$) foi obtida em uma tabela de propriedades termofísicas de materiais (BERGMAN et al., 2011).

O raio do tubo (r_1) e o raio da alheta (r_2) foram determinados interativamente através da alteração destes dois parâmetros no dimensionamento do permutador. Seus valores, juntamente com a espessura da alheta (t_a), e a distância entre elas (S) e a espessura do tubo (t_t), foram alterados conforme os tamanhos de tubos e chapas disponíveis no mercado na região de Bragança e com dimensões que facilitem a construção do permutador. A Fig. (3.11) apresenta um fluxograma do método utilizado para o dimensionamento do permutador de tubo alhetado.

Tabela 3.6: Parâmetros utilizados no dimensionamento do permutador de tubo aletado.

Parâmetro	Valor	Unidade
T_{∞}	25	$^{\circ}C$
r_1	6,6	mm
r_2	50	mm
t_a	1,2	mm
t_t	0,6	mm
S	16,2	mm
$k_{aço}$	53,75	$W/(m \cdot K)$

**Figura 3.11:** Fluxograma do método utilizado para o dimensionamento do permutador de tubo aletado.

Calculou-se a quantidade de calor a ser retirado do syngas no permutador (\dot{Q}) utilizando a Eq. (3.11) com o caudal mássico de syngas (\dot{m}_{syngas}) necessário para abastecer o motor da motocicleta. Considerou-se a temperatura de entrada do syngas no permutador de $400^{\circ}C$, que é a temperatura máxima do syngas na saída do gaseificador e a temperatura desejada de saída do syngas de $40^{\circ}C$.

Estimou-se o coeficiente de convecção com o ar (h_{ar}) em $8 W/(m^2 \cdot K)$ (estimativa conservadora). Utilizou-se este valor como precaução a possíveis imperfeições na fabricação como o contacto entre as aletas e o tubo, que deve ser o maior possível para

augmentar a eficiência na troca de calor no permutador.

Calculou-se o número de *Reynolds* para o escoamento do syngas dentro do tubo com a Eq. (3.15) obtendo um valor maior que 10.000, classificando-o como turbulento. Posteriormente, calculou-se o número de *Nusselt* com a Eq. (3.16) para em seguida obter o coeficiente de convecção do syngas (h_{syngas}) através da Eq. (3.18).

Para o cálculo das propriedades da superfície externa do permutador foi necessário estimar seu comprimento para obter a quantidade de alhetas utilizadas. Ou seja, deu-se inicialmente um comprimento ao permutador e ao fim dos cálculos verificou-se se sua potência térmica era suficiente para arrefecer o syngas até a temperatura de 40 °C.

Para obter a eficiência global da superfície aletada (η_g) inicialmente calculou-se a área da alheta (A_a), o número de alhetas no permutador (N), a área da base do tubo (A_b), a área total externa de troca de calor (A_t) e o comprimento equivalente da alheta (L_c) pelas Equações (3.22) a (3.26). Estes cálculos foram feitos considerando a hipótese de que é equivalente a transferência de calor numa alheta de extremidade fina ($L \gg t$) a uma mesma alheta pouco mais comprida com extremidades adiabática (BERGMAN et al., 2011).

$$A_a = 2 \times (\pi \times r_2^2 - \pi \times r_1^2) \quad (3.22)$$

$$N = \frac{L - (S - t)}{S} \quad (3.23)$$

$$A_b = [2 \times \pi \times r_2 \times (S - t)] \times (N + 1) \quad (3.24)$$

$$A_t = N \times A_a + A_b \quad (3.25)$$

$$L_c = (r_2 - r_1) + \frac{t}{2} \quad (3.26)$$

Posteriormente calculou-se a eficiência da alheta (η_a) através da Fig. (3.12) com as curvas r_2/r_1 . Para isto necessitou-se calcular os coeficiente r_{2c} e A_p , cujas fórmulas estão ilustradas na Fig. (3.12). Para obter o valor da ordenada do gráfico utilizou-se o coeficiente de transferência de calor por convecção do ar (h_{ar}) e a condutividade térmica do material da aleta ($k_{aço}$).

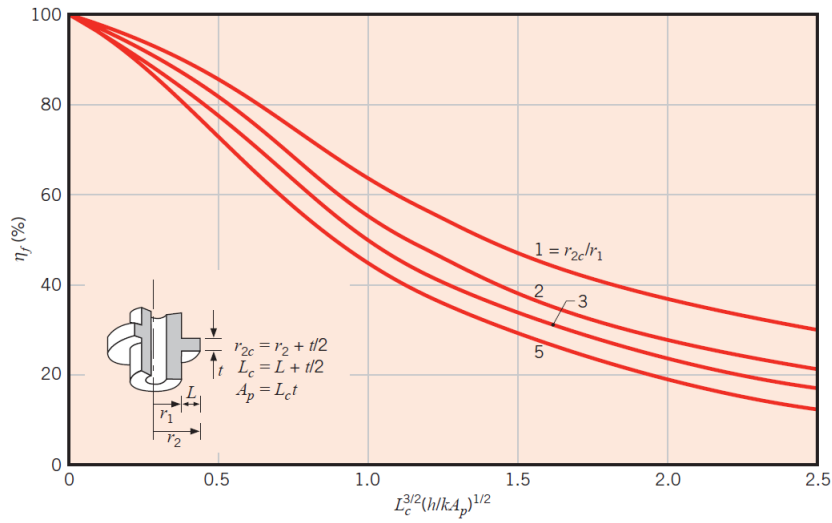


Figura 3.12: Eficiência de aletas anulares de perfil retangular (BERGMAN et al., 2011).

A partir das áreas de troca de calor e a eficiência da aleta, determinou-se a eficiência global da superfície aletada (η_g) através da Eq. (3.27).

$$\eta_g = 1 - \left[\frac{N \times A_a}{N \times A_a + A_b} \right] \times (1 - \eta_a) \quad (3.27)$$

Com a eficiência global da superfície aletada já calculada, obteve-se então as resistências térmicas do permutador que são: resistência convectiva do syngas com a parede interna do tubo (R_{syngas}), resistência condutiva do tubo (R_t) e resistência convectiva do ar com a superfície aletada (R_{ar}).

$$R_{syngas} = \frac{1}{h_{syngas} \times 2 \times \pi \times r_1 \times L} \quad (3.28)$$

$$R_t = \frac{\ln \frac{r_1}{r_1 - t_t}}{2 \times \pi \times L \times k_{aço}} \quad (3.29)$$

$$R_{ar} = \frac{1}{\eta_g \times h_{ar} \times A_t} \quad (3.30)$$

A partir das resistências térmicas, calculou-se a potência térmica do permutador (\dot{Q}_P) através da Eq. (3.31), onde T_m é a temperatura média do syngas no permutador.

$$\dot{Q}_P = \frac{T_m - T_\infty}{R_{syngas} + R_t + R_{ar}} \quad (3.31)$$

O valor da potência térmica do permutador (\dot{Q}_P) deve ser maior ou igual que o valor do calor necessário para reduzir a temperatura do syngas (\dot{Q}) obtido pela Eq. (3.11). No presente trabalho foram realizadas iterações dos cálculos indicados na Fig. (3.11) para diferentes dimensões de tubo, quantidade de alhetas, tamanho da alheta e geometria do permutador, buscando dimensionar um permutador que seja compacto e de fácil construção.

Após obter o comprimento necessário do tubo alhetado do permutador, definiu-se sua geometria para que ocupasse o mesmo comprimento que o permutador a água. Isto para facilitar a troca dos permutadores no sistema, caso seja necessário. Escolheu-se então a geometria de serpentina como ilustrado na Fig. (3.13).

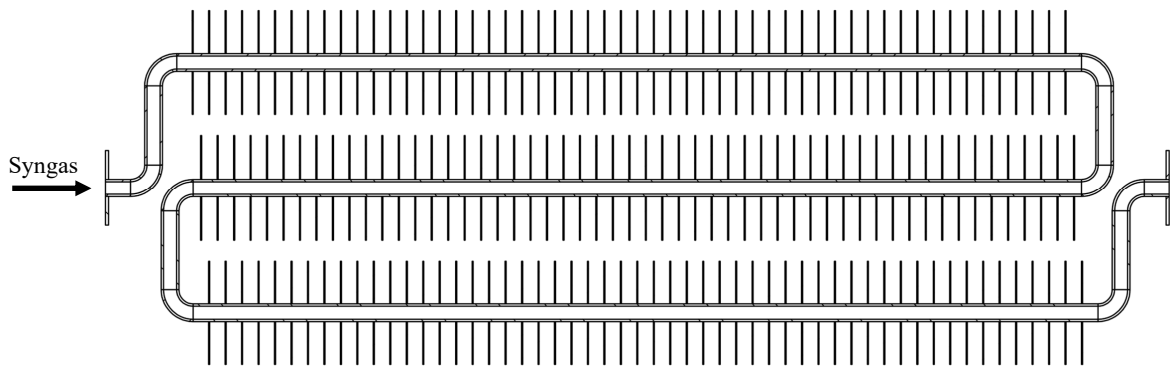


Figura 3.13: Esquema do permutador de tubo alhetado em serpentina com o fluxo de entrada do syngas.

3.3.3 FILTRO

A escolha do modelo de filtro a ser utilizado no sistema teve como prioridade o aproveitamento da serragem de madeira. Sendo um sistema de fácil construção e contendo materiais de fácil acesso.

A Fig. (3.14) ilustra como circula o gás no filtro e como é a geometria do sistema de filtragem e onde se deposita a serragem de madeira.

As propriedades da serragem utilizadas para o cálculo da perda de carga no filtro estão na Tab. (3.7). Calculou-se as propriedades do gás apresentadas na tabela para temperatura de 40 °C, que é a temperatura estimada do syngas na saída do permutador.

Calculou-se o diâmetro equivalente da serragem (D_{eq}) pela Eq. (3.32), onde V_s é o volume médio das partículas de serragem.

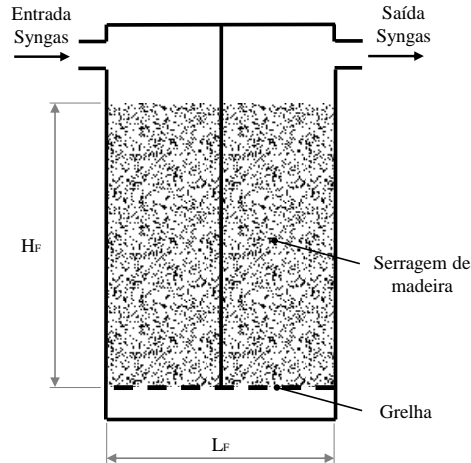


Figura 3.14: Esquema do filtro de serragem de madeira com os fluxos de entrada e saída do syngas.

Tabela 3.7: Propriedade da serragem de madeira e dimensões do filtro

Parâmetro	Valor	Unidade
V_s	100,00	mm^3
A_s	240,00	mm^2
ρ_{syngas}	0,96	kg/m^3
$\mu_{syngas} \times 10^7$	162,47	$(N \cdot s)/m^2$
L_F	500,00	mm
H_F	700,00	mm

$$D_{eq} = \sqrt[3]{V_s \times \frac{6}{\pi}} \quad (3.32)$$

Calculou-se a esfericidade da serragem (ϕ_s) pela Eq. (3.33), sendo A_s a área superficial média das partículas de serragem.

$$\phi_s = \frac{\pi \times D_{eq}^2}{A_s} \quad (3.33)$$

Em seguida calculou-se o diâmetro da partícula (D_s).

$$D_s = \sqrt{\frac{D_{eq}^2}{\phi_s}} \quad (3.34)$$

Por possuir uma partição interna no filtro, a velocidade do fluido pode ser calculada pela Eq. (3.35), sendo A_F a área da secção transversal do filtro.

$$v_{syngas} = \frac{\dot{V}_{syngas}}{\frac{A_F}{2}} \quad (3.35)$$

Calculou-se a perda de carga pela Eq. de *Ergun* (3.36), onde cotou-se a porosidade da serragem (ε_s) em 0,65 (TRAHAN et al., 2013).

$$\Delta P_F = H_F \times \left[150 \times \frac{(1 - \varepsilon_s)}{\varepsilon_s^3} \times \frac{(\mu_{syngas} \times v_{syngas})}{(\phi_s \times D_s)^2} + 1,75 \times \frac{(1 - \varepsilon_s)}{\varepsilon_s^3} \times \frac{\rho_{syngas} \times v_{syngas}}{\phi_s \times D_s} \right] \quad (3.36)$$

3.4 ANGARIAÇÃO DE FUNDOS

Realizou-se do dia 3 de julho ao dia 30 de agosto de 2019 uma campanha de financiamento coletivo (*Crowdfunding*). A campanha teve o título "Construção de um sistema de bombeamento d'água abastecido a biomassa".

Objetivou-se com esta campanha angariar fundos para a construção do primeiro protótipo funcional demonstrativo do sistema de bombeamento d'água apresentado neste trabalho, complementando uma ajuda financeira realizada pelo INEGI (Instituto de Ciência e Inovação em Engenharia Mecânica e Engenharia Industrial) doada para a construção do gaseificador.

Fez-se toda a campanha através da plataforma online PPL - (people, pessoas) com Portugal, da empresa Orange Bird. O site da campanha é: www.ppl.pt/biomassa.

O site encontra-se ativo com a campanha finalizada, mas contém ainda as informações como: os promotores, vídeo, atualizações, comentários, comunidade, fotografias do projeto, etc.

A Tab. (3.8) contém o orçamento dos itens que restavam serem comprados para a construção do primeiro protótipo do sistema de bombeamento d'água, que buscou-se angariar através do *Crowdfunding*. Os valores foram orçamentados na região de Bragança e não está incluído o custo dos materiais para a construção do gaseificador, pois o INEGI já havia doado a quantia de 228,00 € para esta finalidade.

O valor a ser angariado totalizou 1.200,00 €, sendo que a plataforma utilizada aplica a política do "tudo ou nada", ou seja, ao término da campanha, caso não atinja o orçamento estipulado, é devolvido todas as doações para seus respectivos doadores, não impedindo ultrapassar em doações o valor estimado com o *Crowdfunding*.

Tabela 3.8: Orçamento dos itens restantes a serem comprados para a construção do primeiro protótipo do sistema de bombeamento d'água abastecido a biomassa.

Item	Orçamento [€]
Permutador de calor	152,50
Carrinho de transporte	238,00
Acessórios	190,80
Pintura	78,00
Motobomba	430,00
Comissão PPL e taxas de pagamento	110,70
Orçamento total	1.200,00

Divulgou-se a campanha através de publicações em algumas redes sociais e apresentações presenciais para empresas, cooperativas, instituições e pessoas da região de Bragança e dos estados de Minas Gerais e Paraná no Brasil. Fez-se também a divulgação da campanha para os docentes e discentes do IPB, através do email institucional.

Como modo de agradecimento e divulgação futura do projeto, ofereceu-se as recompensas presentes na Tab. (3.9) para os diferentes valores de doações, sendo inclusas as recompensas de menor valor nas de maior valor.

Tabela 3.9: Recompensas oferecidas aos doadores na campanha de *Crowdfunding*.

Valor da Doação [€]	Recompensa
até 5	Fotografias da construção
até 20	Notícias sobre cada etapa do projeto
até 50	Desenho Técnico de cada componente
até 100	Formação presencial ou por vídeo conferência

3.5 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Construiu-se um protótipo funcional demonstrativo do sistema do gaseificador dimensionado anteriormente, para abastecer com syngas o motor da motocicleta CG-125 Titan e a motobomba Campeon MRX-50.

Os materiais utilizados na construção foram adquiridos na região de Bragança através do valor angariado com a campanha de *Crowdfunding* e a doação feita pelo INEGI.

A construção do protótipo do gaseificador foi feita no Laboratório de Tecnologia Mecânica (LTM) do IPB, onde se utilizou: máquina de solda MIG 453 modular, Fig. 3.15 (a); furadora de bancada EFI Portugal modelo FJR Nº 2, Fig. 3.15 (b); serrote de fita Optimum modelo S181, Fig. 3.15 (c); quinadora manual de largura de corte de 1 m da marca Memel, Fig. 3.15 (d); guilhotina Guifil modelo mini 320, Fig. 3.15 (e).

Todas as soldas necessárias na construção do protótipo foram feitas com a máquina de solda MIG. As chapas foram respectivamente cortadas, dobradas e furadas pela guilhotina, quinadora e furadora de bancada. Já os tubos foram cortados com um serrote de fita. Utilizou-se também uma rebarbadora para tratamento das superfícies cortantes resultantes dos cortes dos materiais.



(a)



(b)



(c)



(d)



(e)

Figura 3.15: Máquinas utilizadas na construção do protótipo: a) Máquina de solda Mig, b) Furadora de bancada, c) Serrote de fita, d) Quinadora, e) Guilhotina.

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 DIMENSIONAMENTO E DESENHOS

Propôs-se neste trabalho dois sistemas de gaseificador para produzir syngas para os dois modelos de motor de combustão interna a 4 tempos (motobomba Campeon MRX-50 e motor da motocicleta CG-125 Titan). Como explicado na secção (2.5), é a capacidade de sucção de combustível do motor que dita o caudal de syngas produzido no gaseificador, logo é possível utilizar o gaseificador de maior potência em um motor de menor potência. Com isto, para a construção do protótipo utilizou-se das dimensões calculadas para o motor da motocicleta (de maior potência) que será também capaz de abastecer o motor da motobomba.

Ambos os sistemas são compostos por um gaseificador *downdraft*, um permutador e um filtro. Para o motor da motobomba é então proposto um sistema com um permutador de construção mais fácil, que utiliza a água bombeada pela bomba d'água e para o motor da motocicleta é proposto um outro sistema composto por um permutador que irá arrefecer o syngas por convecção natural com o ar através de um tubo alhetado. Ambos os sistemas propostos estão ilustrados nas Fig. (4.1) (4.2)

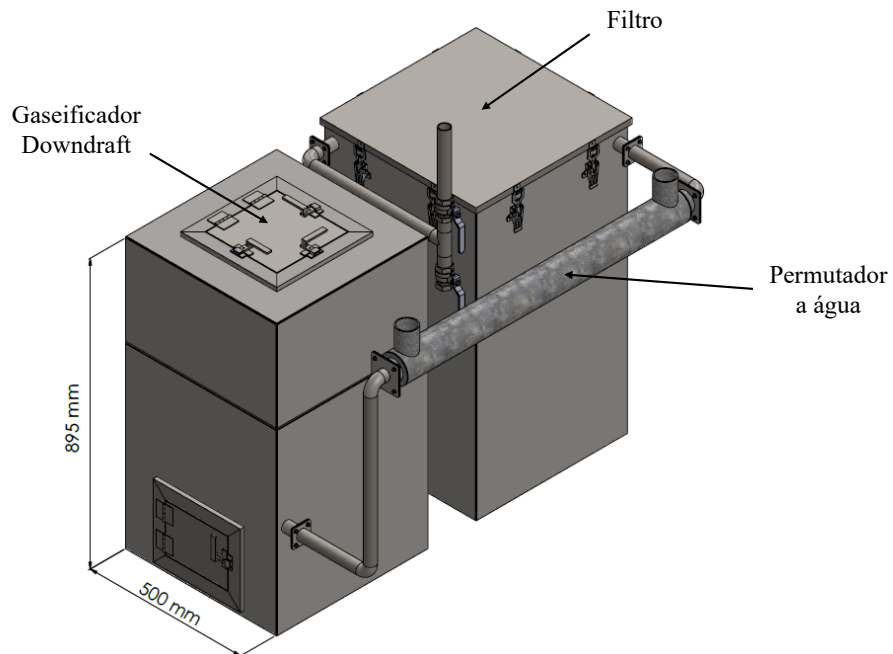


Figura 4.1: Desenho 3D do sistema de gaseificação proposto para abastecer o motor da moto-bomba Campeon MRX-50.

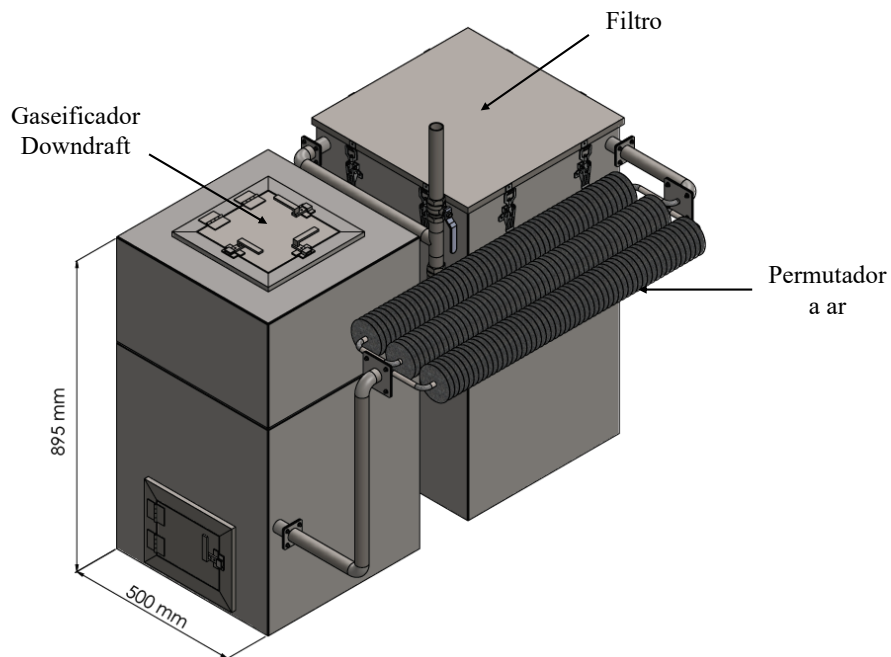


Figura 4.2: Desenho 3D do sistema de gaseificação proposto para abastecer o motor da moto-cicleta CG-125 Titan.

4.1.1 GASEIFICADOR

Os parâmetros calculados para o dimensionamento da lareira do gaseificador estão na Tab. (4.1). Foram estipulados 8 orifícios para entrada de ar na zona de combustão do gaseificador para que ocorra a combustão parcial da madeira em toda a secção transversal.

Na parte inferior da lareira é fundamental a utilização de uma grelha, para que deixe passar apenas cinzas e o syngas para a base do gaseificador.

Tabela 4.1: Resultados do dimensionamento da lareira do gaseificador para o motor da motobomba e da motocicleta.

Parâmetro	Unidade	Motor da Motobomba	Motor da Motocicleta
$\dot{V}_{ar/syngas}$	m^3/s	$3,18 \times 10^{-3}$	9,31
\dot{V}_{syngas}	m^3/s	$1,36 \times 10^{-3}$	$3,99 \times 10^{-3}$
A_t	mm^2	544	1.596
D_t	mm	30,0	45,0
$D_n (\times 8)$	mm	3,0	4,5
L_r	mm	131,0	170,0
L_R	mm	400,0	500,0
L_{nt}	mm	88,0	116,0
H_{nt}	mm	57,0	72,0
H_r	mm	190,0	183,0
α	°	50,0	50,0

Dimensionou-se o reservatório do gaseificador para alimentar a lareira durante quatro horas, sendo suas medidas apresentadas na Tab. (4.2). O reservatório deve estar fechado durante o funcionamento do gaseificador para impedir a saída dos gases e a entrada de ar pelas tampas.

Tabela 4.2: Resultados das dimensões do reservatório do gaseificador para os motores da motobomba e da motocicleta

Parâmetro	Unidade	Motor da Motobomba	Motor da Motocicleta
P_g	kW	6,5	19,2
\dot{m}_m	kg/s	$5,5 \times 10^{-4}$	$1,6 \times 10^{-3}$
V_m	m^3	0,03	0,09
L_R	mm	400,0	500,0
H_R	mm	145,0	300,0

A Fig.(4.3) ilustra o corte de um desenho 3D do gaseificador feito com as dimensões obtidas anteriormente para abastecer o motor da motocicleta CG-125 Titan. A figura também apresenta o sistema de vedação utilizado na tampa superior do gaseificador. A vedação na tampa consiste de um vedante térmico de silicone com perfil em

”e”, três fechos de pressão e duas dobradiças. O mesmo sistema é utilizado na porta de limpeza localizada na frente do gaseificador (ver Fig. (4.1)), também utilizando o mesmo modelo de vedante térmico de silicone, duas dobradiças, mas apenas um fecho de pressão, por possuir menores dimensões.

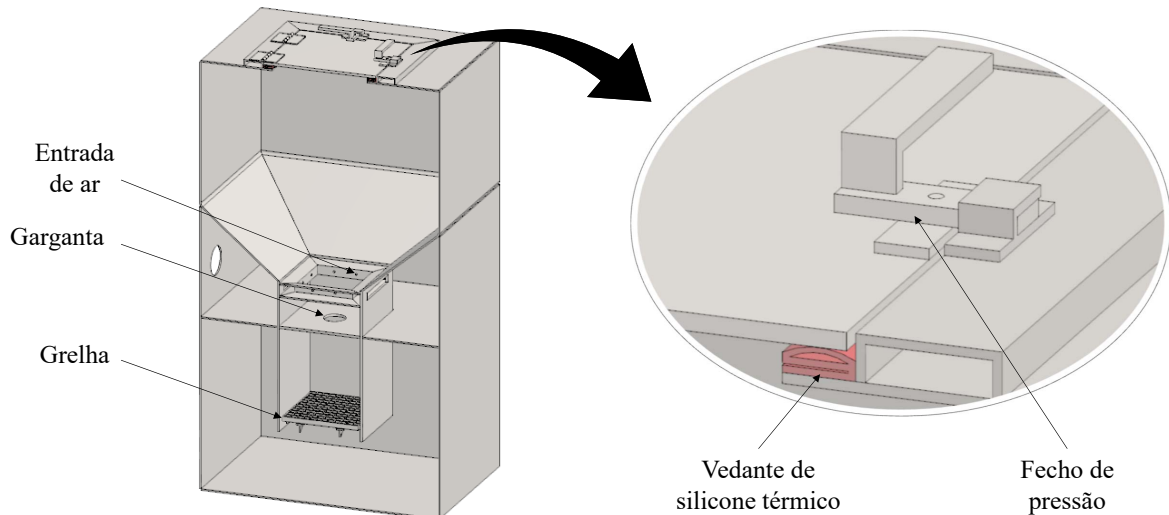


Figura 4.3: Desenho em corte do gaseificador com as dimensões calculadas para o motor da motocicleta CG-125 Titan com zoom no sistema de vedação utilizado.

4.1.2 PERMUTADOR

Dimensionou-se dois permutadores diferentes, sendo um para ser utilizado no sistema que irá abastecer a motobomba (permutador a água) e outro para o motor da motocicleta (permutador a ar).

Permutador a água

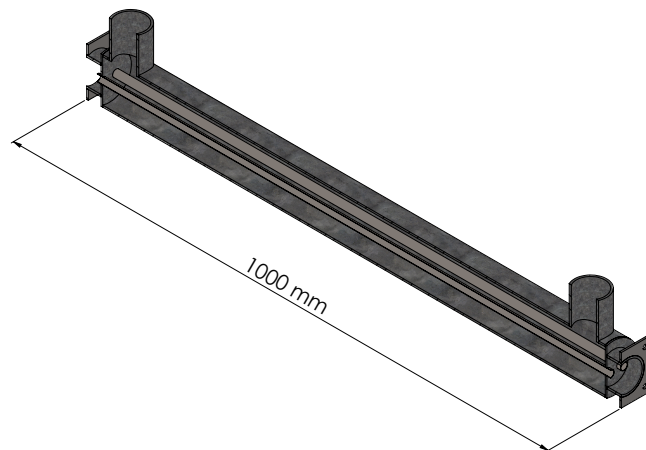
Dimensionou-se o permutador a água para que o gás produzido no gaseificador perca calor para a água bombeada pela motobomba. Escolheu-se o modelo de carcaça e tubos por ser de fácil construção e possível de ser construído com materiais comuns no mercado. Determinou-se 2 tubos internos para que o escoamento do syngas em seu interior estivesse em regime turbulento, aumentando assim a eficiência de transferência de calor para as paredes dos tubos (para mais tubos da mesma dimensão, o escoamento do syngas tende a ser laminar).

Considerou-se no dimensionamento que o casco não troca calor com o ar ambiente. O comprimento da região de troca de calor (L_p) e as propriedades do permutador encontram-se na Tab. (4.1).

Tabela 4.3: Propriedades do permutador a água dimensionado.

Parâmetro	Valor	Unidade
$h_{\text{água}}$	1.981,0	$W/(m^2 \cdot K)$
h_{syngas}	32,9	$W/m^2 \cdot K$
U	1,2	$W/(m \cdot K)$
\dot{Q}	410,3	W
\dot{q}	438,9	W/m
L_P	0,94	m

A Fig. (4.4) ilustra em corte o permutador dimensionado para arrefecer o syngas utilizando a água bombeada pela motobomba Campeon MRX-50. O permutador é do modelo carcaça e tubos, com 2 tubos internos.

**Figura 4.4:** Desenho 3D em corte do permutador a água.

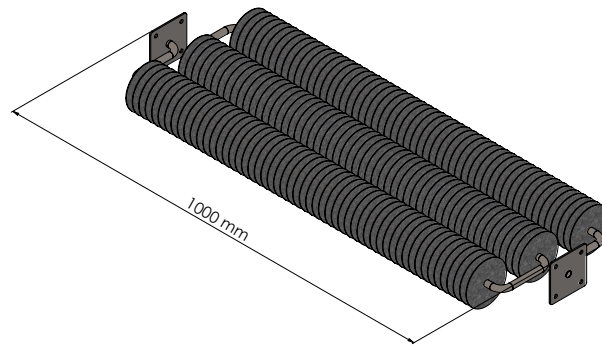
Permutador a ar

Para o sistema que irá abastecer o motor da motocicleta (Fig. (4.2)) dimensionou-se um permutador que arrefeça o syngas por convecção natural com a ar através de um permutador de tubo alhetado. Escolheu-se este modelo por apresentar pouca perda de pressão do syngas em seu interior, facilitando o processo de sucção do syngas pelo motor. Seu formato em serpentina foi proposto para deixar a unidade mais compacta e facilitar a montagem do sistema. O comprimento do permutador a ar (L_P) e suas propriedades estão na Tab. (4.4).

A Fig. (4.5) ilustra o permutador dimensionado para arrefecer o syngas por convecção natural através de um tubo alhetado. Utilizou-se este modelo no sistema que irá abastecer o motor da motocicleta CG-125 Titan.

Tabela 4.4: Propriedades do permutador a ar dimensionado.

Parâmetro	Valor	Unidade
L_P	2,6	<i>m</i>
N_a	160	<i>alhetas</i>
n_a	70	%
n_g	71,2	%
R_{syngas}	0,075	<i>K/W</i>
R_t	$1,08 \times 10^{-4}$	<i>K/W</i>
R_{ar}	0,068	<i>K/W</i>
\dot{Q}_P	1.358,0	<i>W</i>

**Figura 4.5:** Desenho 3D em corte do permutador a ar.

4.1.3 FILTRO

O filtro proposto em ambos os sistemas são iguais e baseou-se o seu dimensionamento nas dimensões externas do gaseificador, sendo de dimensões semelhantes. Apresentou-se apenas a perda de carga para o modelo sugerido. O estudo mais aprofundado desta unidade pode agregar muito a qualidade final do syngas.

Sua geometria é simples, sendo basicamente uma caixa com uma divisória ao meio, preenchida com serragem de madeira até próximo aos tubos de entrada e saída do syngas. No fundo do filtro contem duas grades com a finalidade de homogeneizar a passagem do syngas através da serragem, evitando a formação de caminhos no meio filtrante que podem diminuir a eficiência de filtragem. Para não haver a passagem da serragem para baixo das grades, cola-se logo acima de ambas um tecido de juta, permitindo apenas a passagem do syngas.

Propôs-se um sistema de vedação no filtro similar ao do gaseificador, onde se utiliza um vedante de silicone térmico de perfil em "v" e fechos de pressão nas laterais da tampa. A Fig. (4.6) apresenta um desenho em corte 3D do filtro e também o sistema de vedação.

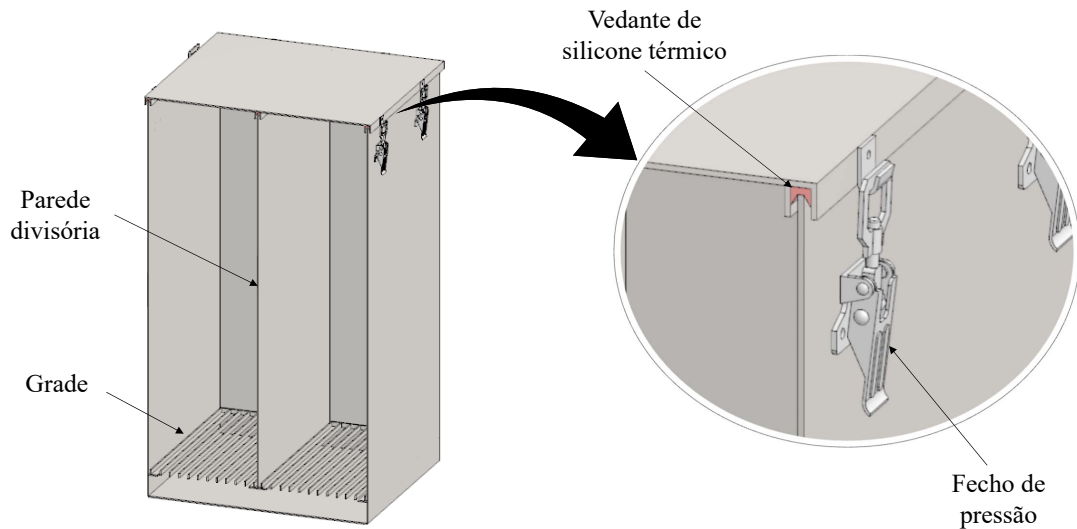


Figura 4.6: Desenho em corte do filtro com zoom no sistema de vedação proposto.

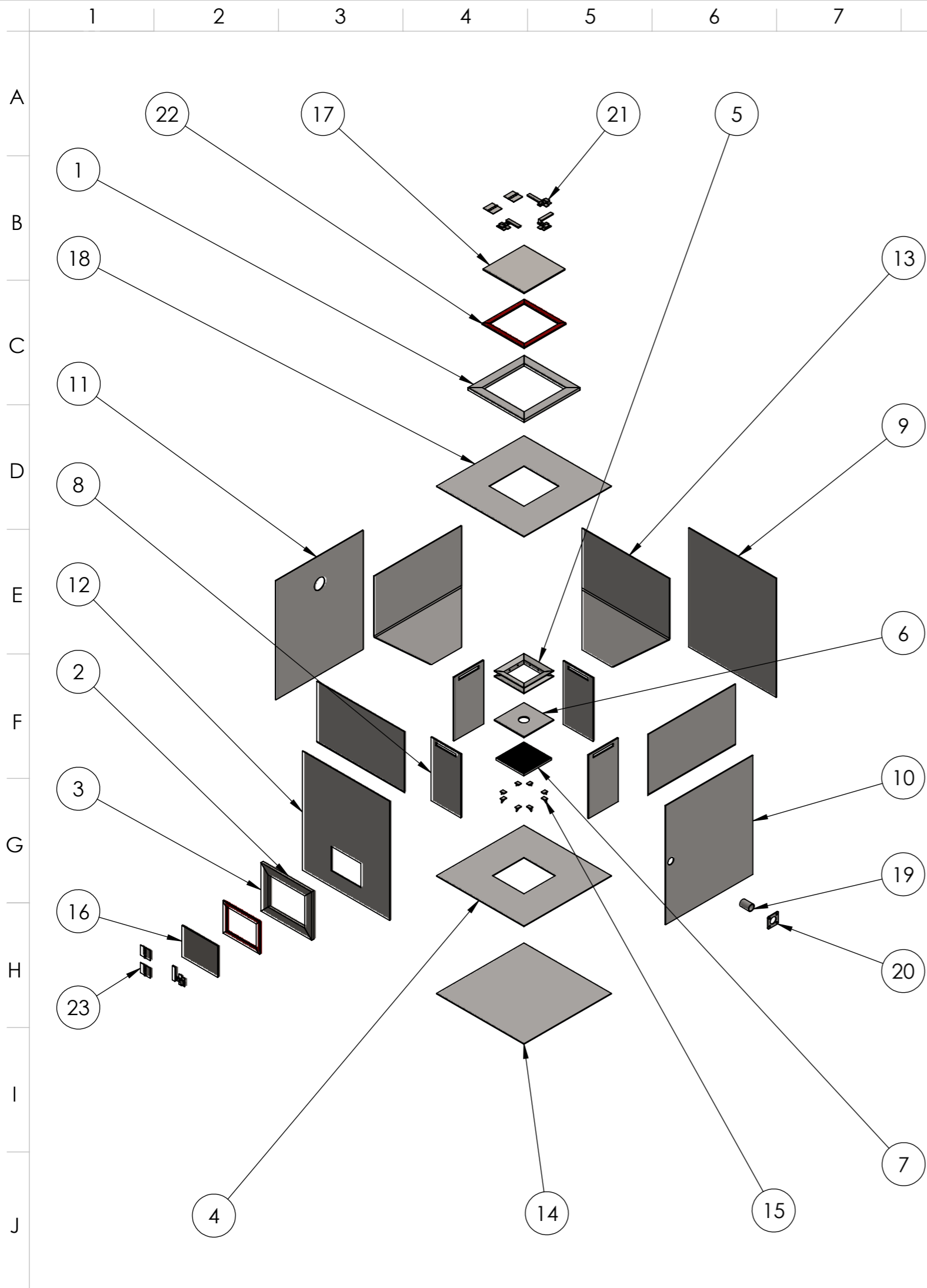
Para o modelo de filtro sugerido, com um leito de serragem com dimensões iguais a 500 mm de largura e 700 mm de altura, a perda de carga do gás no filtro será de $2,9\text{ Pa}$ no sistema que abastecerá o motor da motocicleta e $0,6\text{ Pa}$ no sistema que irá abastecer a motobomba. A diferença na perda de carga entre os dois sistemas deve-se a diferença no caudal consumido por cada modelo de motor.

Percebe-se que a perda de carga é reduzida em ambos os casos, o que facilita a sucção do syngas pelos motores.

4.1.4 DESENHO DAS PEÇAS

A partir das dimensões calculadas anteriormente, fez-se então a montagem de ambos os sistemas no software SolidWorks, Fig. (4.1) e (4.2), para ser utilizado como base de medidas na construção do primeiro protótipo funcional demonstrativo.

A seguir são apresentados as vistas explodidas das 4 unidades projetadas neste trabalho e 43 desenhos técnicos das principais peças que compõem cada unidade do sistema. Em cada desenho contém o material indicado para a construção e a quantidade necessária de cada peça. As primeiras 21 folhas são desenhos referentes ao gaseificador, as 14 seguintes são referentes aos permutadores, sendo as 7 primeiras do permutador a água e as outras 7 do permutador a ar, e as últimas 12 folhas de desenho são referentes ao filtro.



Nº DO ITEM	Descrição	Material para fabricação	QTD.
1	Borda da tampa superior	AISI 1020 - perf. retangular 40 x 30 mm	4
2	Borda superior/inferior da tampa lateral	AISI 1020 - perf. retangular 40 x 30 mm	2
3	Borda lateral da tampa lateral	AISI 1020 - perf. retangular 40 x 30 mm	2
4	Divisória ar/syngas	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
5	Entrada de ar na lareira	AISI 1020 - perfil 60 x 20 mm	4
6	Garganta	AISI 1020 - chapa 5 mm	1
7	Grelha	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
8	Lateral da lareira	AISI 1020 - chapa 5 mm	4
9	Lateral inferior do gaseificador (1 de 4)	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
10	Lateral inferior do gaseificador (2 de 4)	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
11	Lateral inferior do gaseificador (3 de 4)	AISI 1020 - chapa 3mm	1
12	Lateral inferior do gaseificador (4 de 4)	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
13	Lateral do reservatório	AISI 1020 - chapa 3 mm	4
14	Piso do gaseificador	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
15	Suporte da grelha	AISI 1020 - chapa 3 mm	8
16	Tampa lateral	AISI 1020 - 5 mm	1
17	Tampa Superior	AISI 1020 - chapa 5 mm	1
18	Teto do gaseificador	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
19	Tubo de saída de syngas	AISI 1020 - tubo 1"	1
20	Flange	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
21	Fecho de pressão	NA	4
22	Silicone térmico de vedação	Silicone térmico 20 x 17 x 1700 mm	4
23	Dobradiça	AISI 1020	4

Descrição: Vista explodida do gaseificador

Material: NA

Quantidade: 1 Escala: 1:16

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos Toleranciamento geral: NA

Data de desenho: 30/10/2019 Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro

Tamanho da folha: **A3** Peso (Kg): 82,7 Folha: 1/1

INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

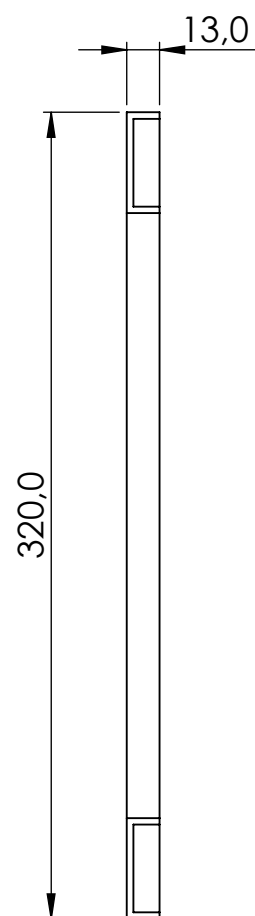
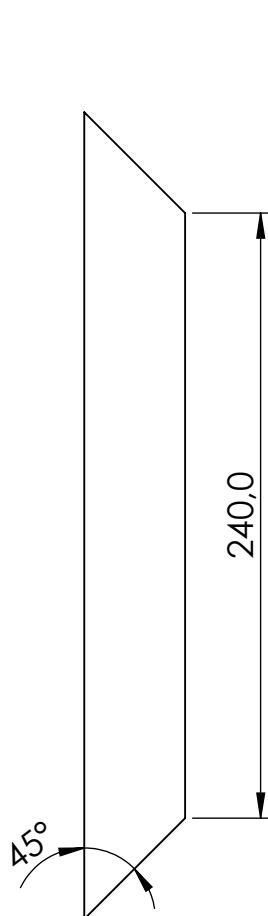
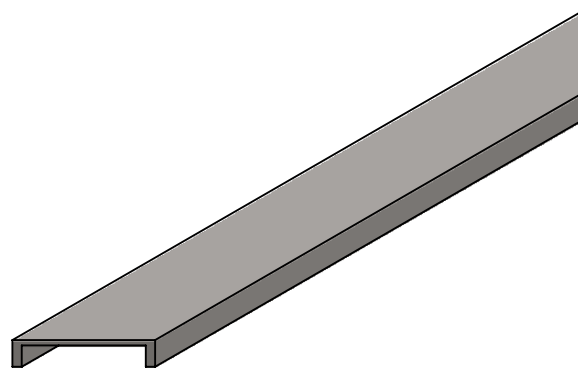
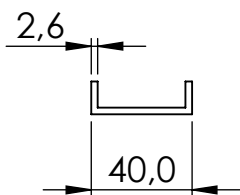
E

F

G

H

I



Descrição:

Borda da tampa superior

Material: AISI 1020 - perf. retangular 40 x 30 mm

Quantidade: 4x

Escala: 1:3

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

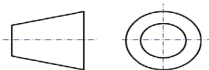
28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,3

Folha:

1/20



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

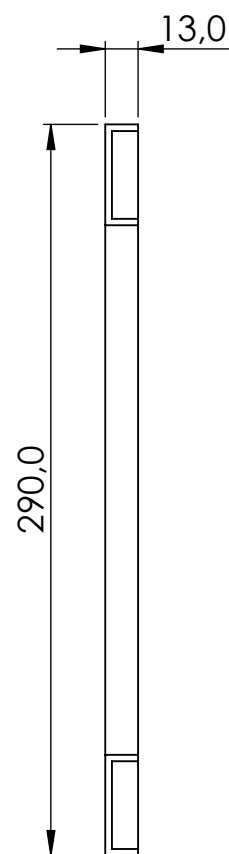
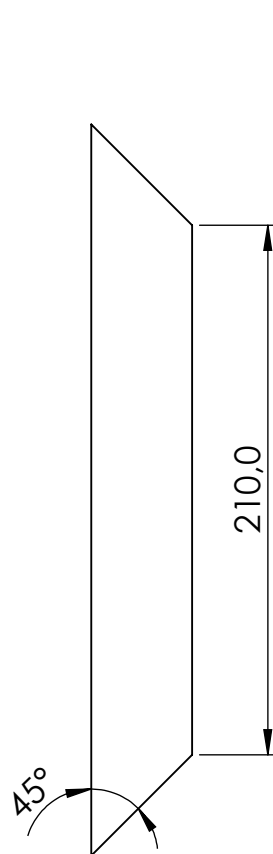
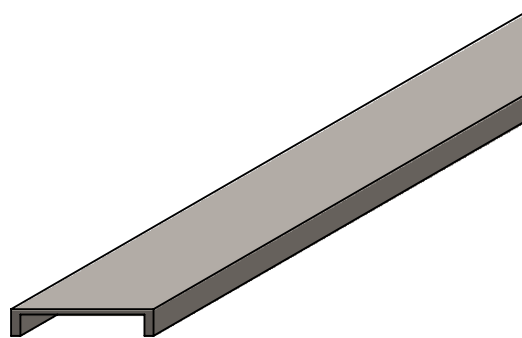
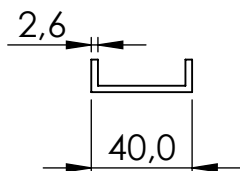
E

F

G

H

I



Descrição:
Borda superior/inferior da tampa lateral

Material: AISI 1020 - perf. retangular 40 x 30 mm

Quantidade: 2x

Escala: 1:3

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Data de desenho: 28/10/2019

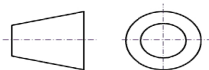
Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso:

0,3

Folha:

2/20



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

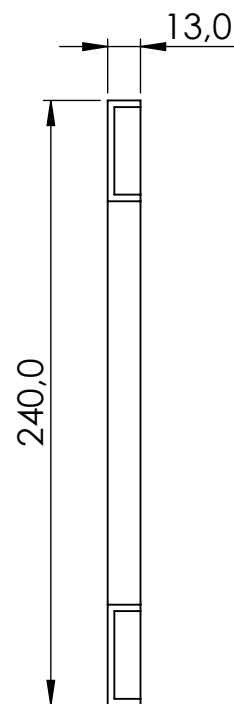
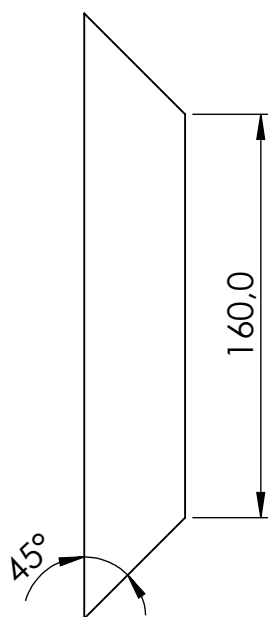
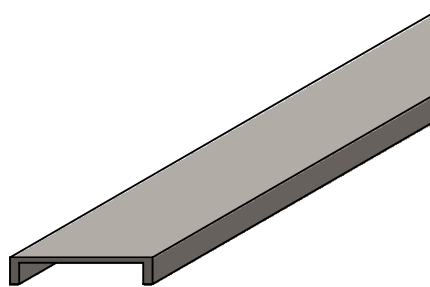
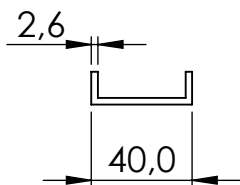
E

F

G

H

I



Descrição:

Borda lateral da tampa lateral

Material: AISI 1020 - perf. retangular 40 x 30 mm

Quantidade: 2x

Escala: 1:3

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

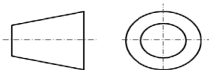
28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso:

0,2

Folha:

3/20



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

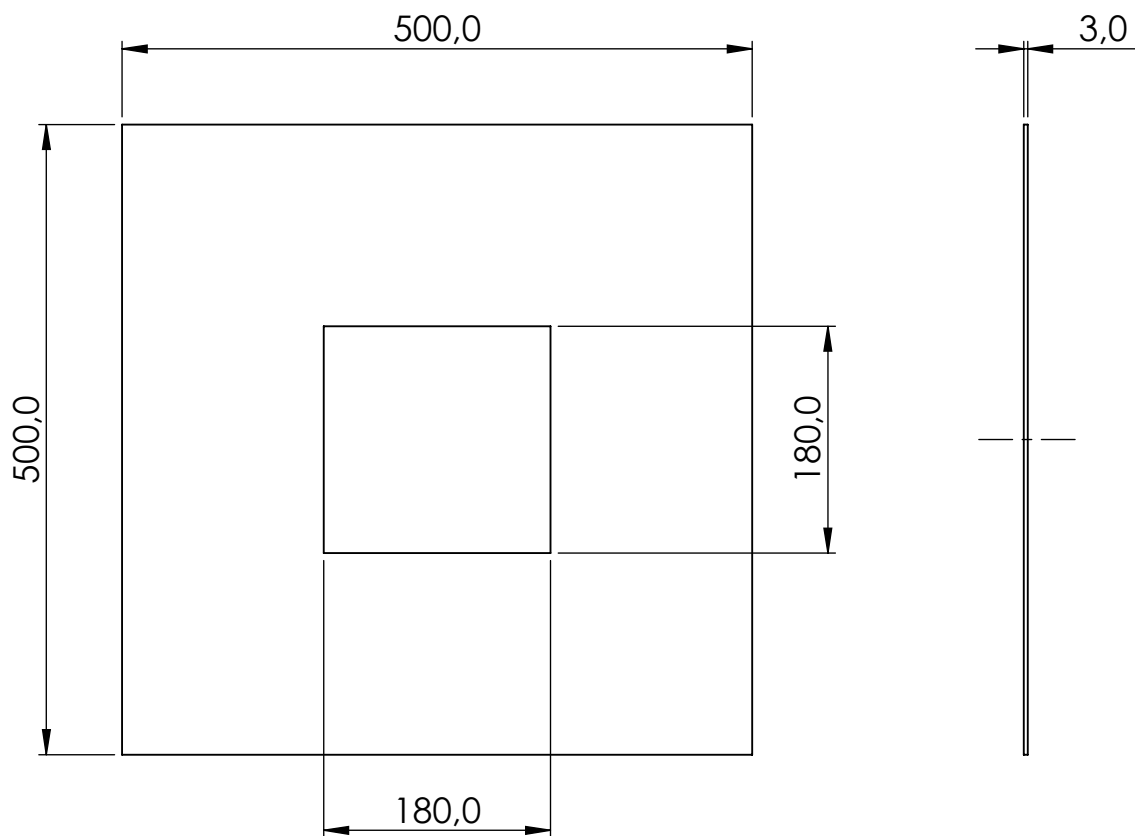
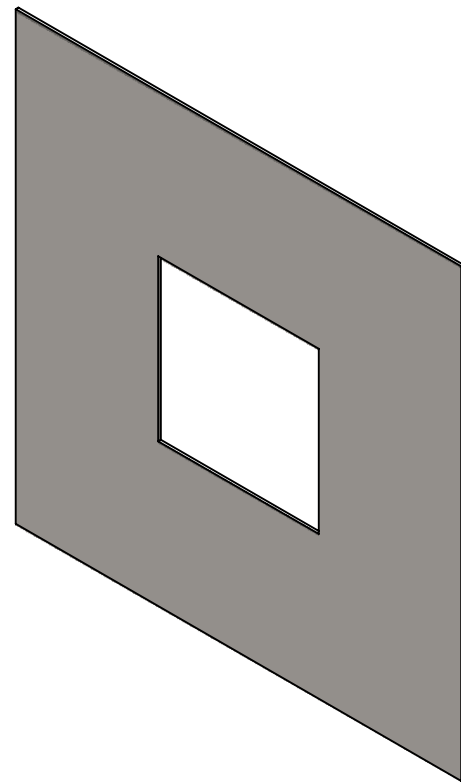
E

F

G

H

I



Descrição:

Divisória ar/syngas

Material:

AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade:

1x

Escala:

1:6

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

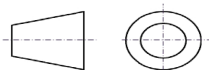
28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

5,2

Folha:

4/20


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

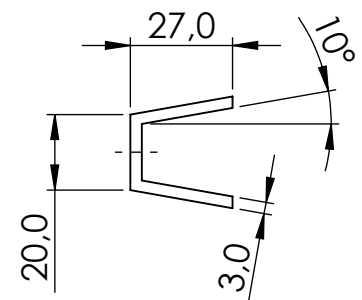
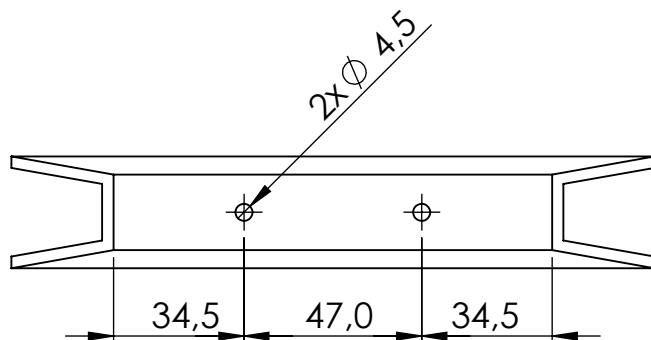
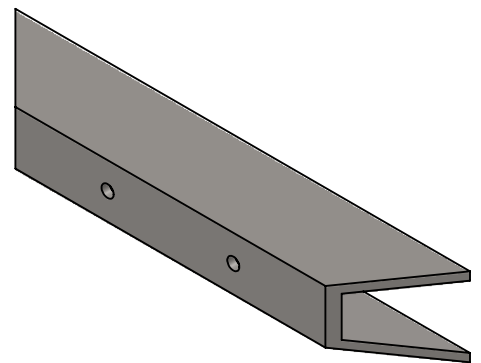
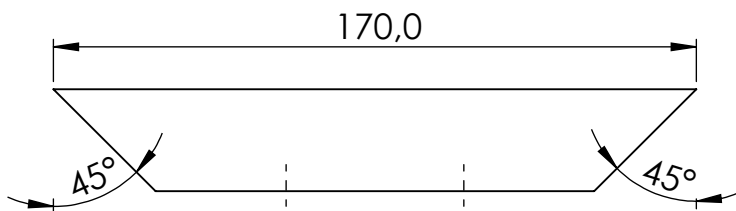
E

F

G

H

I



Descrição:

Entrada de ar na lareira

Material: AISI 1020 - perf. retangular 60 x 20 mm

Quantidade: 4x

Escala: 1:2

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteadas

Data de desenho: 28/10/2019

Tol. Linear: NA

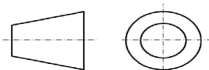
Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,2

Folha:

5/20



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

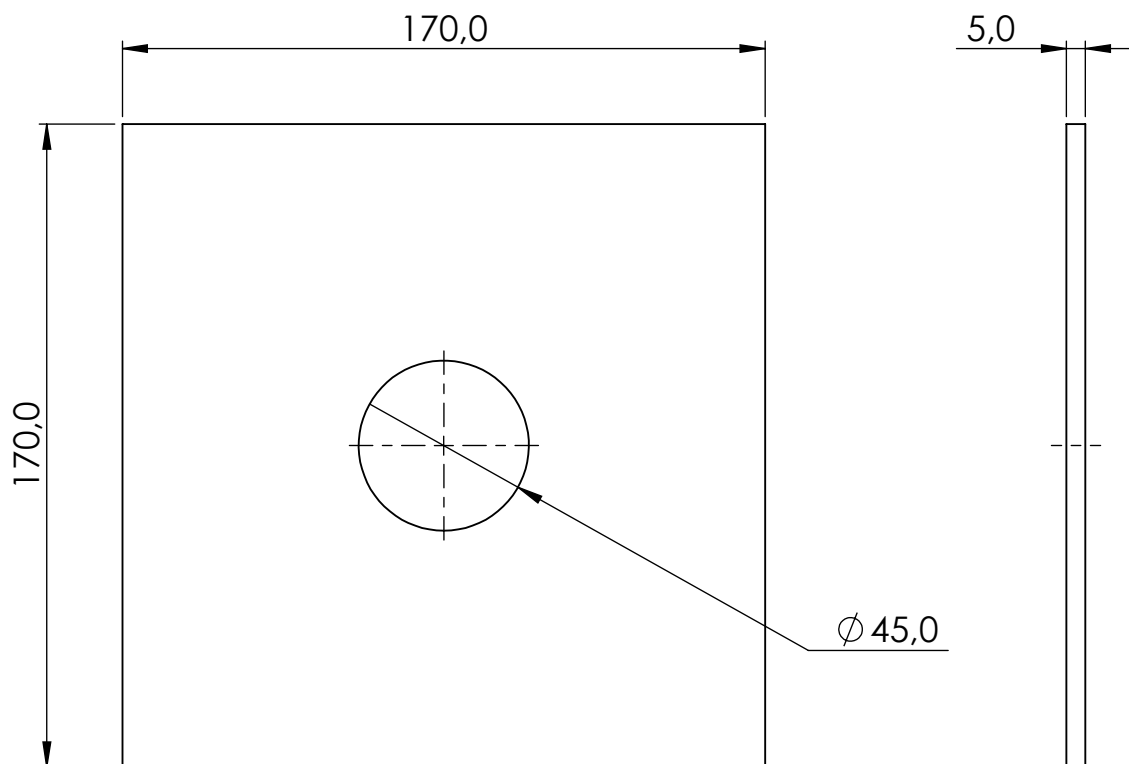
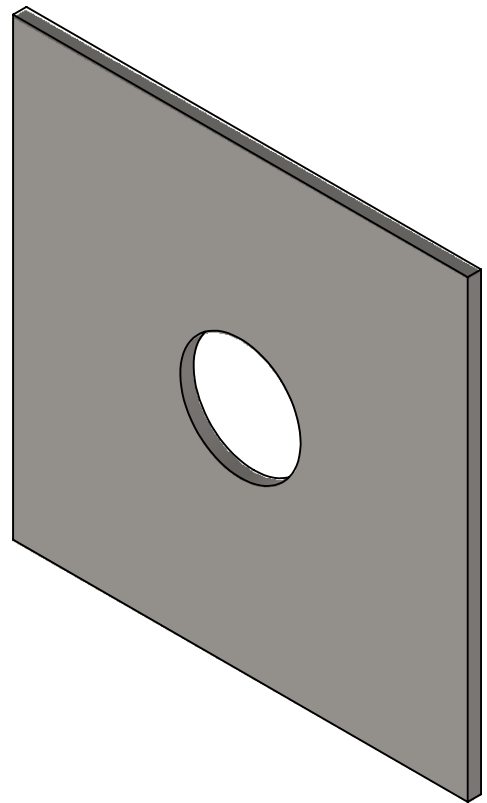
E

F

G

H

I



Descrição:

Garganta

Material:

AISI 1020 - chapa 5 mm

Quantidade:

1x

Escala:

1:2

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

1,1

Folha:

6/20


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

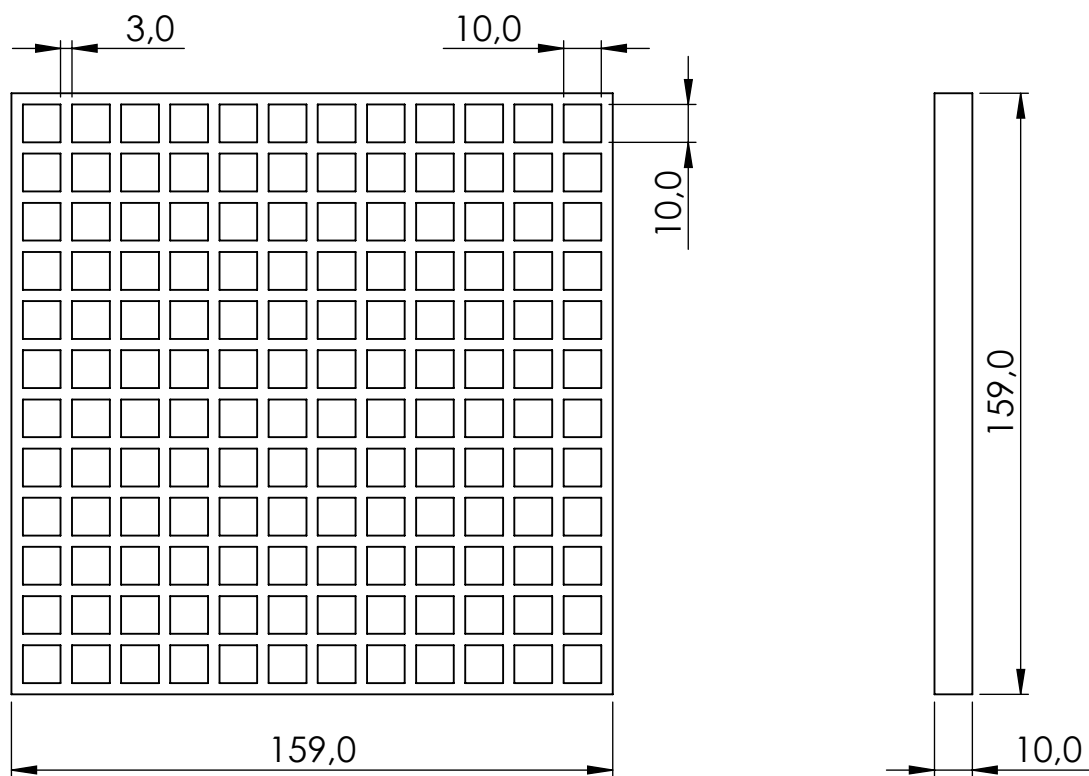
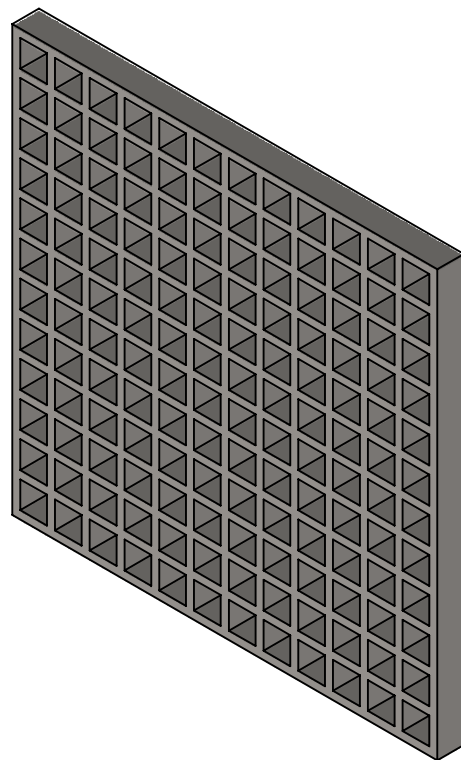
E

F

G

H

I



Descrição:

Grelha

Material:

AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade:

1x

Escala:

1:2

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteadas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

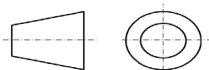
28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,9

Folha:

7/20



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

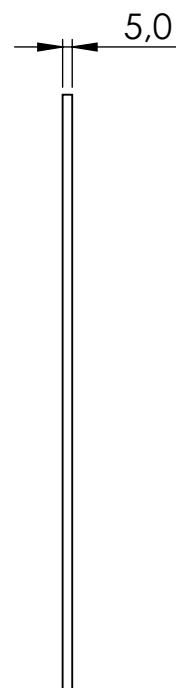
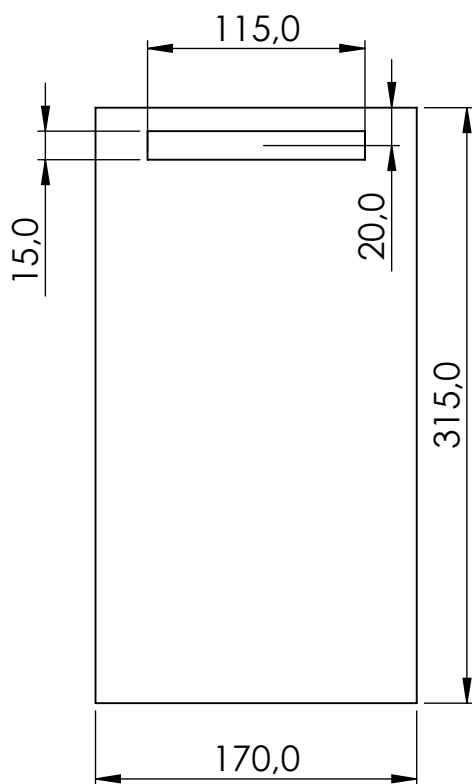
E

F

G

H

I



Descrição:

Lateral da lareira

Material:

AISI 1020 - chapa 5 mm

Quantidade:

4x

Escala:

1:4

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

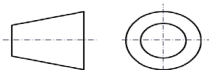
28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

2,0

Folha:

8/20



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

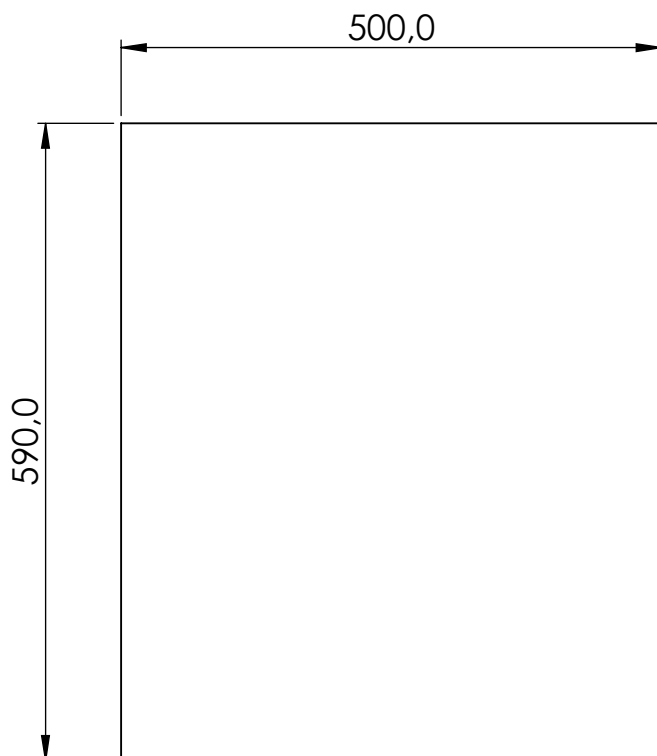
E

F

G

H

I



3,0

Descrição:
Lateral inferior do gaseificador (1 de 4)

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 1x

Escala: 1:7

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

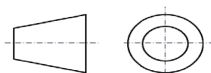
Data de desenho: 28/10/2019

Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

7,0

Folha:

9/20



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

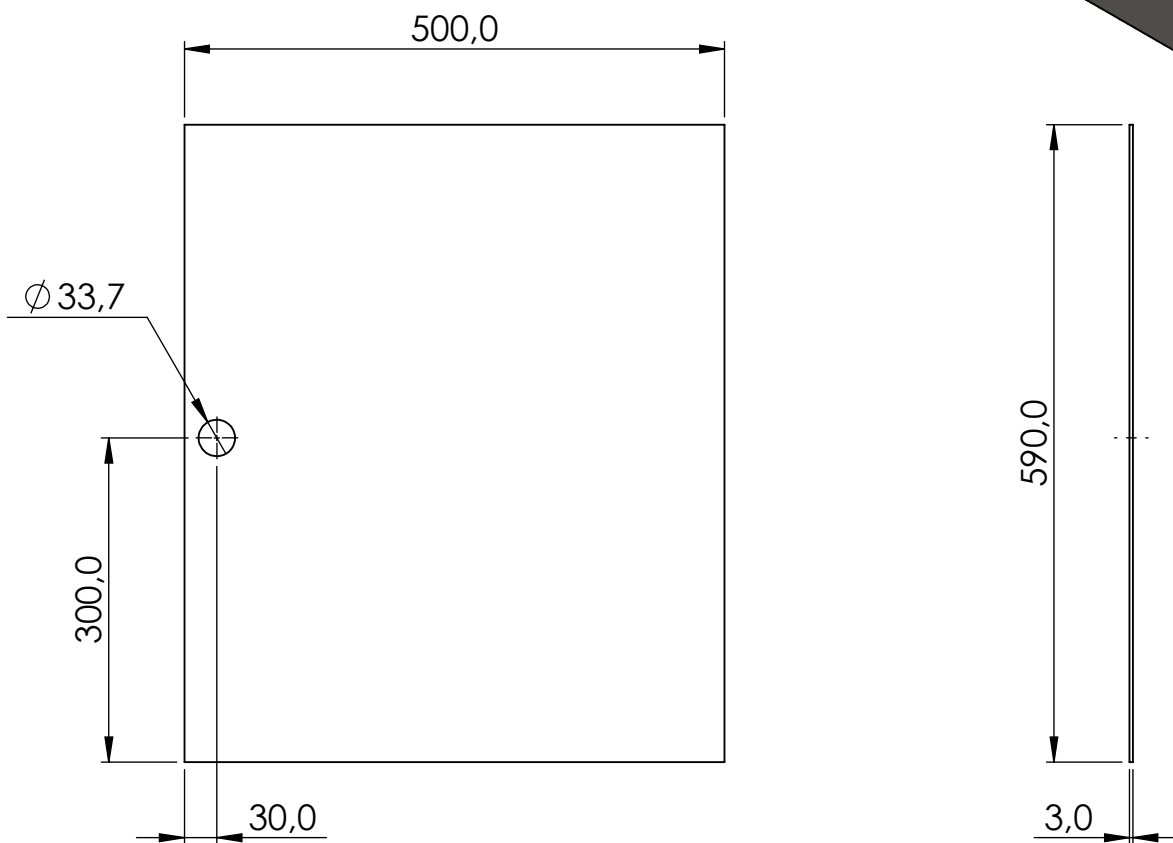
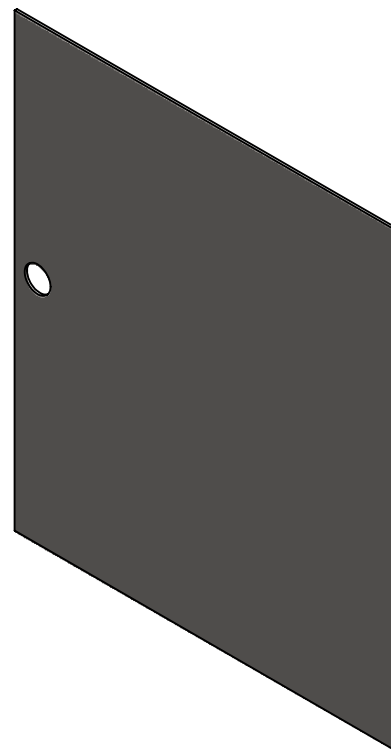
E

F

G

H

I



Descrição:

Lateral inferior do gaseificador (2 de 4)

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 1x

Escala: 1:7

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

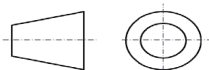
28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

7,0

Folha:

10/20



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

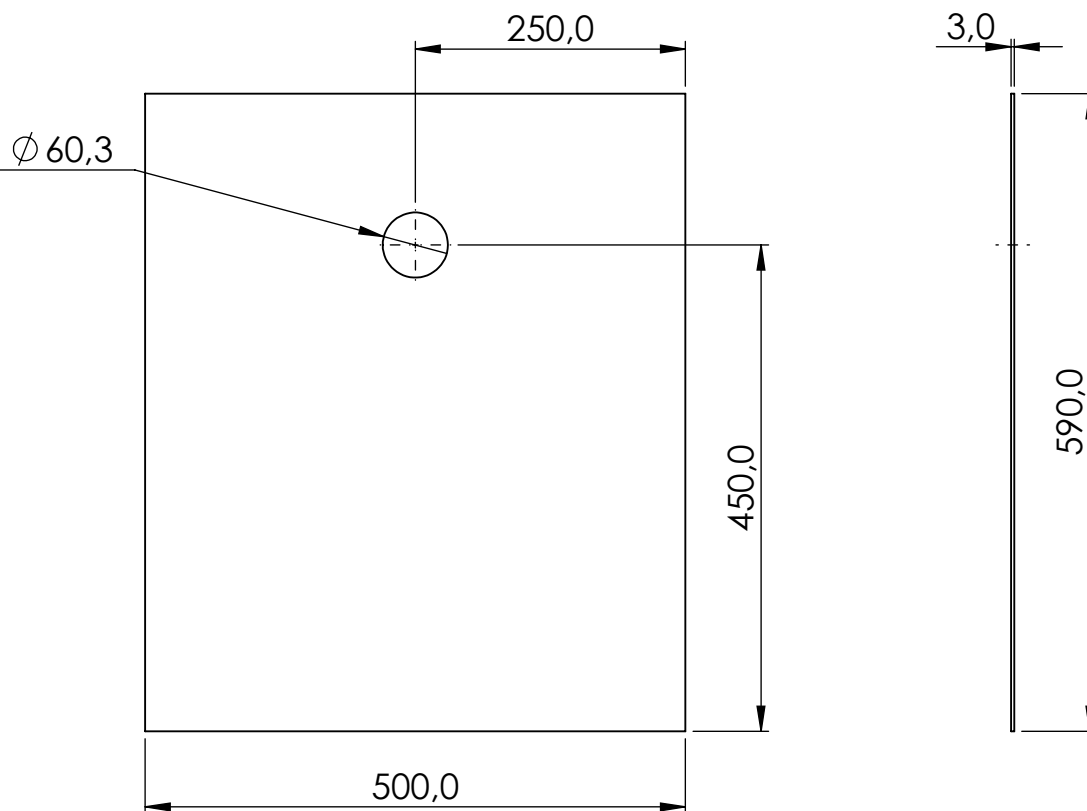
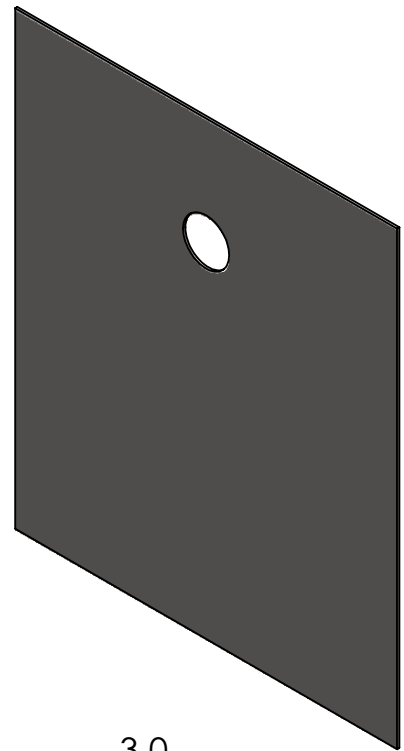
E

F

G

H

I



Descrição:
Lateral inferior do gaseificador (3 de 4)

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 1x Escala: 1:7

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Data de desenho: 28/10/2019

Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

6,9

Folha:

11/20



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

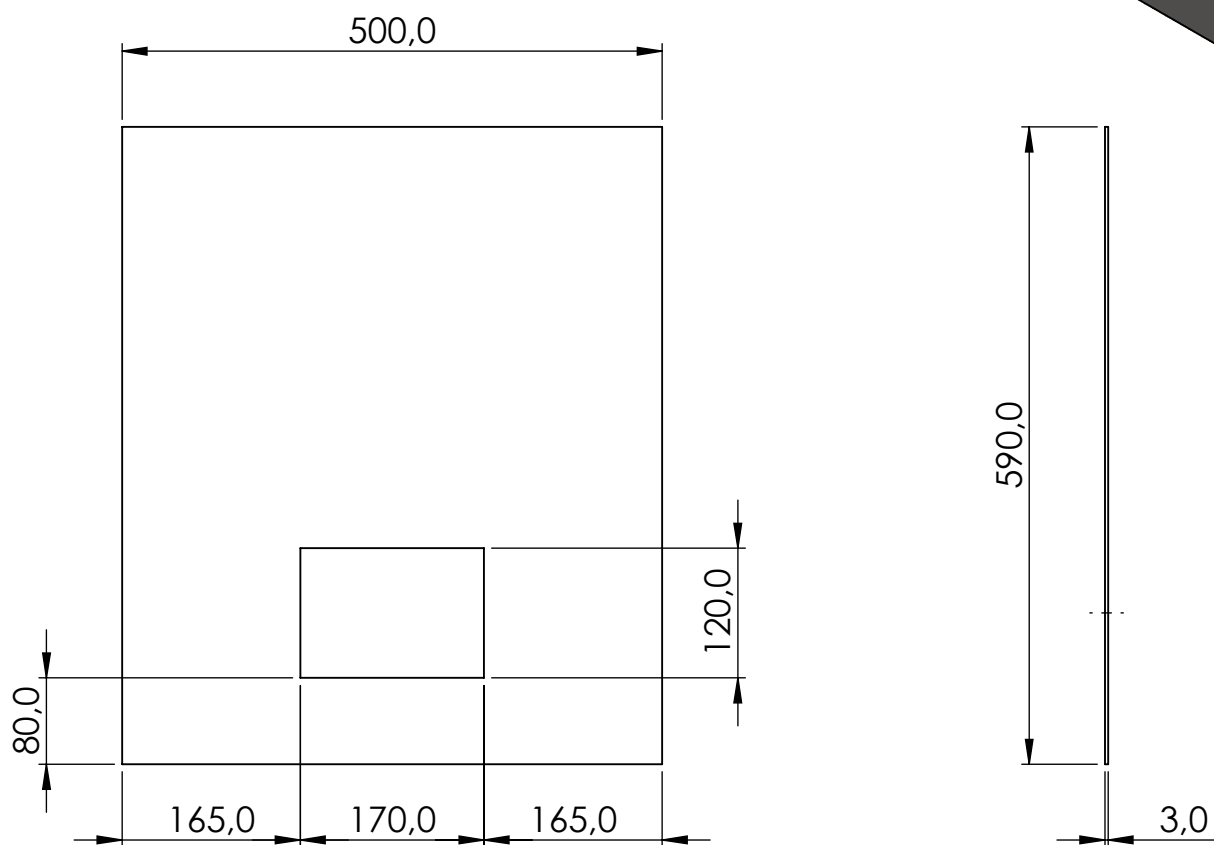
E

F

G

H

I



Descrição:

Lateral inferior do gaseificador (4 de 4)

Material:

AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade:

1x

Escala:

1:7

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

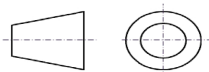
28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

6,5

Folha:

12/20



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

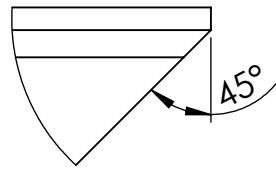
4

5

6

7

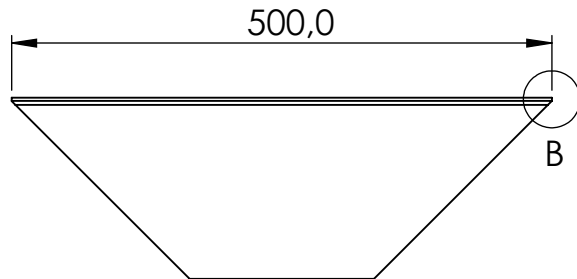
A



DETALHE B
ESCALA 1 : 1

B

C

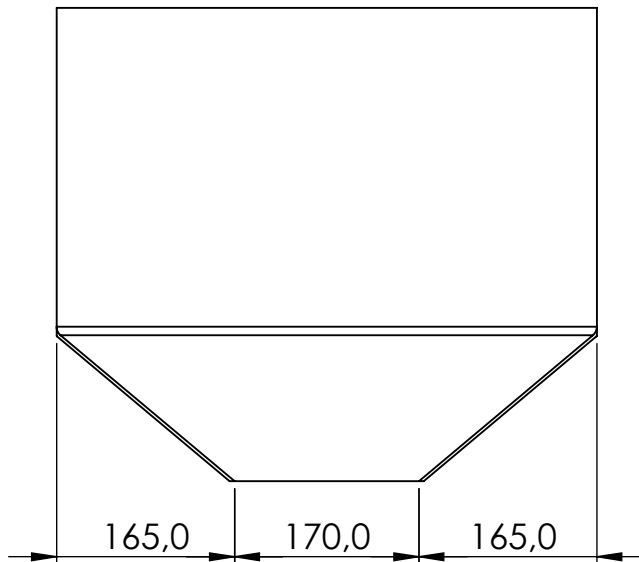


D

E

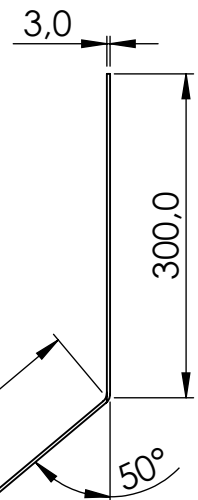
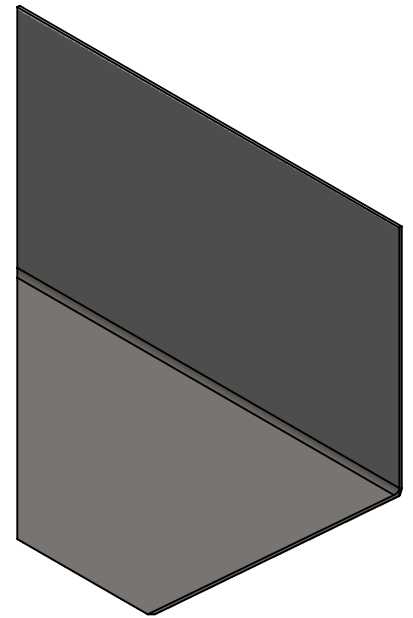
F

G

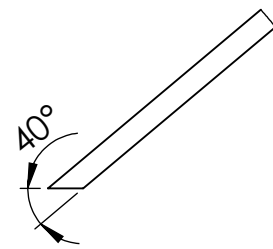


H

I



A



DETALHE A
ESCALA 1 : 1

Descrição:

Lateral do reservatório

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 4x

Escala: 1:7

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

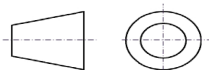
Data de desenho: 28/10/2019

Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

5,3

Folha:

13/20



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

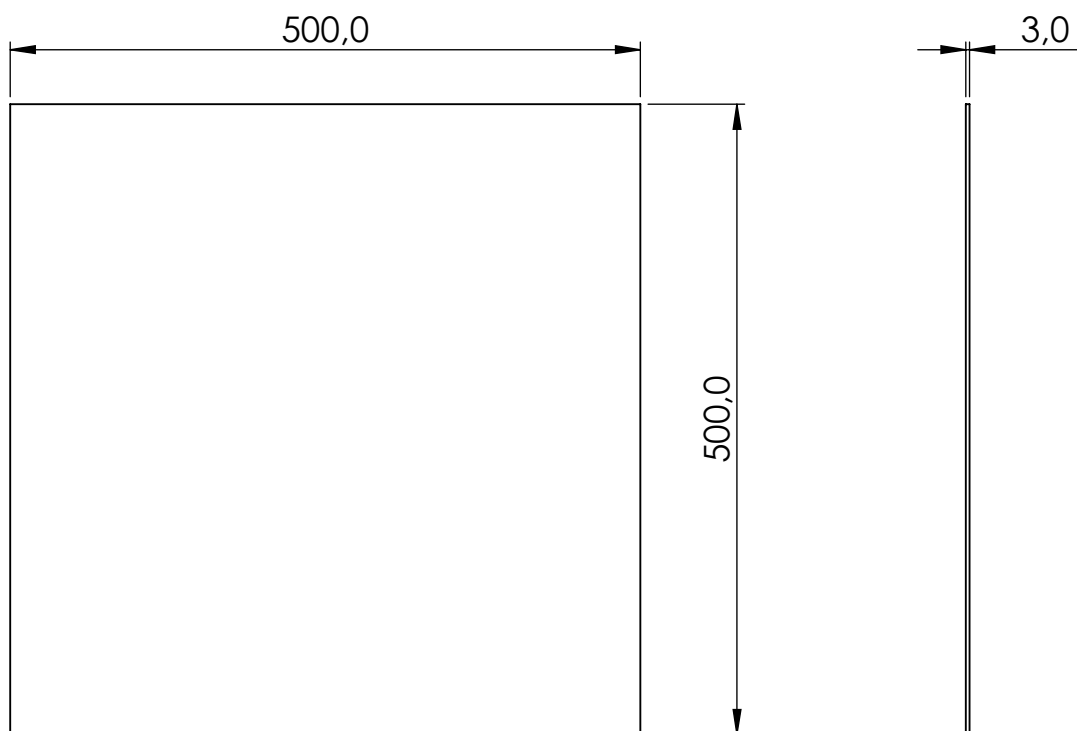
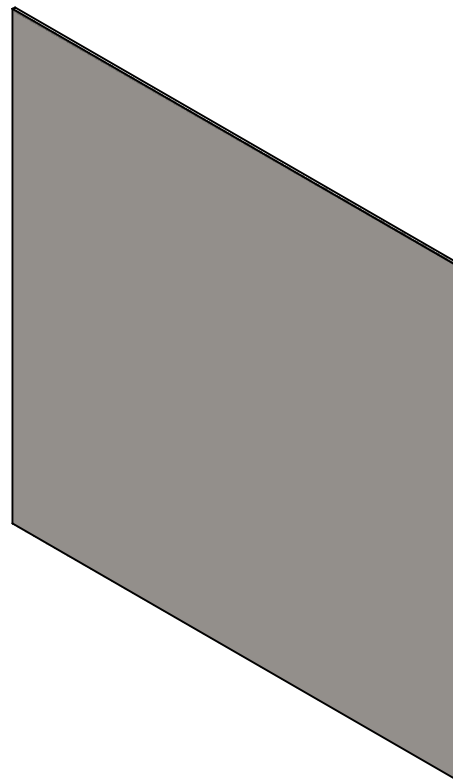
E

F

G

H

I



Descrição:

Piso do gaseificador

Material:

AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade:

1x

Escala:

1:6

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteadas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

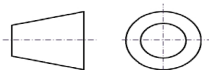
28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

5,9

Folha:

14/20


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

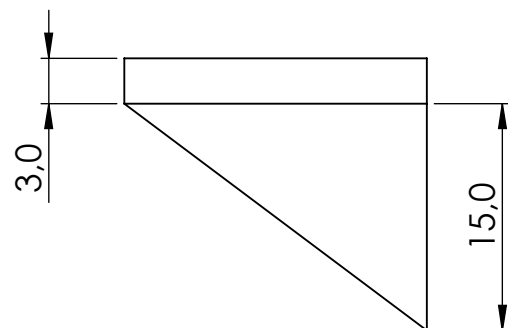
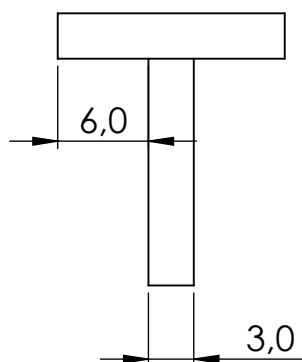
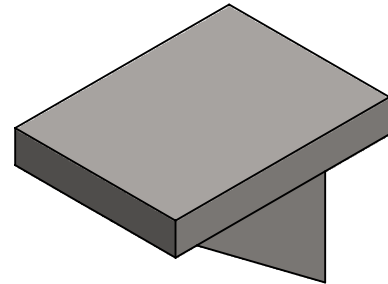
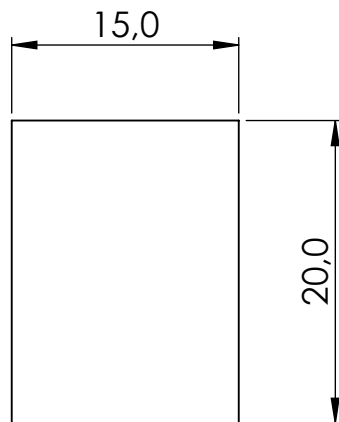
E

F

G

H

I



Descrição:

Suporte da grelha

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 8x

Escala: 2:1

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

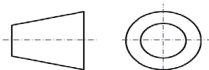
Data de desenho: 28/10/2019

Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,0

Folha:

15/20


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

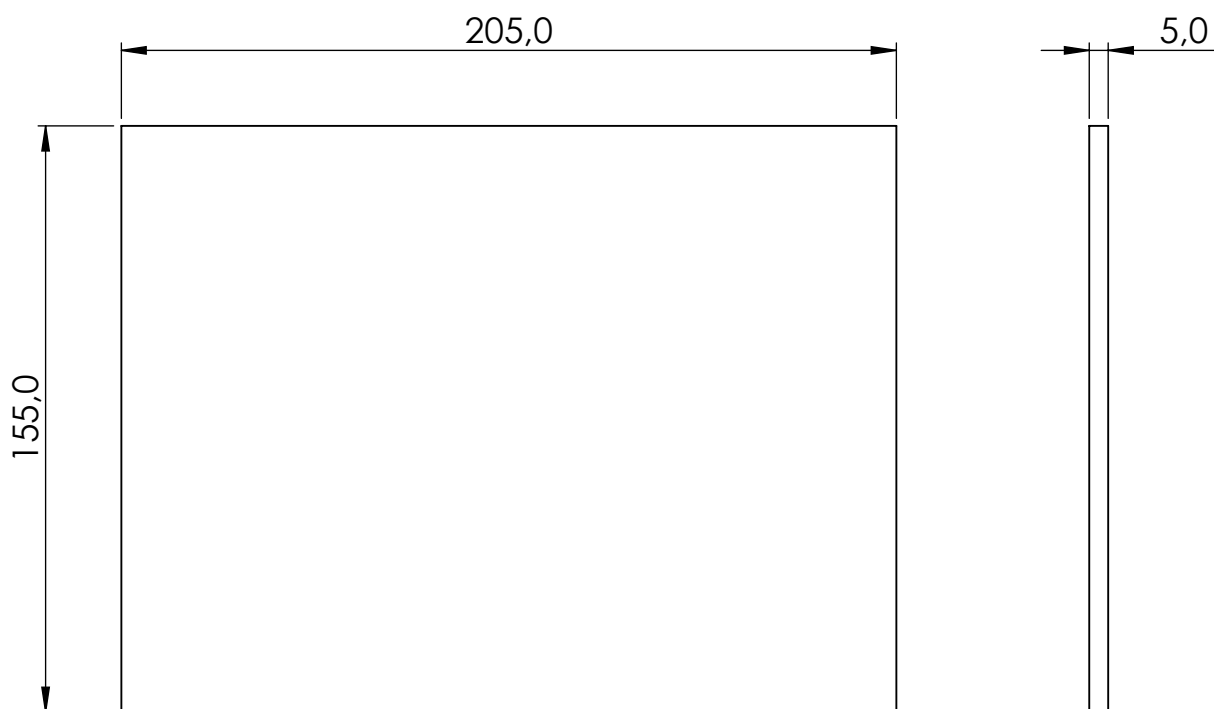
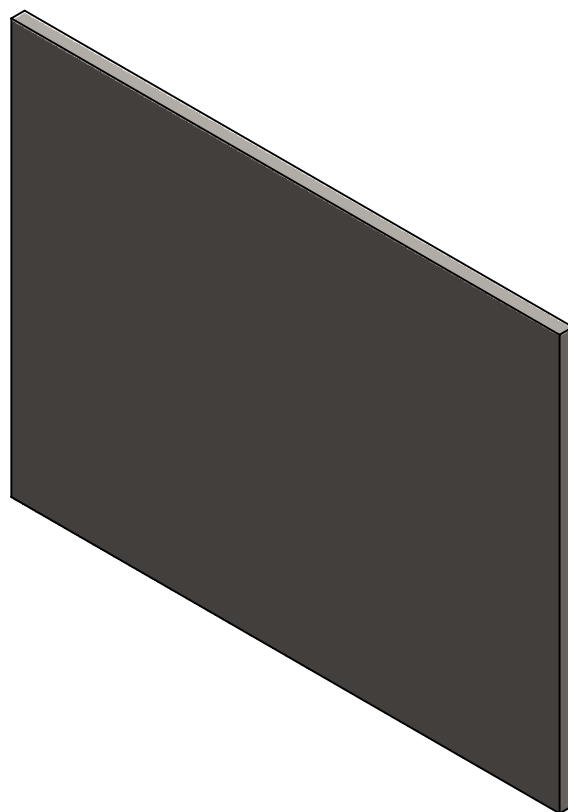
E

F

G

H

I



Descrição:

Tampa lateral

Material:

AISI 1020 - chapa 5 mm

Quantidade:

1x

Escala:

1:2

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

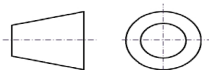
28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

1,3

Folha:

16/20


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

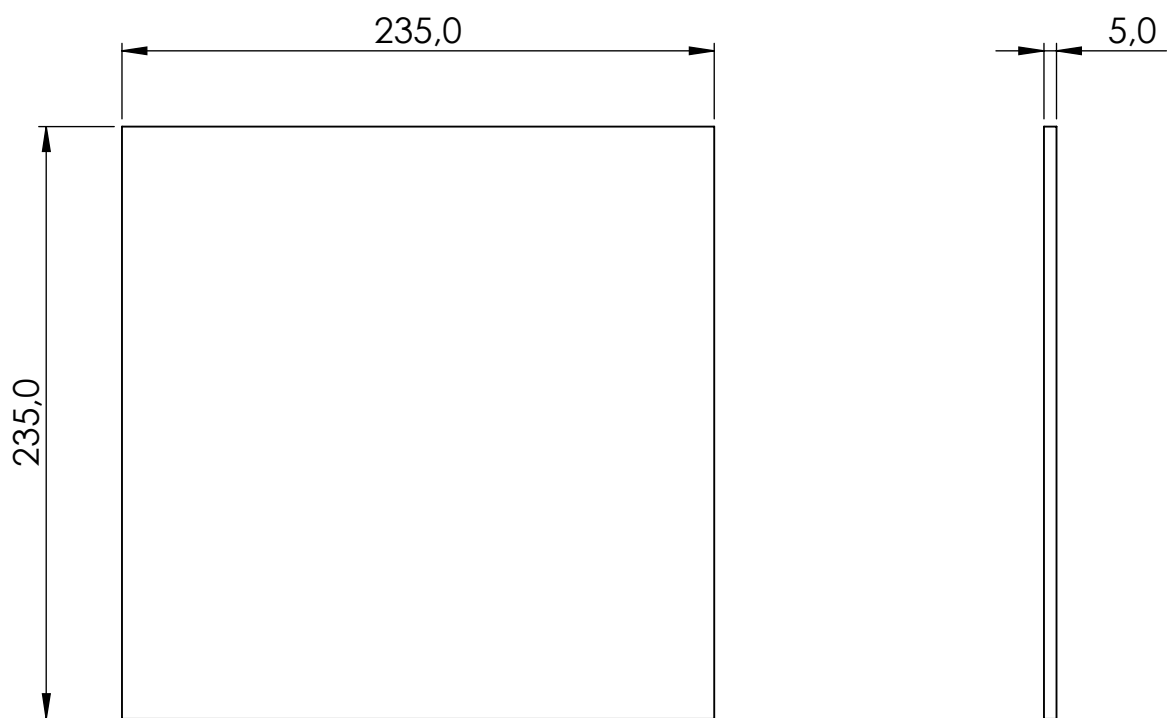
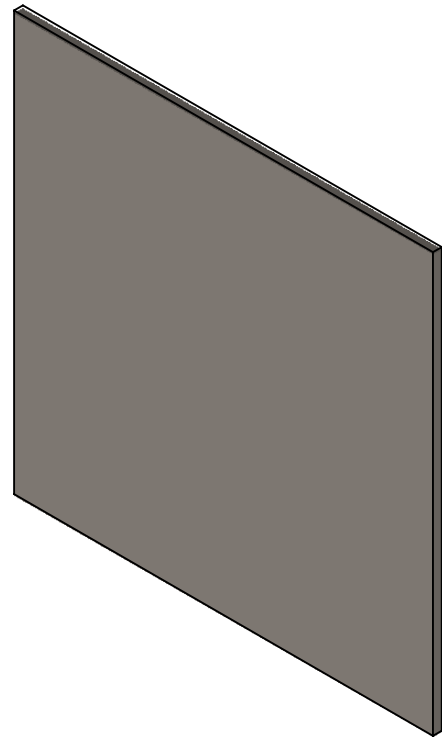
E

F

G

H

I



Descrição:		Material:	
Tampa superior		AISI 1020 - chapa 5 mm	
		Quantidade: 1x	Escala: 1:3
Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos		Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas	
Data de desenho: 28/10/2019		Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA	
Método de projecção: 1º diedro		Acabamento superficial: NA	
Todas as dimensões em: mm			
Tamanho da folha: A4		Peso (Kg): 2,2	Folha: 17/20

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

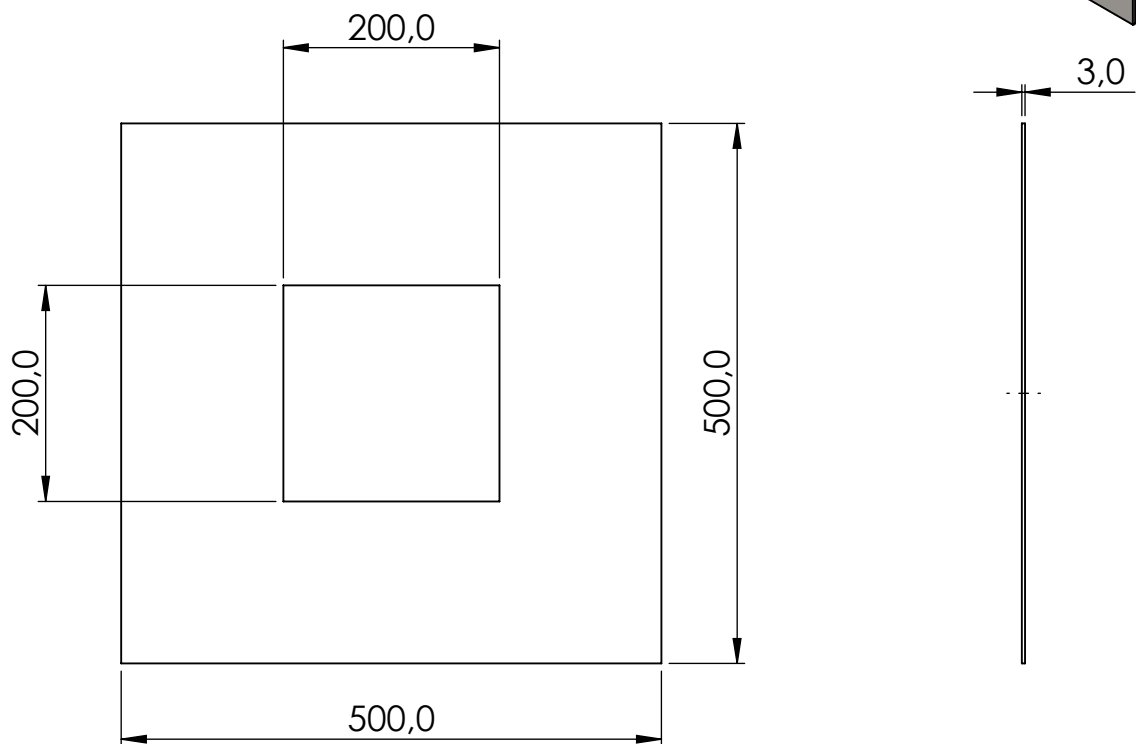
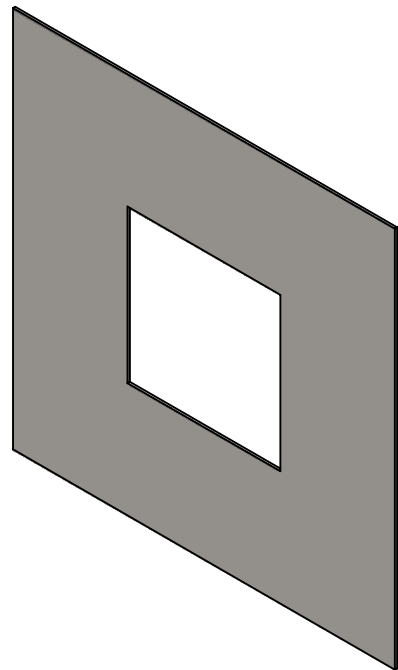
E

F

G

H

I



Descrição:

Teto do gaseificador

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 1x

Escala: 1:7

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Data de desenho: 28/10/2019

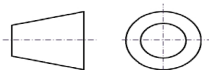
Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

5,0

Folha:

18/20


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

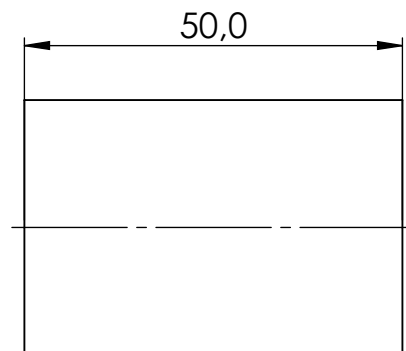
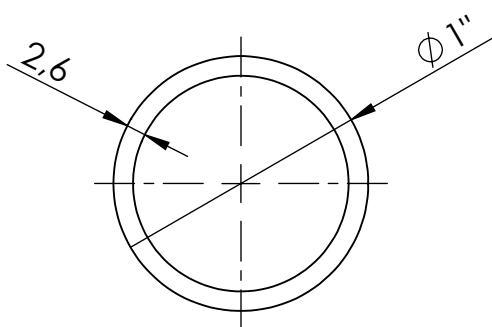
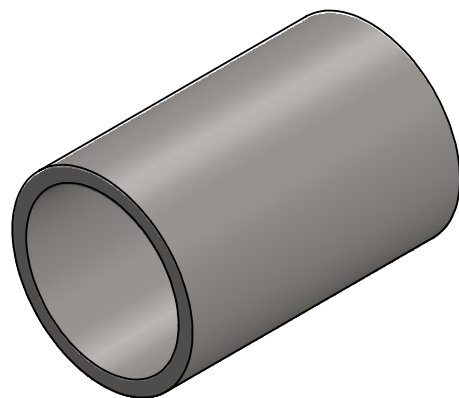
E

F

G

H

I



Descrição:

Tubo de saída de syngas

Material:

AISI 1020 - tubo 1"

Quantidade:

1x

Escala:

1:1

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,1

Folha:

19/20


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

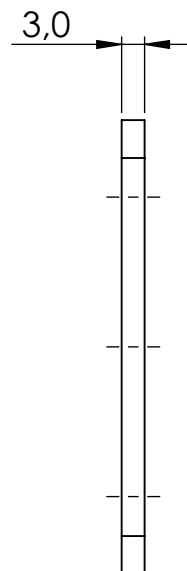
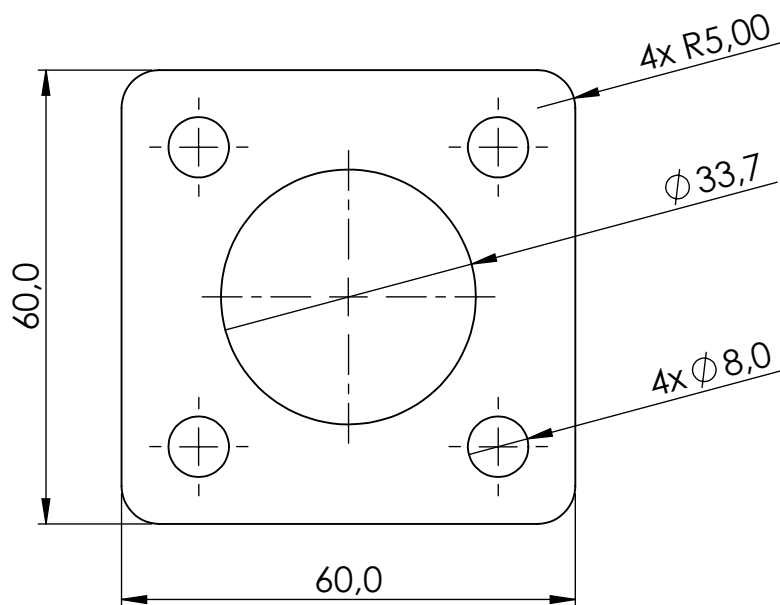
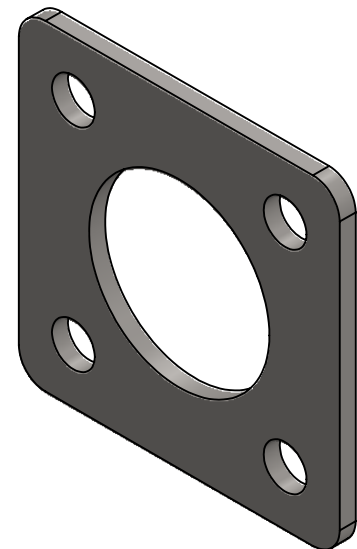
E

F

G

H

I



Descrição:

Flange

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 1x

Escala: 1:1

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

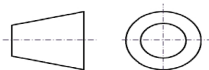
28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

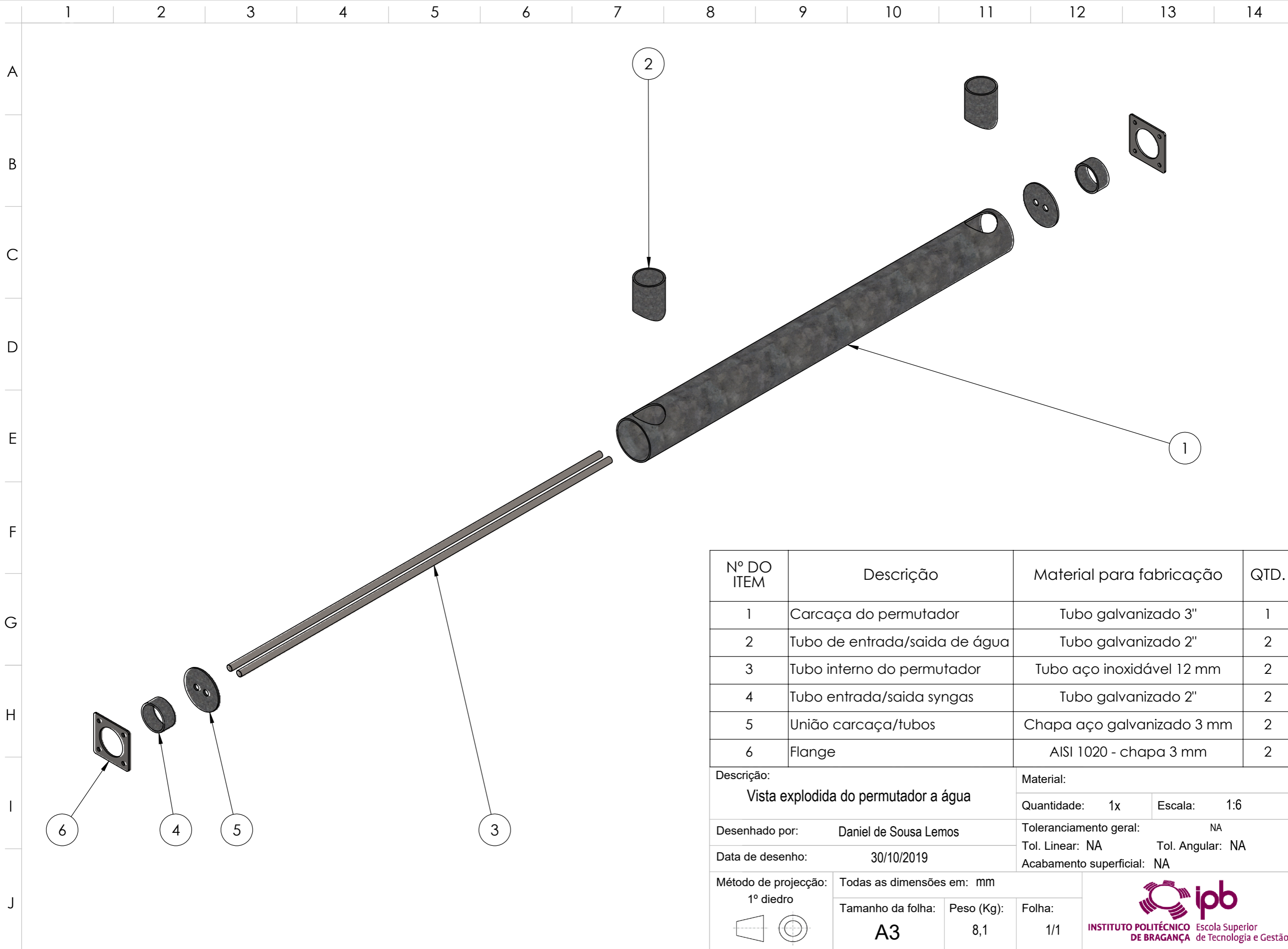
0,1

Folha:

20/20



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão



Nº DO ITEM	Descrição	Material para fabricação	QTD.
1	Carcaça do permutador	Tubo galvanizado 3"	1
2	Tubo de entrada/saida de água	Tubo galvanizado 2"	2
3	Tubo interno do permutador	Tubo aço inoxidável 12 mm	2
4	Tubo entrada/saida syngas	Tubo galvanizado 2"	2
5	União carcaça/tubos	Chapa aço galvanizado 3 mm	2
6	Flange	AISI 1020 - chapa 3 mm	2

Descrição:		Material:	
Vista explodida do permutador a água		Quantidade: 1x	Escala: 1:6
Desenhado por:	Daniel de Sousa Lemos	Toleranciamento geral: NA	
Data de desenho:	30/10/2019	Tol. Linear: NA	Tol. Angular: NA
Método de projecção:		Acabamento superficial: NA	
1º diedro		Todas as dimensões em: mm	
		Tamanho da folha:	Peso (Kg):
		A3	8,1
		Folha:	
		1/1	



1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

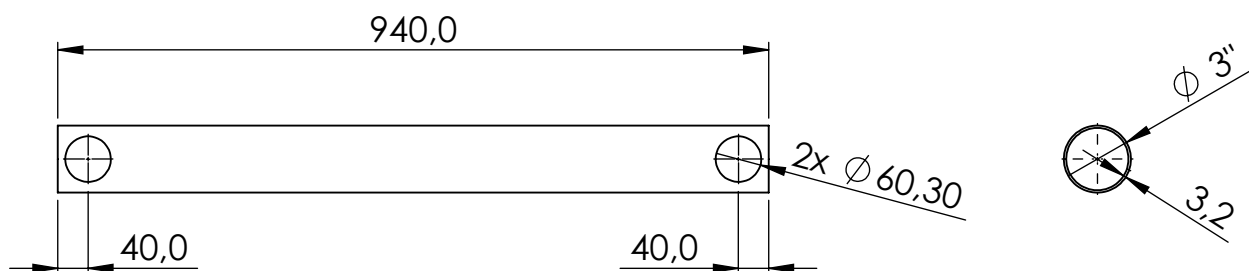
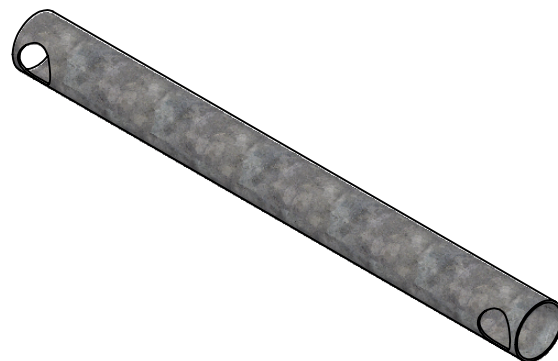
E

F

G

H

I



Descrição:

Carcaça exterior do permutador

Material:

Tubo galvanizado 3"

Quantidade:

1x

Escala:

1:10

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

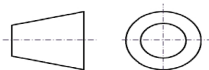
29/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

6,2

Folha:

1/6



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

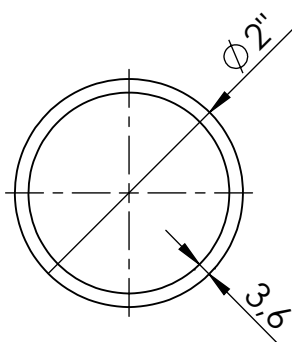
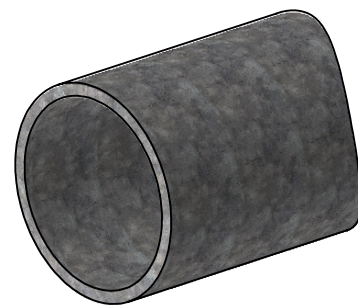
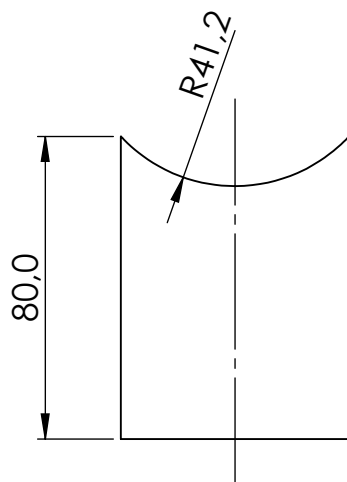
E

F

G

H

I



Descrição:

Tubo entrada/saida de água

Material:

Tubo galvanizado 2"

Quantidade:

2x

Escala:

1:2

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

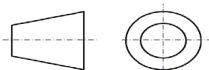
29/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,4

Folha:

2/6



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

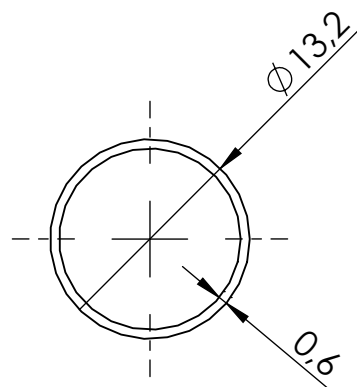
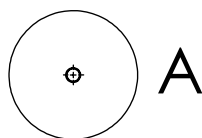
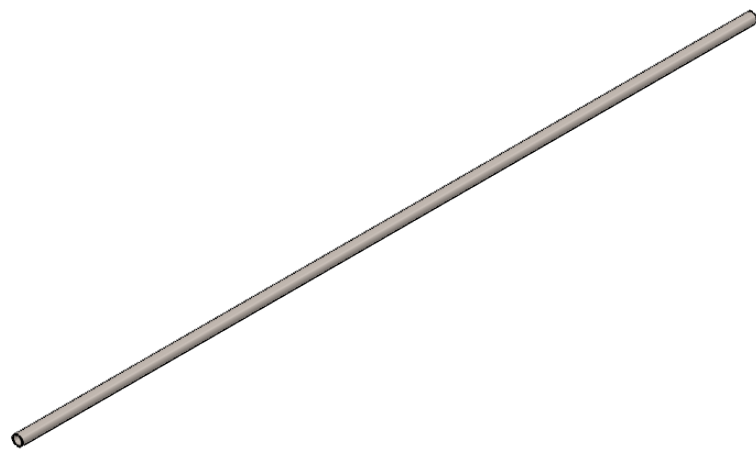
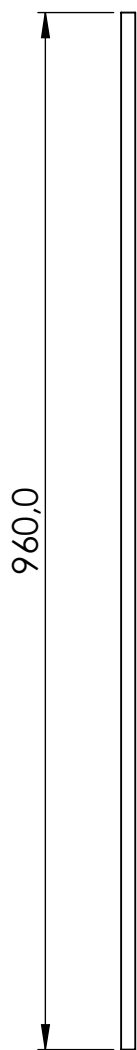
E

F

G

H

I



DETALHE A

ESCALA 2 : 1

Descrição:

Tubo interno do permutador

Material: Tubo aço inoxidável 12 mm

Quantidade: 2x

Escala: 1:2

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

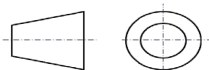
29/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,2

Folha:

3/6



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

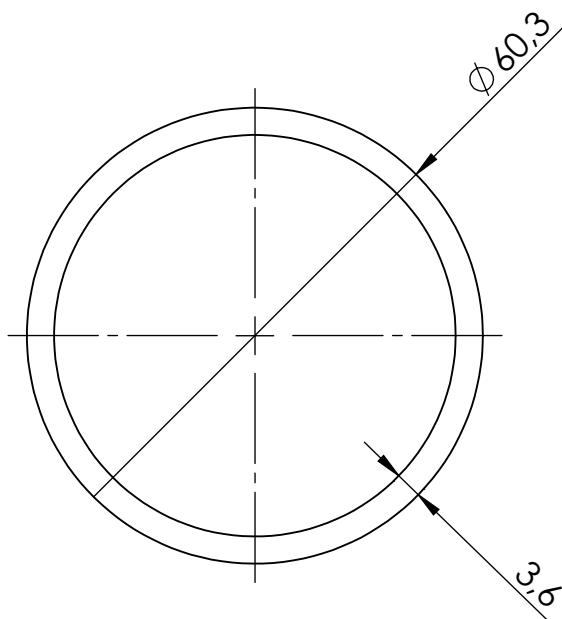
E

F

G

H

I



Descrição:

Tubo entrada/saida syngas

Material:

Tubo galvanizado 2"

Quantidade:

2x

Escala:

1:1

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

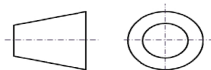
29/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,1

Folha:

4/6


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

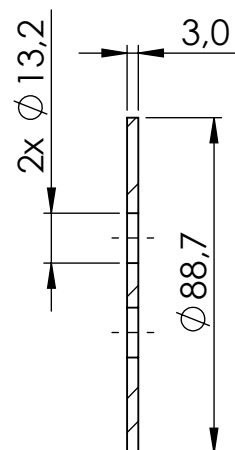
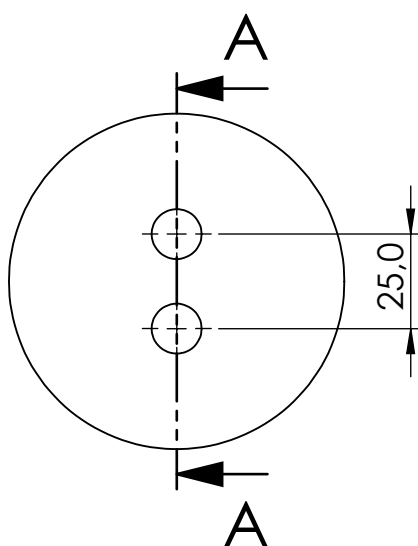
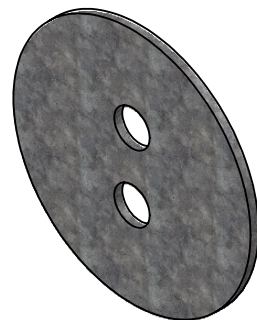
E

F

G

H

I



SEÇÃO A-A

Descrição:		União carcaça/tubos		Material: Chapa aço galvanizado 3 mm	
Desenhado por:		Daniel de Sousa Lemos		Quantidade: 2x	Escala: 1:2
Data de desenho:		29/10/2019		Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas	
Método de projecção:		Todas as dimensões em: mm		Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA	
1º diedro		Tamanho da folha:	Peso (Kg):	Acabamento superficial: NA	
		A4	0,1	Folha:	
				5/6	
 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão					

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

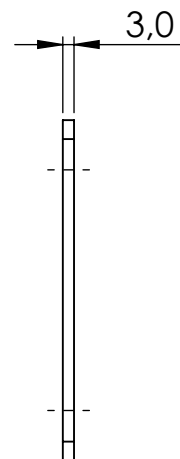
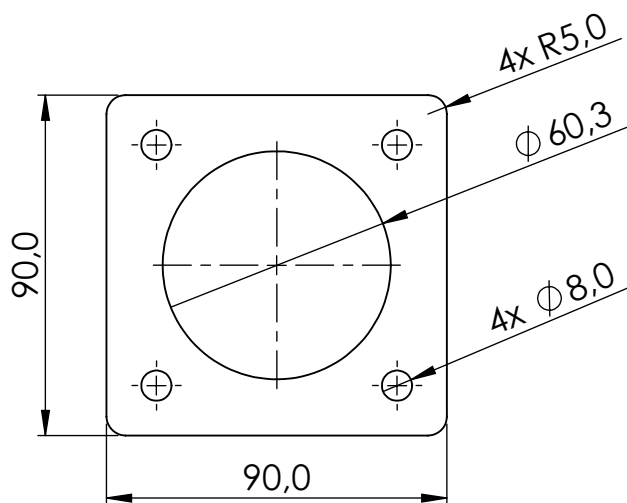
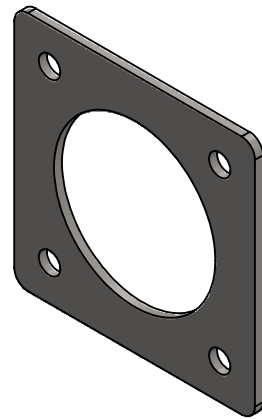
E

F

G

H

I



Descrição:

Flange

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 2x

Escala: 1:2

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas

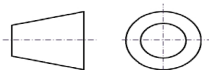
Data de desenho: 29/10/2019

Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

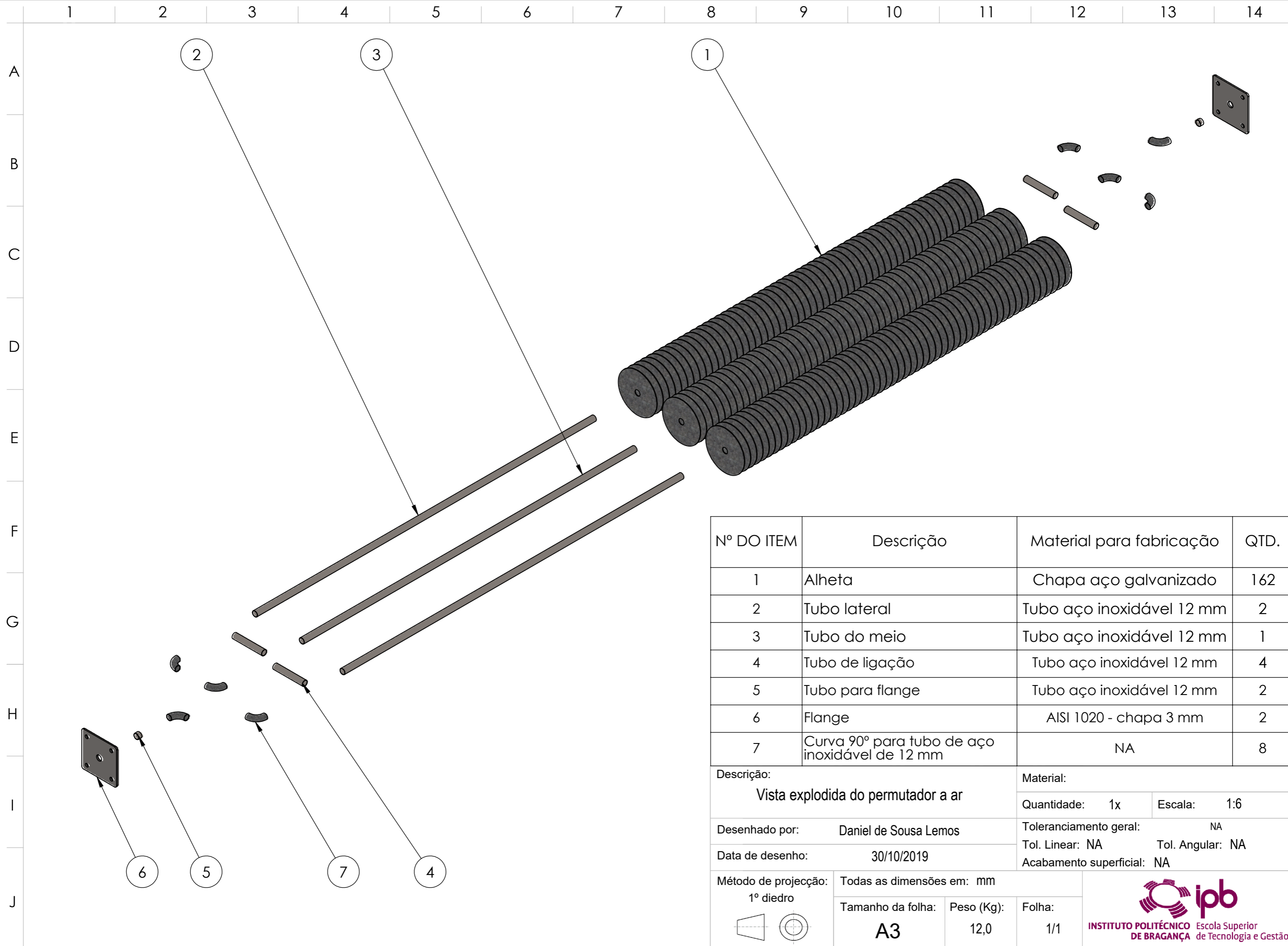
Peso (Kg):

0,1

Folha:

6/6


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão



Nº DO ITEM	Descrição	Material para fabricação	QTD.
1	Alheta	Chapa aço galvanizado	162
2	Tubo lateral	Tubo aço inoxidável 12 mm	2
3	Tubo do meio	Tubo aço inoxidável 12 mm	1
4	Tubo de ligação	Tubo aço inoxidável 12 mm	4
5	Tubo para flange	Tubo aço inoxidável 12 mm	2
6	Flange	AISI 1020 - chapa 3 mm	2
7	Curva 90° para tubo de aço inoxidável de 12 mm	NA	8

Descrição: Vista explodida do permutador a ar		Material:	
Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos		Quantidade: 1x	Escala: 1:6
Data de desenho: 30/10/2019		Toleranciamento geral: NA	
Método de projecção: 1º diedro		Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA	
		Acabamento superficial: NA	
Todas as dimensões em: mm			
Tamanho da folha: A3	Peso (Kg): 12,0	Folha: 1/1	

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

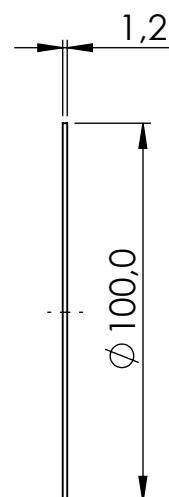
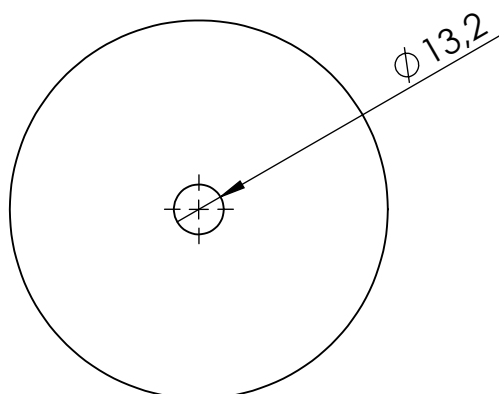
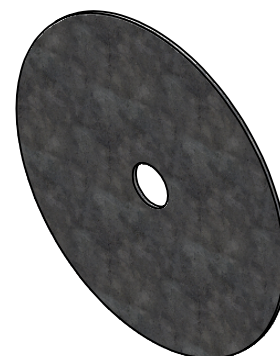
E

F

G

H

I



Descrição:

Alheta

Material:

Chapa aço galvanizado

Quantidade: 162x

Escala: 1:2

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

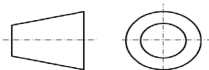
29/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,1

Folha:

1/6


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

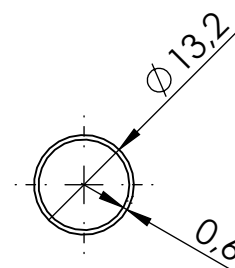
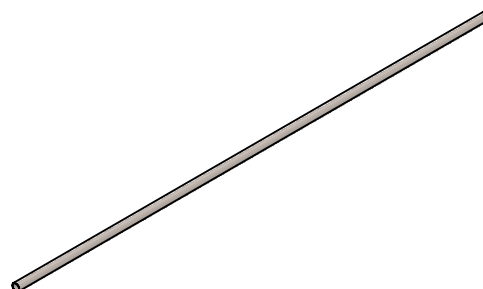
E

F

G

H

I



DETALHE A

ESCALA 1 : 1

Descrição:

Tubo lateral

Material: Tubo aço inoxidável 12 mm

Quantidade: 2x

Escala: 1:10

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas

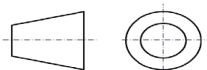
Data de desenho: 29/10/2019

Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,2

Folha:

2/6



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

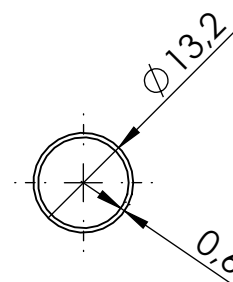
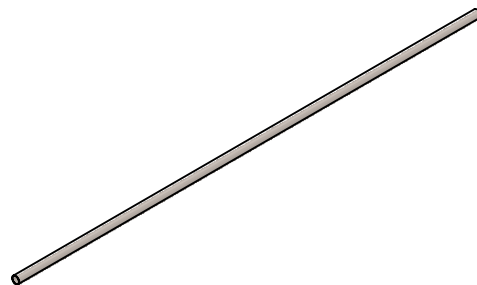
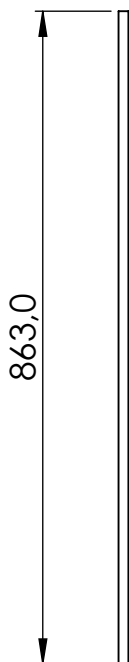
E

F

G

H

I



DETALHE A

ESCALA 1 : 1

Descrição:

Tubo do meio

Material: Tubo aço inoxidável 12 mm

Quantidade: 1x

Escala: 1:10

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas

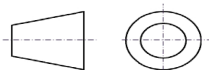
Data de desenho: 29/10/2019

Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,2

Folha:

3/6



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

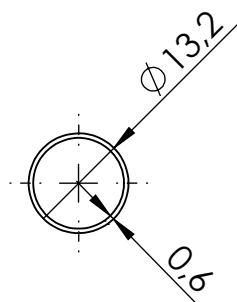
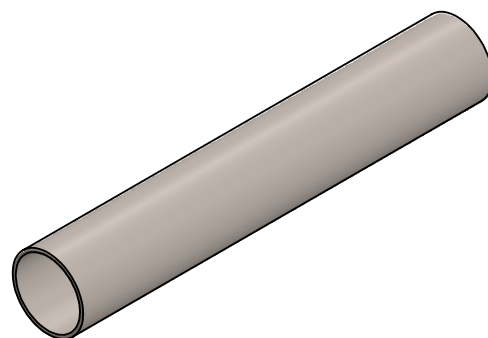
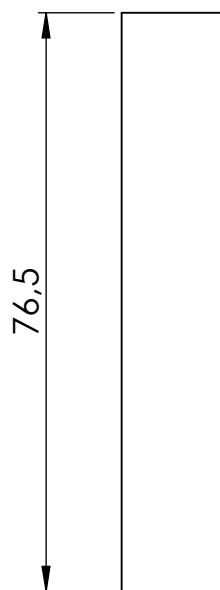
E

F

G

H

I



Descrição:

Tubo de ligação

Material: Tubo aço inoxidável 12 mm

Quantidade: 4x

Escala: 1:1

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

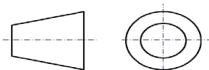
29/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,0

Folha:

4/6


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

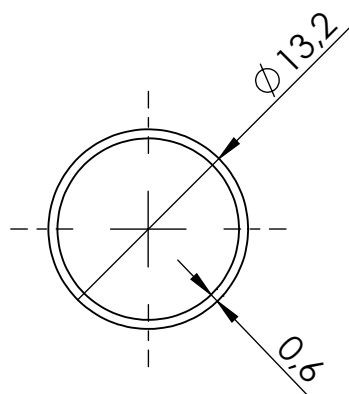
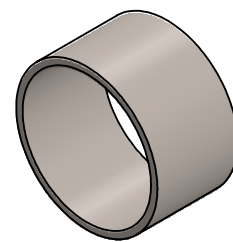
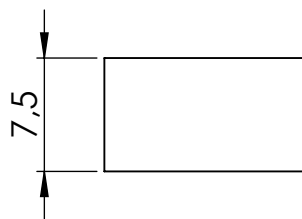
E

F

G

H

I



Descrição:

Tubo para flange

Material: Tubo aço inoxidável 12 mm

Quantidade: 2x

Escala: 2:1

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

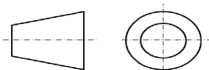
29/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,0

Folha:

5/6



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

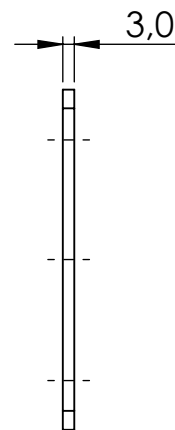
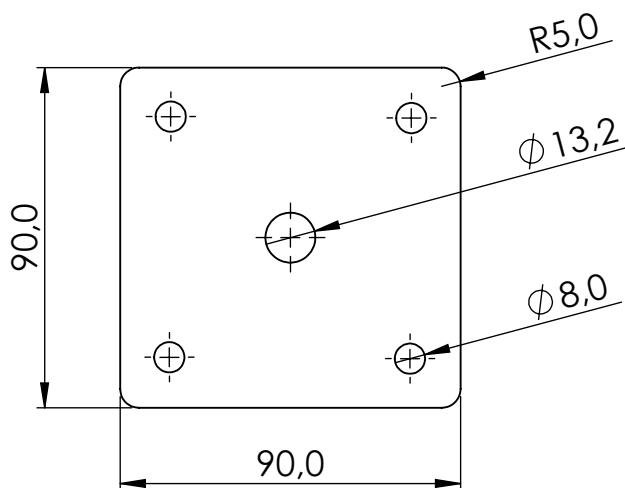
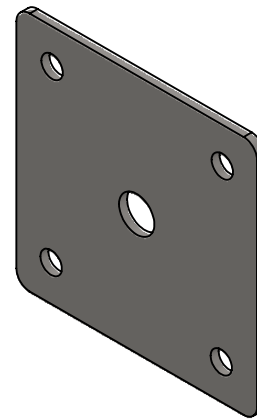
E

F

G

H

I



Descrição:

Flange

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 2x

Escala: 1:2

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas

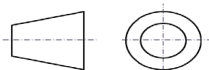
Data de desenho: 29/10/2019

Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

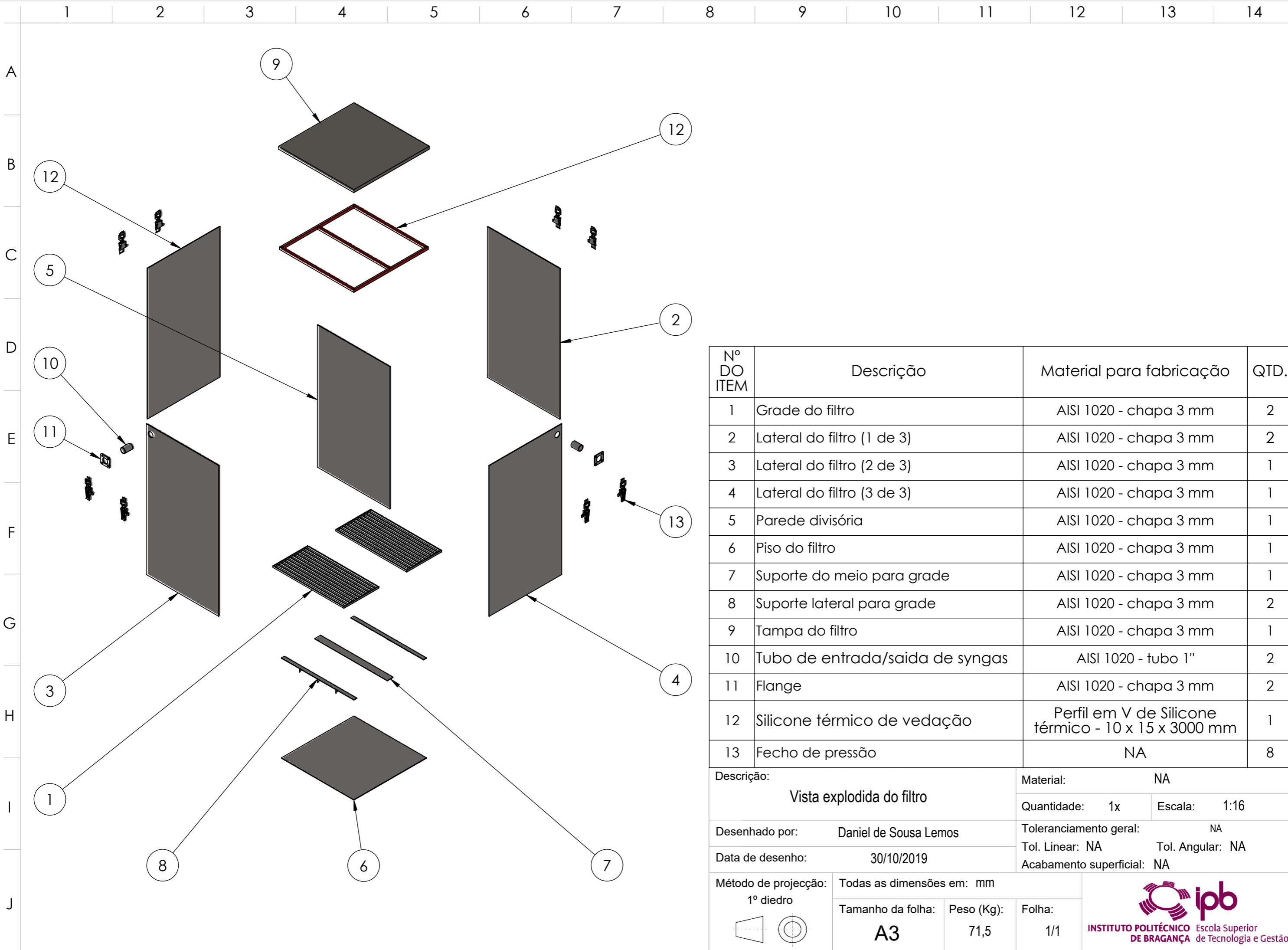
0,2

Folha:

6/6



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão



Nº DO ITEM	Descrição	Material para fabricação	QTD.
1	Grade do filtro	AISI 1020 - chapa 3 mm	2
2	Lateral do filtro (1 de 3)	AISI 1020 - chapa 3 mm	2
3	Lateral do filtro (2 de 3)	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
4	Lateral do filtro (3 de 3)	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
5	Parede divisória	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
6	Piso do filtro	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
7	Suporte do meio para grade	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
8	Suporte lateral para grade	AISI 1020 - chapa 3 mm	2
9	Tampa do filtro	AISI 1020 - chapa 3 mm	1
10	Tubo de entrada/saída de syngas	AISI 1020 - tubo 1"	2
11	Flange	AISI 1020 - chapa 3 mm	2
12	Silicone térmico de vedação	Perfil em V de Silicone térmico - 10 x 15 x 3000 mm	1
13	Fecho de pressão	NA	8

Descrição:		Material: NA	
Vista explodida do filtro		Quantidade: 1x	Escala: 1:16
Desenhado por:	Daniel de Sousa Lemos	Toleranciamento geral: NA	
Data de desenho:	30/10/2019	Tol. Linear: NA	Tol. Angular: NA
		Acabamento superficial: NA	
Método de projecção:	Todas as dimensões em: mm		
1º diedro	Tamanho da folha:	Peso (Kg):	Folha:
	A3	71,5	1/1



1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

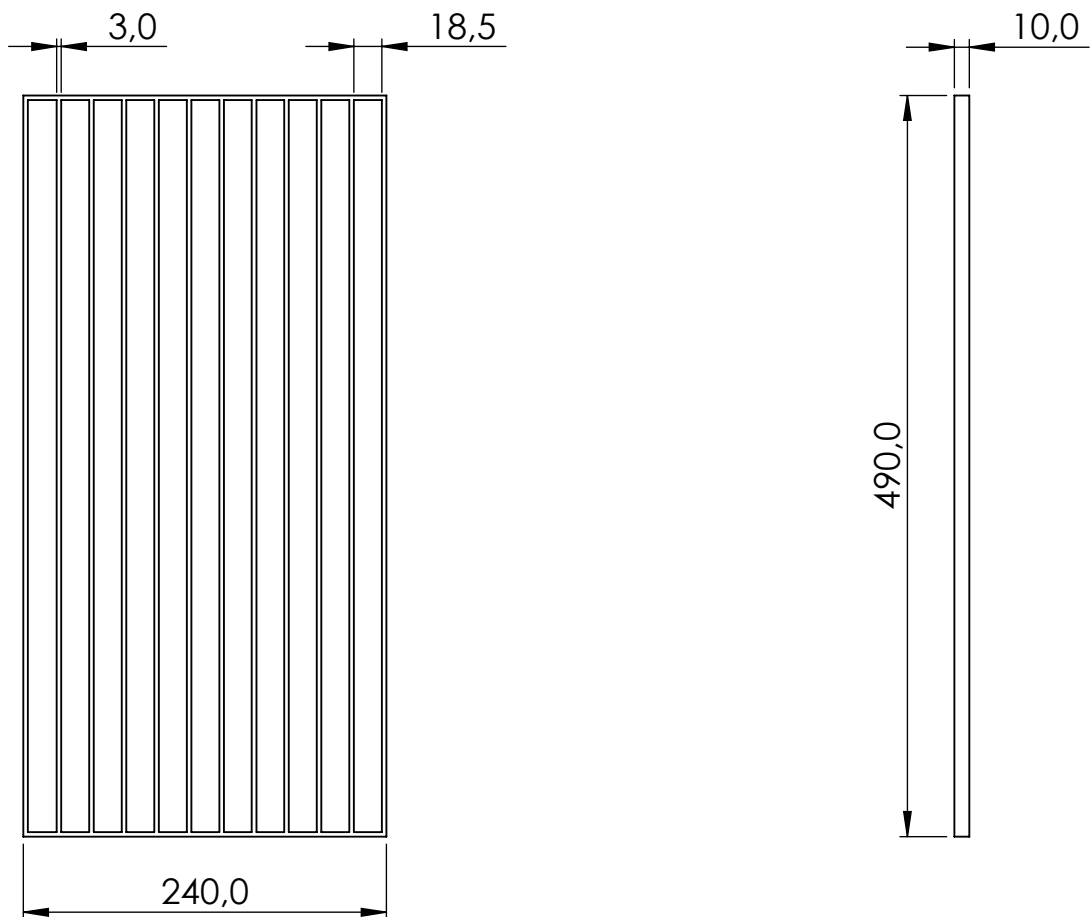
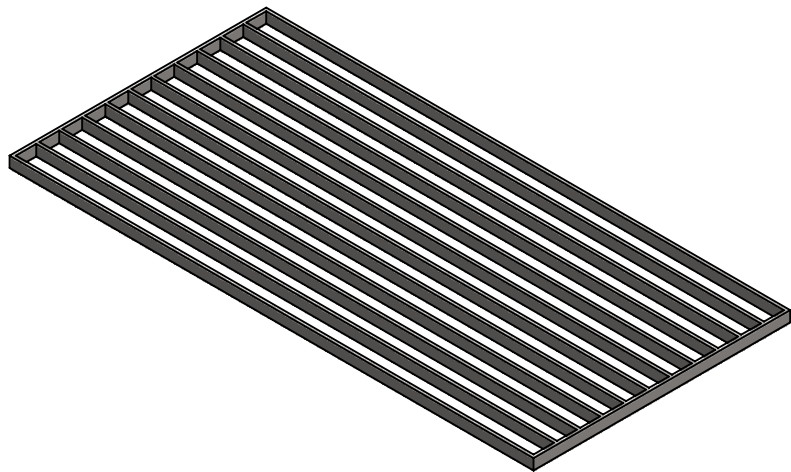
E

F

G

H

I



Descrição:

Grade do filtro

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 2x

Escala: 1:5

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

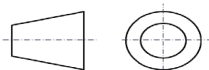
28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

1,5

Folha:

1/11



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

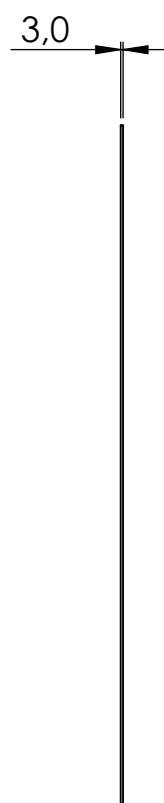
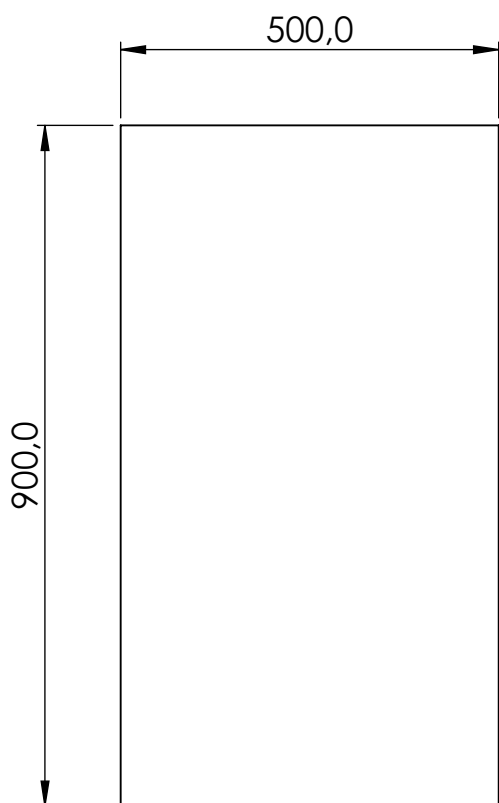
E

F

G

H

I



Descrição:

Lateral do filtro (1 de 3)

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 2x

Escala: 1:10

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

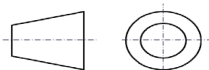
Data de desenho: 28/10/2019

Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

10,7

Folha:

2/11


INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

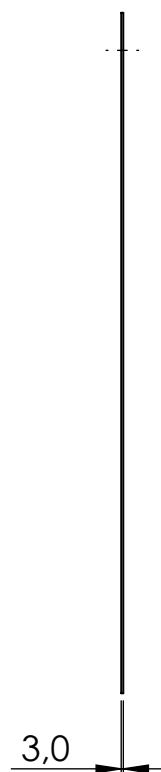
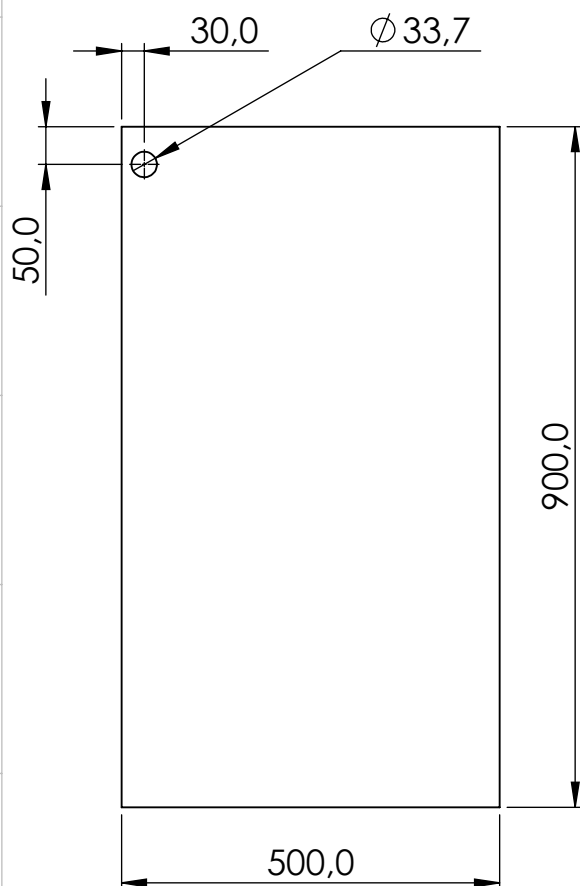
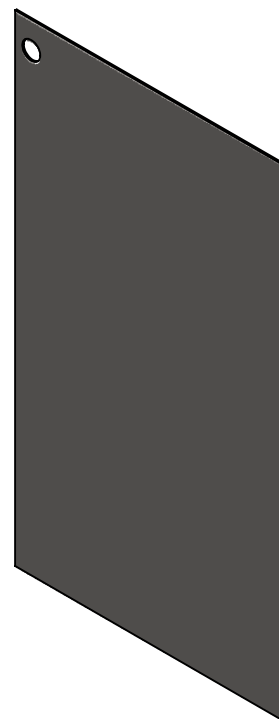
E

F

G

H

I



Descrição:

Lateral do filtro (2 de 3)

Material:

AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade:

1x

Escala:

1:10

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

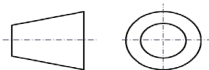
28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

10,6

Folha:

3/11



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

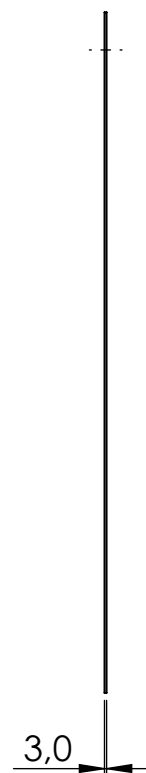
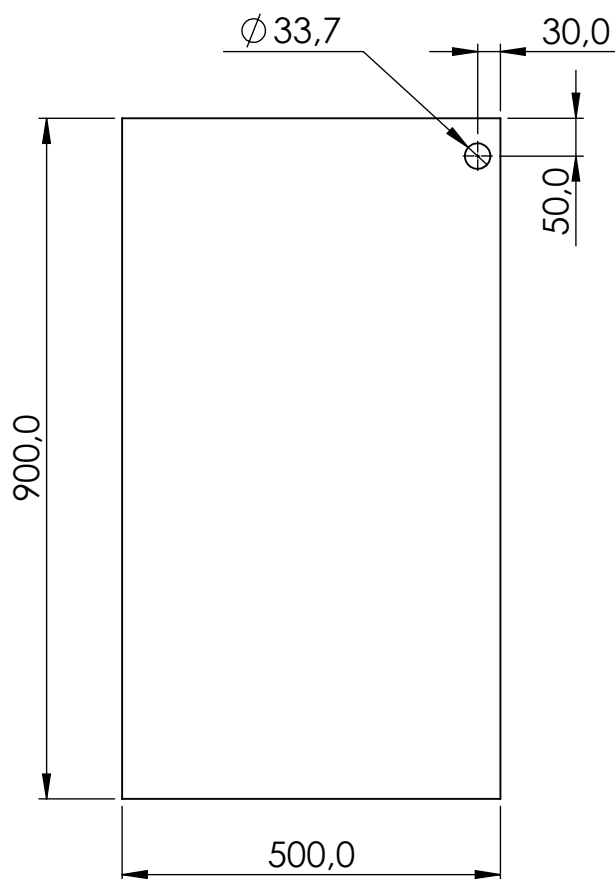
E

F

G

H

I



Descrição:

Lateral do filtro (3 de 3)

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 1x

Escala: 1:10

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

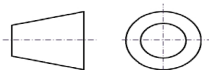
Data de desenho: 28/10/2019

Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

10,6

Folha:

4/11



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

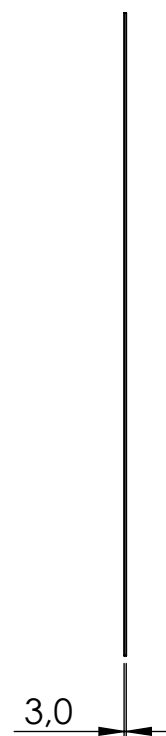
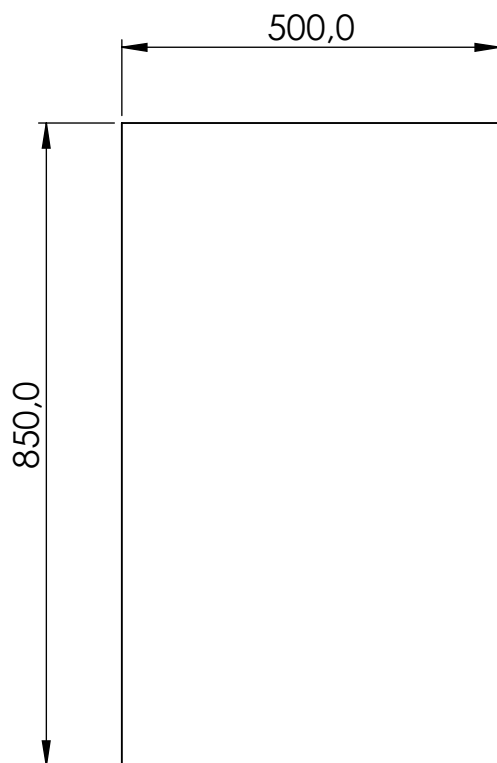
E

F

G

H

I



Descrição:

Parede divisória

Material:

AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade:

1x

Escala:

1:10

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

10,1

Folha:

5/11



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

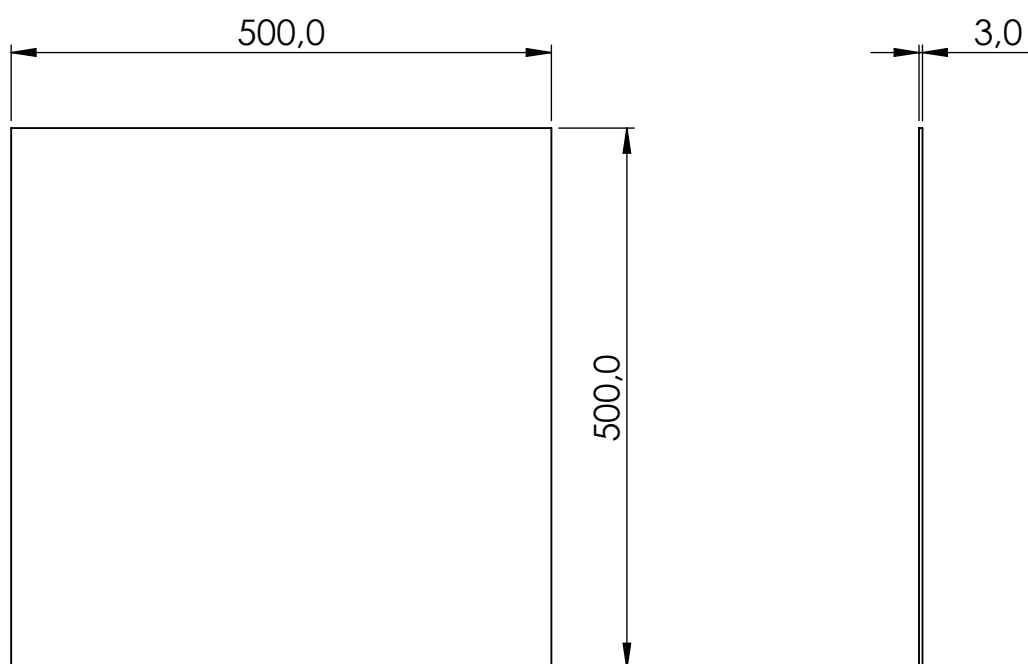
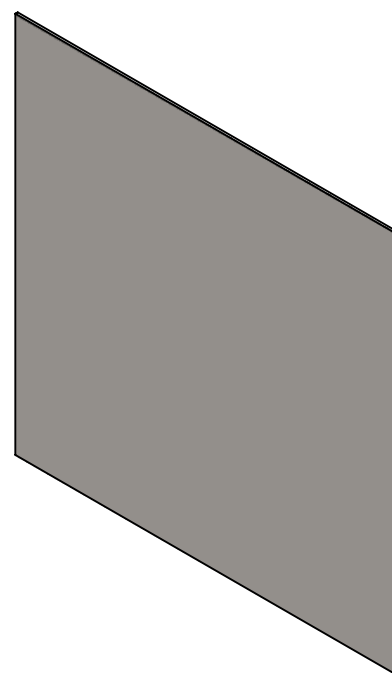
E

F

G

H

I



Descrição:

Piso do filtro

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 1x

Escala: 1:7

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

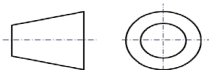
28/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

5,9

Folha:

6/11



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

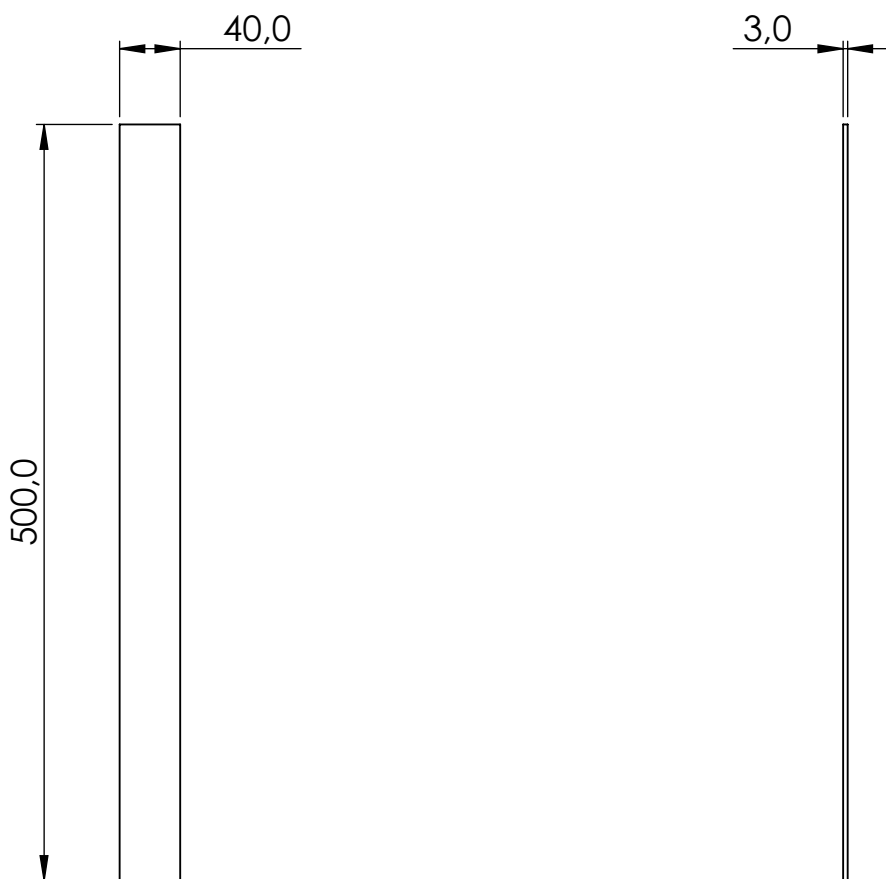
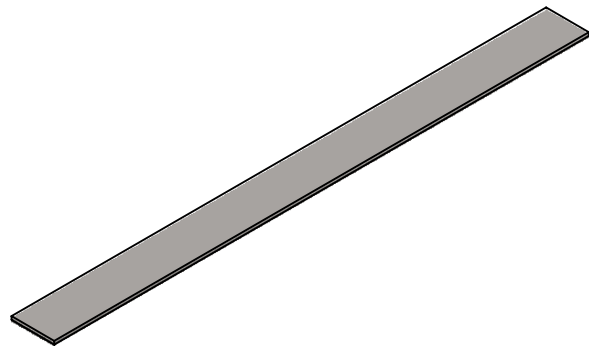
E

F

G

H

I



Descrição:		Material:	
Suporte do meio para grade		AISI 1020 - chapa 3 mm	
		Quantidade:	Escala:
		1x	1:5
Desenhado por:		Toleranciamento geral:	
Daniel de Sousa Lemos		Retirar rebarbas e quinas ponteagudas	
Data de desenho:		Tol. Linear:	
29/10/2019		NA	
		Tol. Angular:	
		NA	
Método de projecção:		Acabamento superficial:	
1º diedro		NA	
		Todas as dimensões em: mm	
		Tamanho da folha:	Peso (Kg):
		A4	0,5
		Folha:	
		7/11	
 INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão			

1

2

3

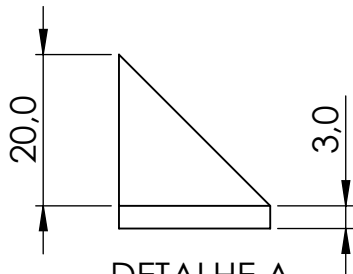
4

5

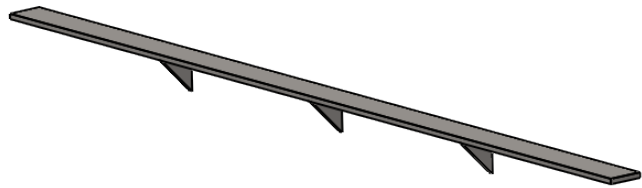
6

7

A

DETALHE A
ESCALA 1 : 1

B

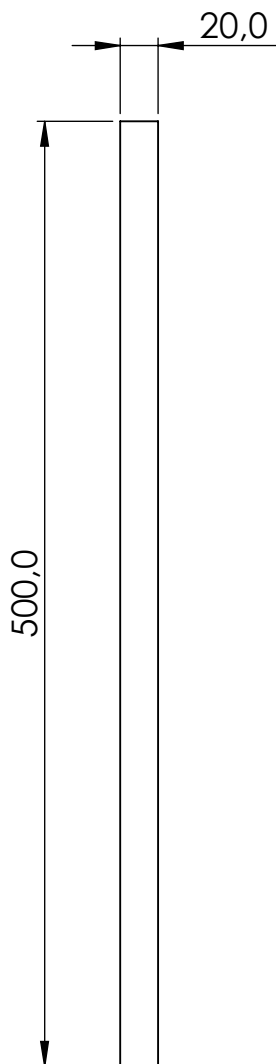


C



20,0

D



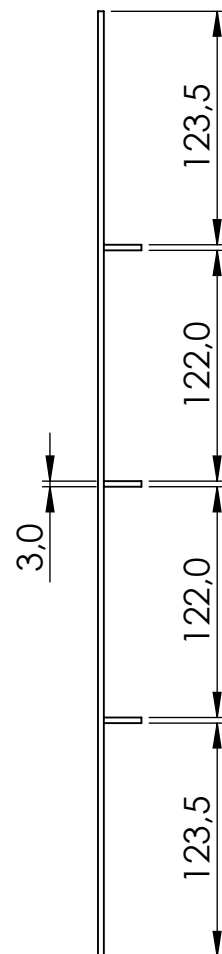
E

F

G

H

I



Descrição:

Suporte lateral para grade

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 2x

Escala: 1:4

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

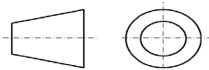
Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Data de desenho: 29/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,3

Folha:

8/11



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

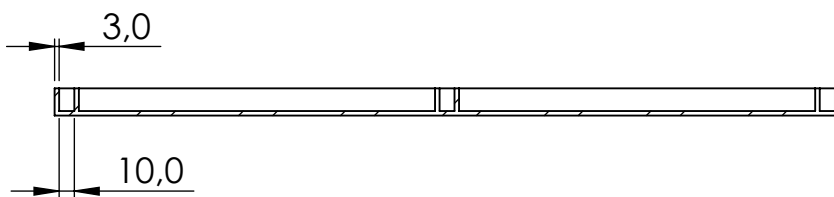
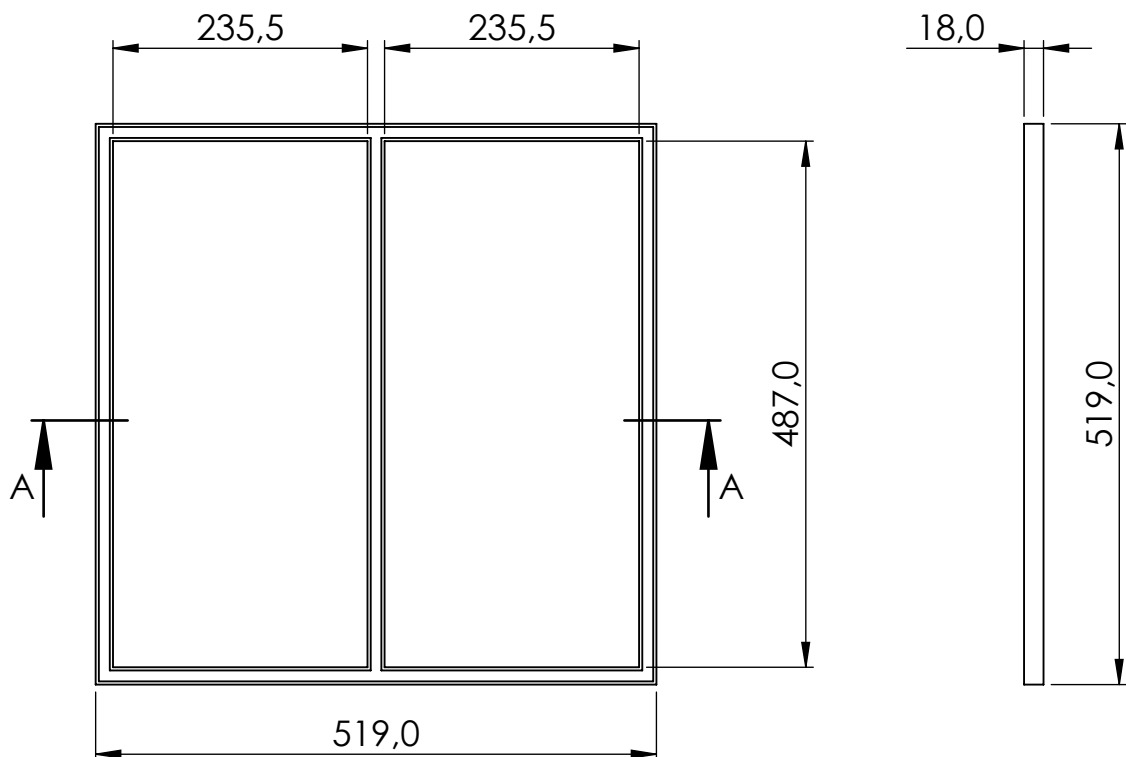
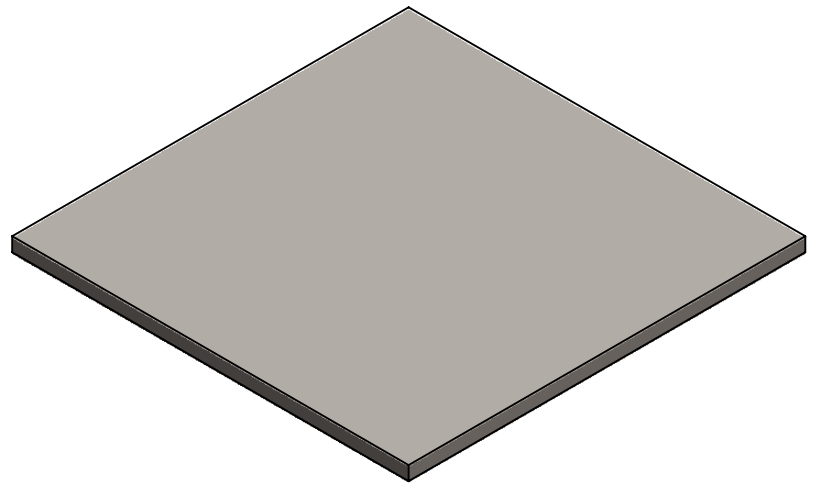
E

F

G

H

I



SEÇÃO A-A
ESCALA 1 : 5

Descrição:

Tampa do filtro

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 1x

Escala: 1:7

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

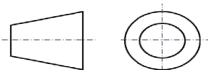
29/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

8,1

Folha:

9/11



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

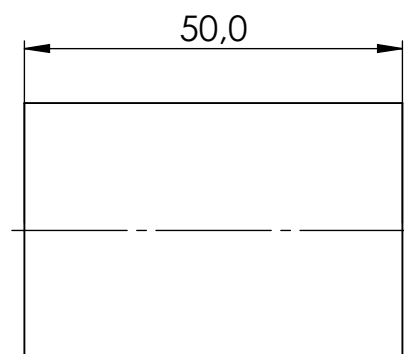
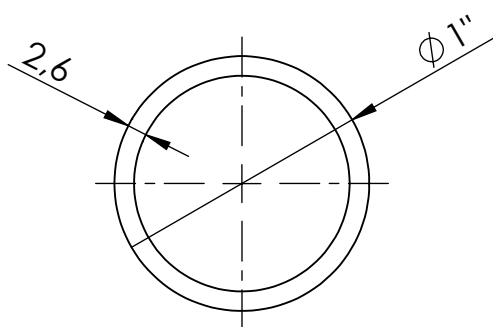
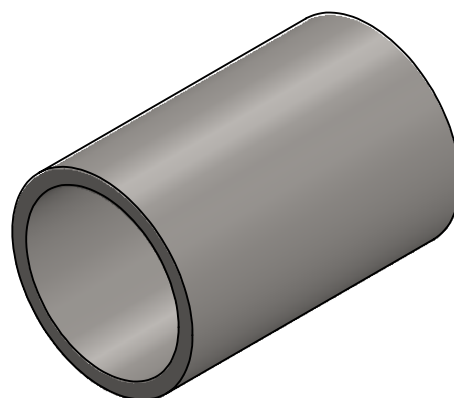
E

F

G

H

I



Descrição:
Tubo de entrada/saida de syngas

Material: AISI 1020 - tubo 1"

Quantidade: 2x

Escala: 1:1

Desenhado por: Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbas e quinas ponteagudas

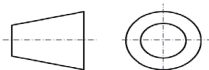
Data de desenho: 29/10/2019

Tol. Linear: NA Tol. Angular: NA

Acabamento superficial: NA

Método de projecção: Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,1

Folha:

10/11



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

1

2

3

4

5

6

7

A

B

C

D

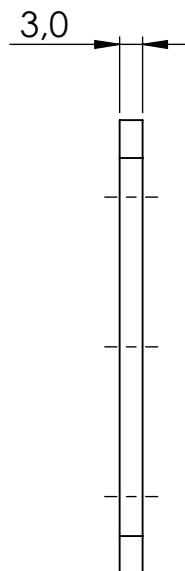
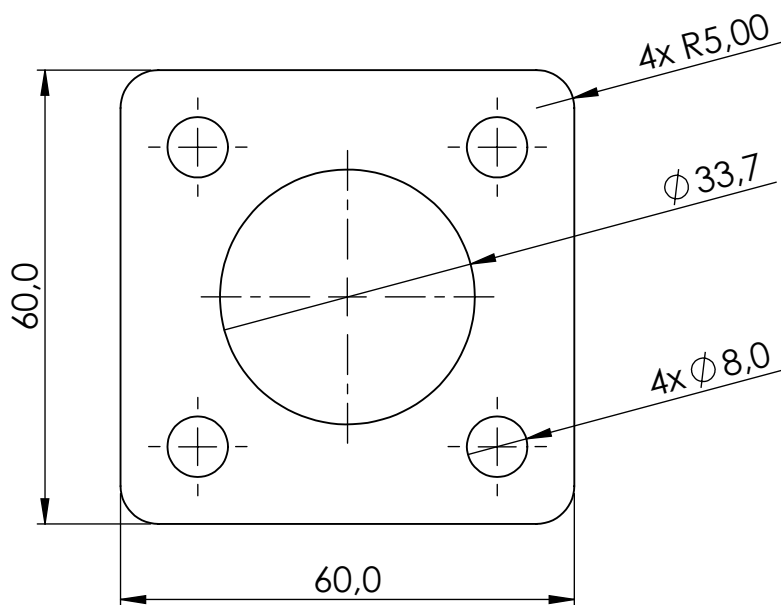
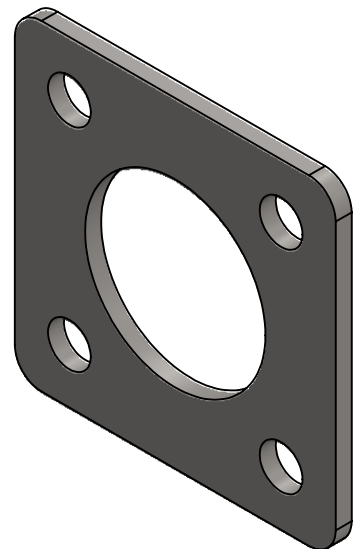
E

F

G

H

I



Descrição:

Flange

Material: AISI 1020 - chapa 3 mm

Quantidade: 2x

Escala: 1:1

Desenhado por:

Daniel de Sousa Lemos

Toleranciamento geral: Retirar rebarbar e quinas ponteagudas

Tol. Linear: NA

Tol. Angular: NA

Data de desenho:

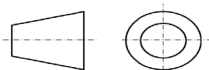
29/10/2019

Acabamento superficial: NA

Método de projecção:

Todas as dimensões em: mm

1º diedro



Tamanho da folha:

A4

Peso (Kg):

0,1

Folha:

11/11



INSTITUTO POLITÉCNICO DE BRAGANÇA Escola Superior de Tecnologia e Gestão

4.2 ANGARIAÇÃO DE FUNDOS

A campanha de angariação de fundos para a construção do primeiro protótipo funcional demonstrativo finalizou no dia 30 de outubro de 2019. Recebeu-se 1.479,00 € em doações, atingindo 123 % do valor objetivo da campanha (1.200,00 €). Depositou-se para os organizadores o valor de 1.342,55 €, devido as taxas de pagamento (90,96 €) e a comissão da plataforma utilizada (45,49 €).

O doador tinha a opção de se cadastrar no site e fazer a doação ou fazer-la de forma anónima. Ao todo foram 60 o número de doadores, sendo 33 doações feitas anonimamente.

Até a presente data de publicação deste documento, foram feitas 1.962 visualizações no site da campanha (www.ppl.pt/biomassa), que ainda encontra-se ativo com informações do projeto e dados da campanha.

4.3 CONSTRUÇÃO DO PROTÓTIPO

Construiu-se um protótipo funcional demonstrativo do sistema projetado para abastecer com syngas o motor da motobomba Campeon MRX-50, Fig.(4.7). O protótipo é composto por uma gaseificador *downdraft*, Fig. 4.7 (a), um permutador a água, 4.7 (b), e um filtro de serragem de madeira, 4.7 (c). Sua construção ocorreu no Laboratório de Tecnologia Mecânica do IPB de Julho a Novembro de 2019.

A Fig. 4.8 apresenta 6 fotografias retiradas durante o processo de construção do protótipo, sendo elas: construção da lareira do gaseificador, Fig. 4.8 (a); montagem das paredes laterais do gaseificador, Fig. 4.8 (b); junção do reservatório com a parte superior da lareira, Fig. 4.8 (c); montagem da tampa do filtro, Fig. 4.8 (d); colagem dos vedantes de silicone térmico no gaseificador, Fig. 4.8 (e); gaseificador, permutador a água e filtro, Fig. 4.8 (f). A sequência das fotografias estão de acordo com a ordem utilizada na construção.



Figura 4.7: Protótipo do sistema de gaseificação para abastecer com syngas o motor da moto-bomba Campeon MRX-50: a) gaseificador; b) permutador a água; c) filtro.



(a)



(b)



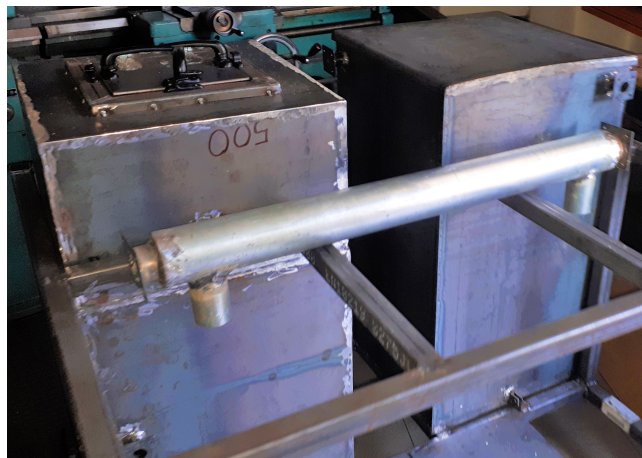
(c)



(d)



(e)



(f)

Figura 4.8: Fotografias retiradas durante a construção do protótipo: a) Montagem da lareira do gaseificador, b) Montagem das paredes do gaseificador, c) Junção do reservatório com a lareira, d) Montagem da tampa do filtro, e) Colagem dos vedantes de silicone térmico no gaseificador, f) Permutador a água, gaseificador e filtro.

4.4 ENSAIO DE PRODUÇÃO DE SYNGAS

Fez-se um teste de funcionamento do gaseificador. O teste consistiu na queima direta do syngas produzido através da gaseificação de uma mistura de carvão e pellets de madeira.

Injetou-se ar pelo orifício lateral do gaseificador para que o syngas produzido saísse pelo tubo de escape localizado na parede oposta, Fig. (4.9). Quando ligado ao motor, o vácuo criado a partir do movimento dos pistões que irá succionar o syngas, necessitando injetar ar no gaseificador apenas para inicializar o sistema. Verificou-se a presença de gases combustíveis no syngas através de sua queima direta, Fig. (4.10).



Figura 4.9: Teste com injeção de ar do gaseificador.



Figura 4.10: Queima do syngas produzido no gaseificador.

5 CONCLUSÕES E TRABALHOS FUTUROS

5.1 CONCLUSÕES

Projeteu-se neste trabalho um sistema de gaseificação, robusto, de construção simples e off-grid, que através de blocos de madeira ou pellets produz syngas para abastecer os dois modelos de motores: o motor RCX-210 da motobomba Campeon MRX-50 e o motor da motocicleta CG-125 Titan.

O sistema é composto por três unidades, sendo a primeira um gaseificador *down-draft* de 19,2 kW capaz de alimentar os dois modelos de motor durante pelo menos 4 horas. Contém um permutador de calor, onde foram apresentados dois modelos, sendo que um de mais fácil construção que utiliza a água e o outro o ar ambiente para arrefecer o syngas. Por último, um filtro que utiliza serragem de madeira como meio filtrante para retirar as partículas sólidas do syngas resultantes do processo de gaseificação. Para o sistema com o motor da motobomba o filtro apresenta uma perda de carga de 0,6 Pa e para o sistema com o motor da motocicleta o filtro apresenta uma perda de carga de 2,9 Pa.

O dimensionamento do gaseificador seguiu as recomendações da FAO (1986), onde fez-se a extrapolação das curvas de dimensionamento da lareira do gaseificador. Optou-se em projetar o gaseificador com geometria quadrada ao invés de redonda por uma simples avaliação dos critérios de estética, facilidade de construção e disponibilidade de peças semi-prontas.

Propôs-se dois modelos de permutadores de calor. O primeiro é um carcaça e dois tubos para ser aplicado no sistema que será ligado ao motor da motobomba, sendo o modelo de mais simples construção onde utiliza a água bombeada pela motobomba como fluido refrigerante do syngas. O segundo modelo é utilizado no sistema ligado ao motor da motocicleta. Neste caso, o permutador arrefece o syngas através da convecção natural de um tubo alhetado com o ar ambiente.

Construiu-se um protótipo funcional demonstrativo do sistema projetado para abastecer a motobomba Campeon MRX-50. Para isto fez-se uma campanha de angariação de fundos, adquirindo 1.342,55 € para a compra dos materiais necessários para sua fabricação.

O projeto foi concluído com um teste de funcionamento do gaseificador. Fez-se a queima direta do syngas produzido através da gaseificação de uma mistura de carvão e pellets no gaseificador projetado.

5.2 TRABALHOS FUTUROS

- Verificar a estanqueidade do sistema;
- Fazer a ligação do sistema construído à motobomba MRX-50 para que trabalhe sendo abastecida com syngas;
- Construir o permutador a ar;
- Fazer a ligação do sistema no motor da motocicleta CG-125 Titan;
- Análise da composição do syngas produzido comparando aos parâmetros de projeto;
- Identificar as perdas energéticas do sistema para desenvolver melhorias e deixar o sistema mais eficiente;
- Desenvolver um manual de construção com as etapas de montagem do sistema, os processos e parâmetros utilizados.

REFERÊNCIAS

- ALVES, C. D. d. L. **Caracterização de um gaseificador do tipo downdraft**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Federal do Pará, 2010.
- ANDRADE, R. V. **Gaseificação de Biomassa: Uma Análise Teórica e Experimental**. Tese (Tese de Doutorado) — Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2007.
- ARDILA, Y. C. **Gaseificação da biomassa para a produção de gás de síntese e posterior fermentação para bioetanol: modelagem e simulação do processo**. Tese (Tese de Doutorado) — Universidade Estadual de Campinas, 2015.
- BARMAN, N. S.; GHOSH, S.; DE, S. Gasification of biomass in a fixed bed downdraft gasifier – a realistic model including tar. **Bioresource Technology**, v. 107, p. 505 – 511, 2012. ISSN 0960-8524. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852411019055>>.
- BERGMAN, T. L.; INCROPERA, F. P.; DEWITT, D. P.; LAVINE, A.S. **Fundamentals of Heat and Mass Transfer**. 7th edition. ed. Wiley, 2011. ISBN 9780470501979. Disponível em: <<https://books.google.pt/books?id=vvyIoXEywMoC>>.
- BRANDIN, J.; TUNÉR, M.; ODENBRAND, I.; LUND, V. **Small Scale Gasification: Gas Engine CHP for Biofuels**. [S.l.: s.n.], 2011. ISBN 978-91-86983-07-9.
- CONCHA LAZARINOS, J. G. **Tratamento de Revestimentos Gastos de Cuba Eletrolítica da Indústria de Alumínio**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Departamento de Ciência dos Materiais e Metalurgia, Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2007.
- CORONADO RODRÍGUEZ, C. J. **Análise técnica econômica de um gaseificador de biomassa de 100 kg/h para acionamento de um motor de combustão interna**. Dissertação (Dissertação de Mestrado) — Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Guaratinguetá, 2007.
- FAO. **Wood gas as engine fuel**. Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1986.
- LORA, E.; VIERA ANDRADE, R.; MARTÍNEZ, J.; LEITE, M. A. H.; ROCHA, M.; SALES, C. A. V. B.; MENDOZA, M. A. G.; CORAL, D. D. S. O. . **Gaseificação e pirólise para a conversão da biomassa em eletricidade e biocombustíveis**. [S.l.: s.n.], 2012. 411-498 p. ISBN 978-85-7193-228-9.
- LORA, E. E. S.; ANDRADE, R. V.; ARADAS, M. E. C. Geração elétrica em pequena escala a partir da gaseificação de biomassa. **Encontro de Energia no Meio Rural**, 2004.

MARTÍNEZ, J.; ANDRADE, R.; LORA, E. Gaseificação de biomassa em leito fixo tipo concorrente, aspectos teóricos e experimentais. In: CONGRESSO INTERNACIONAL SOBRE GERAÇÃO DISTRIBUÍDA E ENERGIA NO MEIO RURAL. [S.l.], 2008. Vol. 7.

MARTÍNEZ, J. D. **Estudo Experimental do Conjunto Gaseificador de Biomassa em Reator Co-corrente com Duplo Estágio de Fornecimento de Ar e Motor de Combustão Interna**. Dissertação (Mestrado em Conversão de Energia) — Universidade Federal de Itajubá, Itajubá, 2009.

PERRY, R.; GREEN, D. **Perry's Chemical Engineers' Handbook**. 8 ed. ed. McGraw-Hill Education, 2007. (McGraw Hill professional). ISBN 9780071593137. Disponível em: <<https://books.google.pt/books?id=tH7IVcA-MX0C>>.

QUAAK, P.; STASSEN, H. E.; KNOEF, H. Book. **Energy from biomass : a review of combustion and gasification technologies / Peter Quaak, Harrie Knoef, Hubert Stassen**. [S.l.]: World Bank Washington, D.C, 1999. xvii, 78 p. : p. ISBN 0821343351.

REED, T.; DAS, A. **Handbook of Biomass Downdraft Gasifier Engine Systems**. Golden, Colorado: Solar Energy Research Institute, 1988. ISBN 9781890607005. Disponível em: <https://books.google.pt/books?id=_zJHmz2EA3IC>.

REED T. B., G. S. **A survey of biomass gasification 2001 – Gasifier projects and manufacturers around the world**. 2nd edition. ed. Golden, USA: The National Renewable Energy Laboratory and The Biomass Energy Foundation, 2001.

SAFARIAN, S.; UNNPÓRSSON, R.; RICHTER, C. A review of biomass gasification modelling. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, v. 110, p. 378 – 391, 2019. ISSN 1364-0321. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1364032119303090>>.

SILVEIRA, J. L. **Análise técnica econômica de um gaseificador de biomassa de 100 kg/h para acionamento de um motor de combustão interna**. Dissertação (Tese de Mestrado) — Universidade Estadual Paulista, 2007.

STASSEN, H. E. Book. **Small-scale biomass gasifiers for heat and power: a global review**. [S.l.]: World Bank Washington, D.C, 1995. xvii, 61 p. p. ISBN 0821333712.

STEVENS, D. Hot gas conditioning: recent progress with larger-scale biomass gasification systems: Update and summary of recent progress. Office of Scientific and Technical Information (OSTI), sep 2001. Disponível em: <<https://doi.org/10.2172/786288>>.

SWEDEN. Book; Book/Illustrated; Government publication. **Generator gas : the Swedish experience from 1939-1945**. [S.l.]: Golden, Colo. : Solar Energy Research Institute ; [Springfield, Va : available from National Technical Information Service, U.S. Dept. of Commerce], 1979. "Originally published in Swedish by the Ingneiorsvetenskapsakademien (Swedish Academy of Engineering) ... Stockholm, 1950."

TRAHAN, J.; GRAZIANI, A.; GOSWAMI, D.; STEFANAKOS, E.; JOTSHI, C.; GOEL, N. Evaluation of pressure drop and particle sphericity for an air-rock bed thermal energy storage system. In: . [S.l.: s.n.], 2013. v. 57.

UPADHYAY, D. S.; SAKHIYA, A. K.; PANCHAL, K.; PATEL, A. H.; PATEL, R. N. Effect of equivalence ratio on the performance of the downdraft gasifier – an experimental and modelling approach. **Energy**, v. 168, p. 833 – 846, 2019. ISSN 0360-5442. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360544218323442>>.

VONK, G.; PIRIOU, B.; WOLBERT, D.; CAMMARANO, C.; VAÏTILIN-GOM, G. Analysis of pollutants in the product gas of a pilot scale downdraft gasifier fed with wood, or mixtures of wood and waste materials. **Biomass and Bioenergy**, v. 125, p. 139 – 150, 2019. ISSN 0961-9534. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096195341930145X>>.